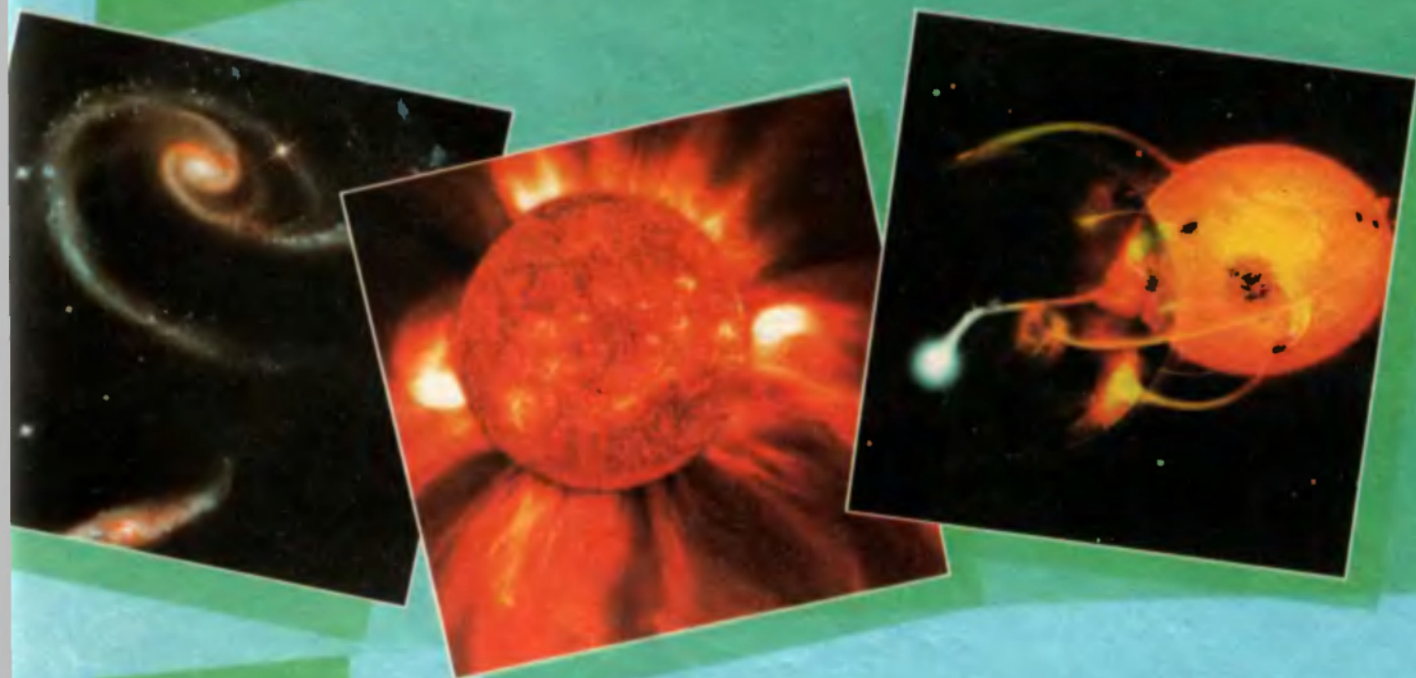


М. П. Пришляк

А СТРОНОМІЯ

11

Рівень стандарту
Академічний рівень



ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

ББК 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. П. 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 середньої 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.

ББК 74.262.26я721

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 Фаєтон?
- 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.

Вивчивши цей параграф, ми:

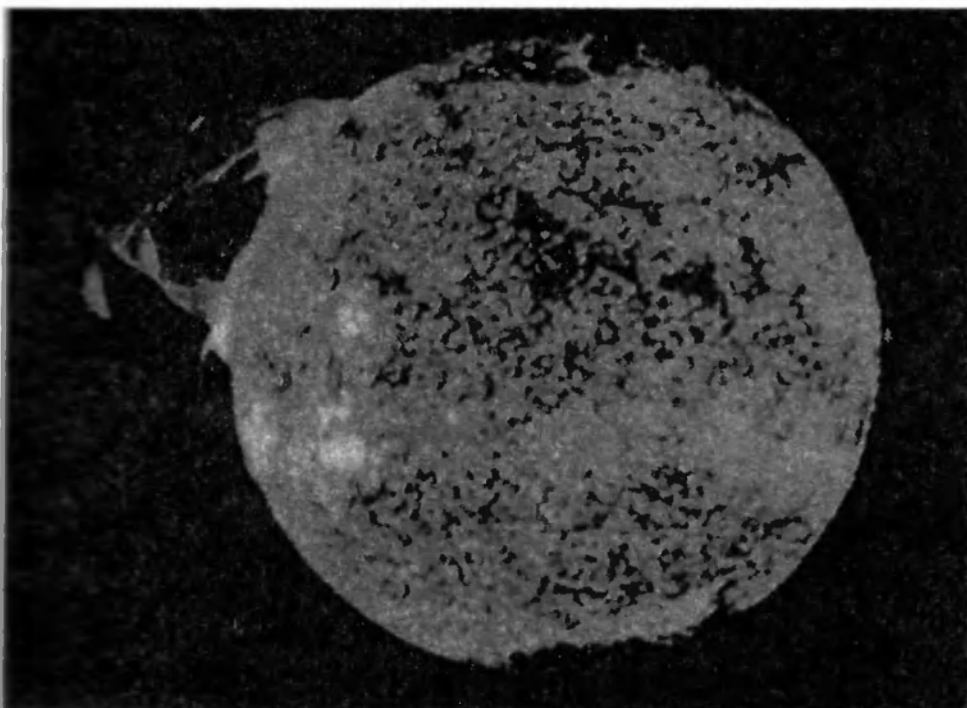
побачимо далекі космічні світила й уявимо собі величезні масштаби Всесвіту, у якому ми живемо;

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 Кита. 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 історики *Миколай Коперник (рис. 1.5)* 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)

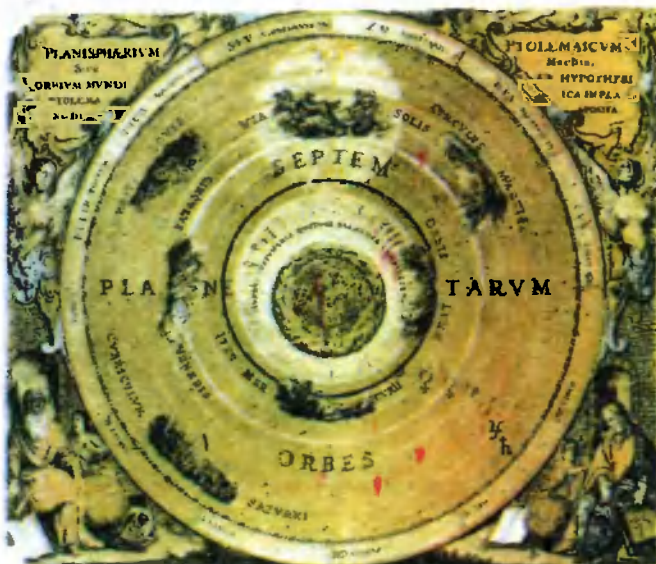


Рис. 1.7. Геліоцентрична система світу: у центрі розташоване Сонце. Земля разом із планетами обертається навколо нього. (Гравюра XVII ст.)





Рис. 1.8. Г. Галілей
(1564—1642)



Рис. 1.9. І. Ньютон
(1643—1727)

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

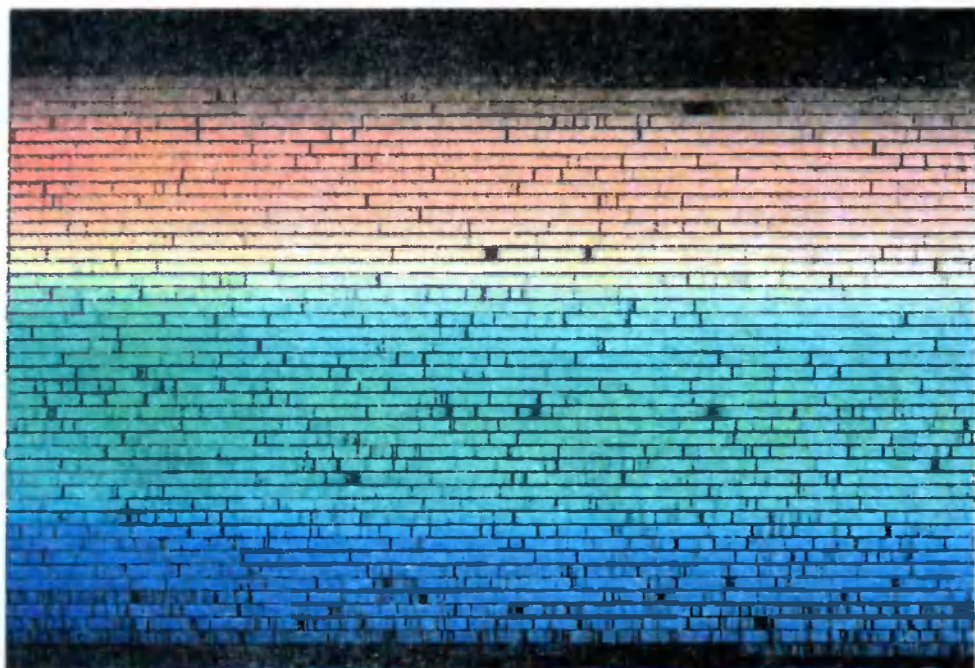


У XIX ст. почався новий етап у вивченні космосу, коли у 1814 р. німецький фізик Йозеф Фраунгофер відкрив лінії поглинання у спектрі Сонця — **фраунгоферові лінії** (рис. 1.10), потім лінії поглинання були виявлені у спектрах інших зір. За допомогою спектрів астрономи визначають хімічний склад, температуру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

Створення у XX ст. видатним німецьким фізиком **Альбертом Айнштайном** (у російськомовній літературі — **Эйнштейн**) 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



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).

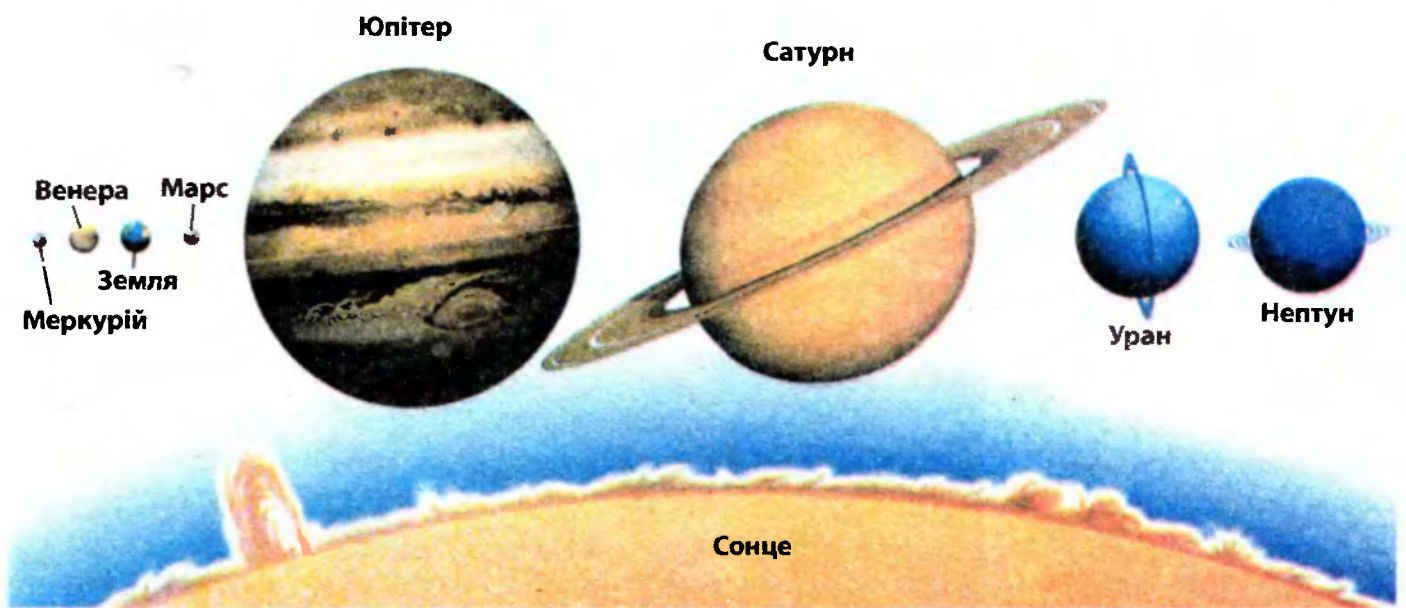


Рис. 1.12. Відносні розміри Сонця і планет Сонячної системи. Середній радіус Землі — 6370 км

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 100 000 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	

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

$$1 \text{ а. о.} \approx 150 \cdot 10^6 \text{ км}$$

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

$$1 \text{ св. рік} \approx 10^{13} \text{ км}$$

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 — 100 000 св. років, відстань від Сонця до центра Галактики — 25 000 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 10^{11} зір, то загальна кількість зір у Всесвіті сягає фантастичної цифри — 10^{21} . 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.



Основні розділи астрономії

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.

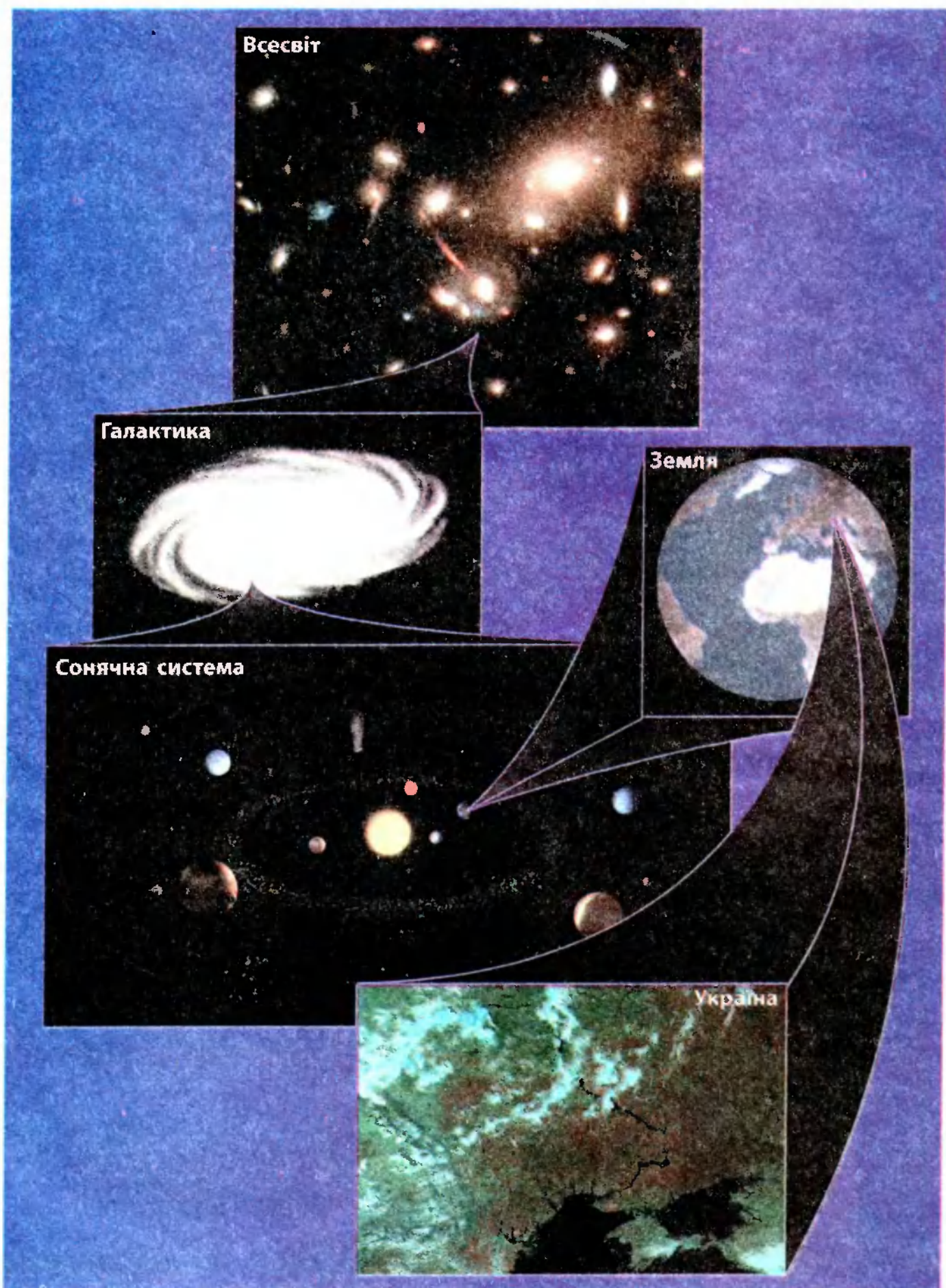
Астрометрія — розділ астрономії, що вивчає положення і рух небесних тіл та їхніх систем

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. Спиральну. 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

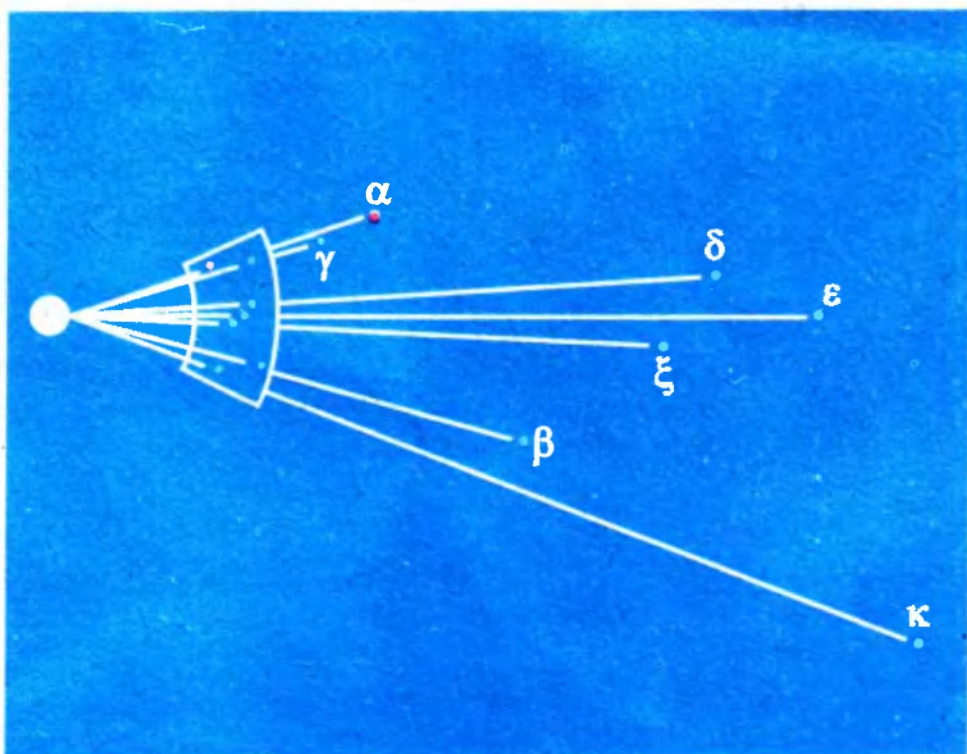
Під час спостережень за зорями нам здається, що всі небесні світила розташовані на однаковій відстані, ніби світять на поверхні велетенської сфери, у центрі якої розташований спостерігач. Нині відомо, що зорі та планети перебувають на різних відстанях від Землі (рис. 2.1, 2.2), а наша планета не розміщується у центрі Всесвіту, тому таку *небесну сферу* вважають допоміжною при визначенні сферичних координат світил. На таку допоміжну сферу проектується 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 відстані від Землі, а нам здається, що вони світять на поверхні сфери



2

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 P₁* (у сучасну епоху біля *Полярної зорі*) і *Південний полюс P₂* (у сузір'ї *Октант*). Площина земного екватора перетинається з небесною сферою, і в перерізі ми отримаємо *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

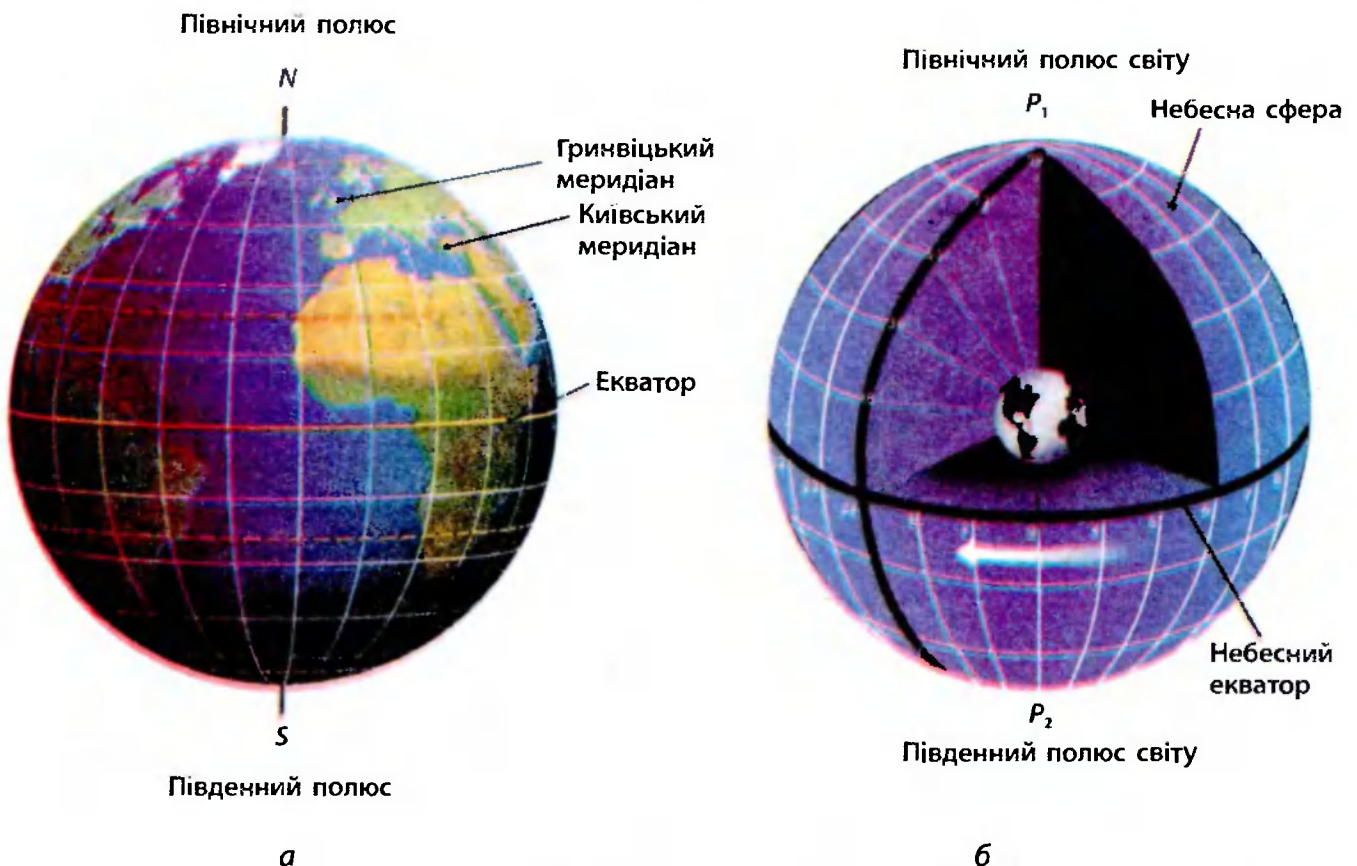


Рис. 2.3. Основні точки і лінії системи координат: а — земної (географічної), б — небесної

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 φ (рис. 2.4). Напрямок OO_1 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

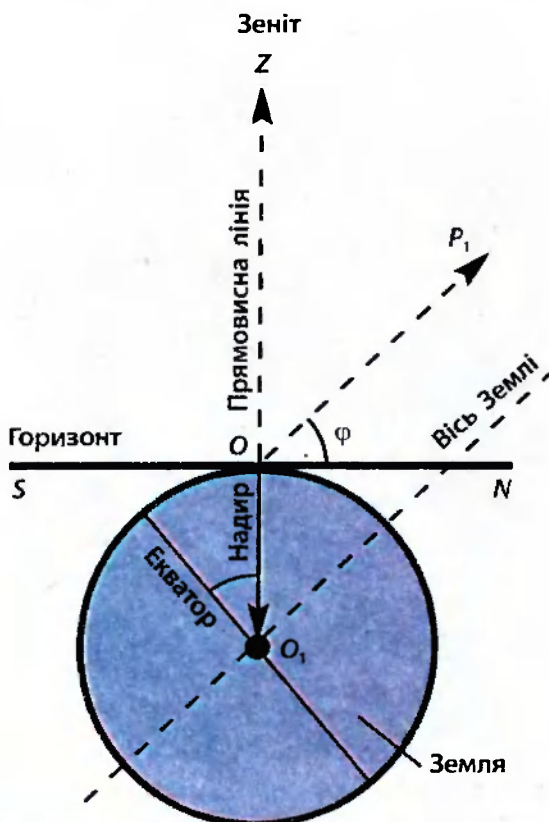


Рис. 2.4. Площина математичного горизонту є перпендикулярною до прямовисної лінії

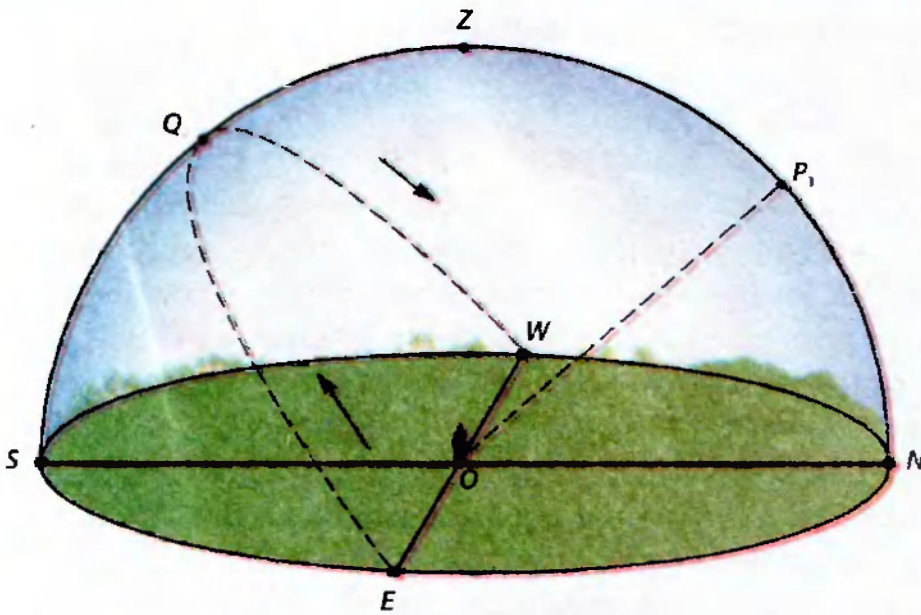


Рис. 2.5. Уночі надійним орієнтиром може бути Полярна зоря P_1 , на яку спрямована вісь обертання Землі. Якщо дивитися на Полярну зорю, то попереду буде напрямок на північ, позаду — південь, праворуч — схід, ліворуч — захід. Точка Q — кульмінація Сонця

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 південному 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 *рухомих 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

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:

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

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,

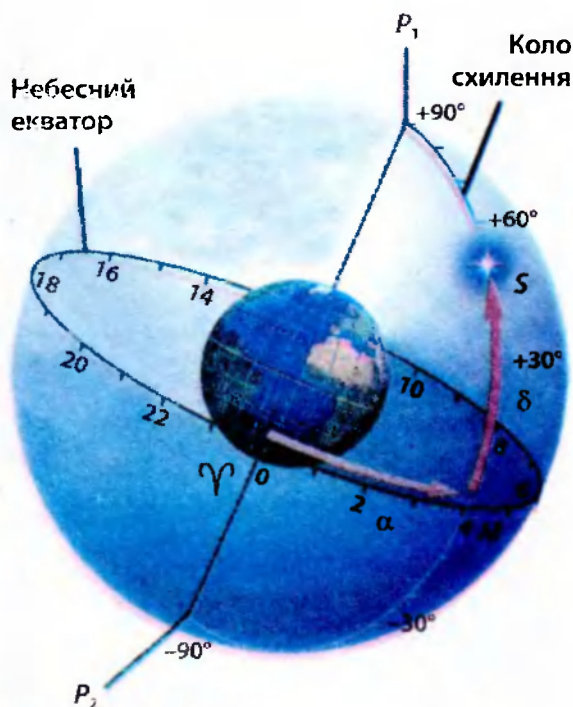
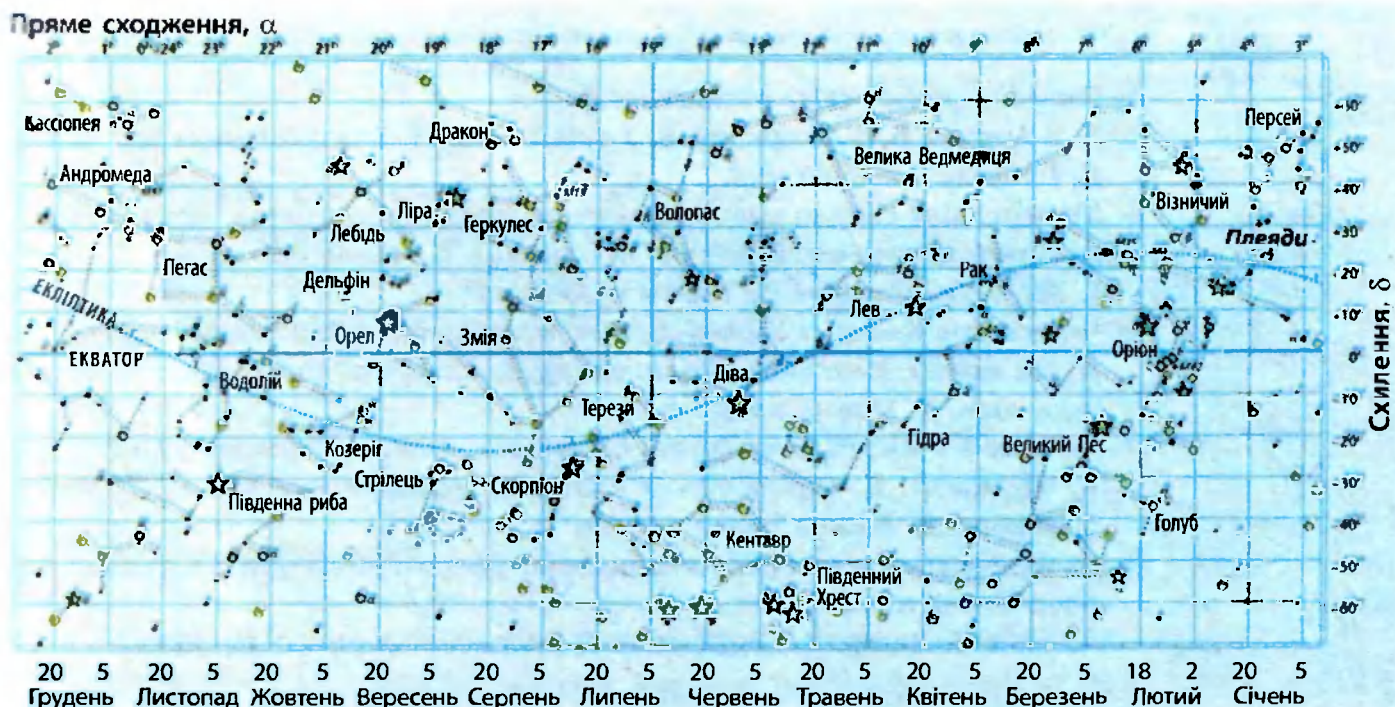


Рис. 2.7. Екваторіальна система небесних координат



яка проведена від полюса світу через дану зорю. Для зручності α позначено на екваторі через кожну годину ($1^h, 2^h, 3^h, \dots$).

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.



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. Намалюйте 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





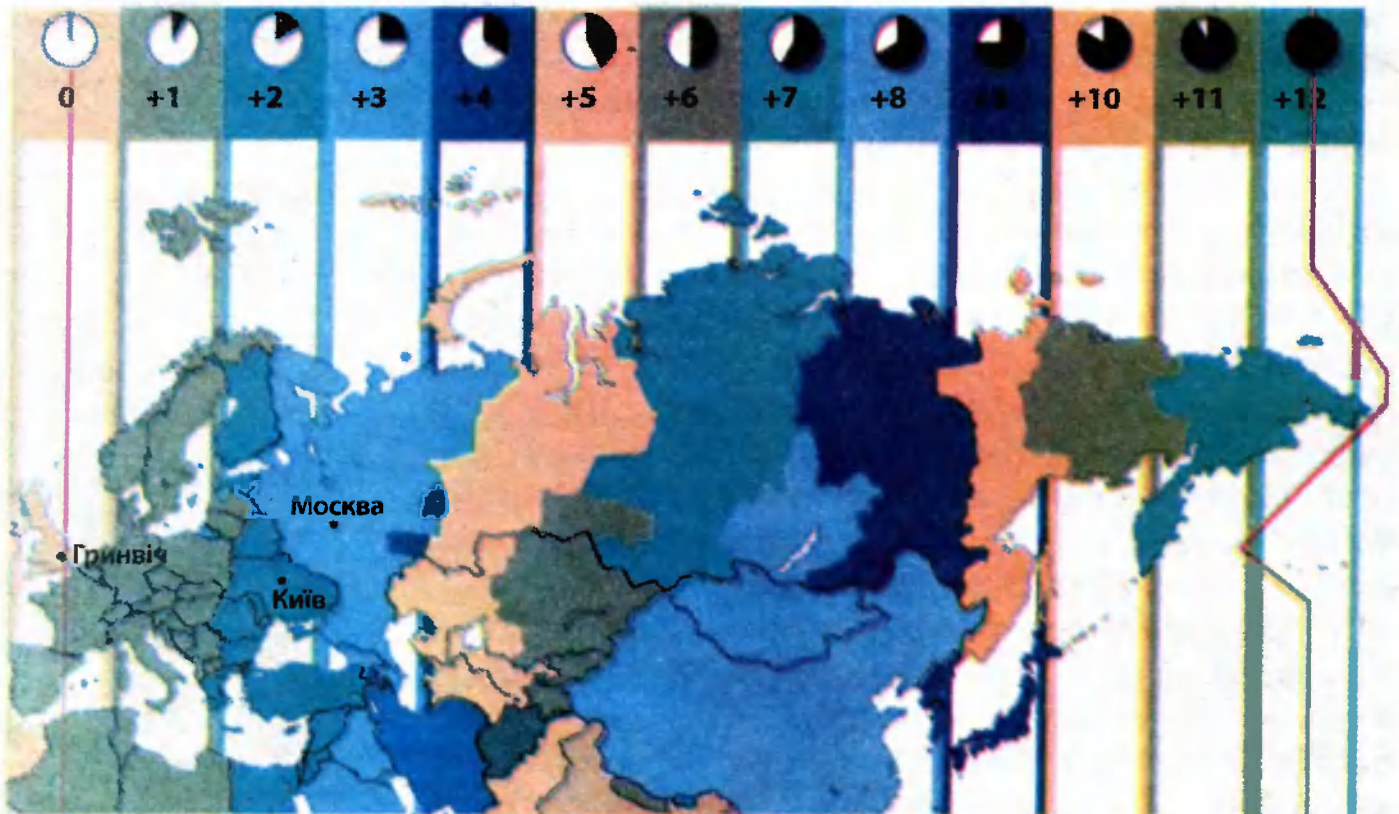
Рис. 3.2. Перший атомний годинник

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 $\lambda_x = 36^\circ = 2$ год 25 хв, довгота Києва $\lambda_k = 30^\circ = 2$ год 00 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



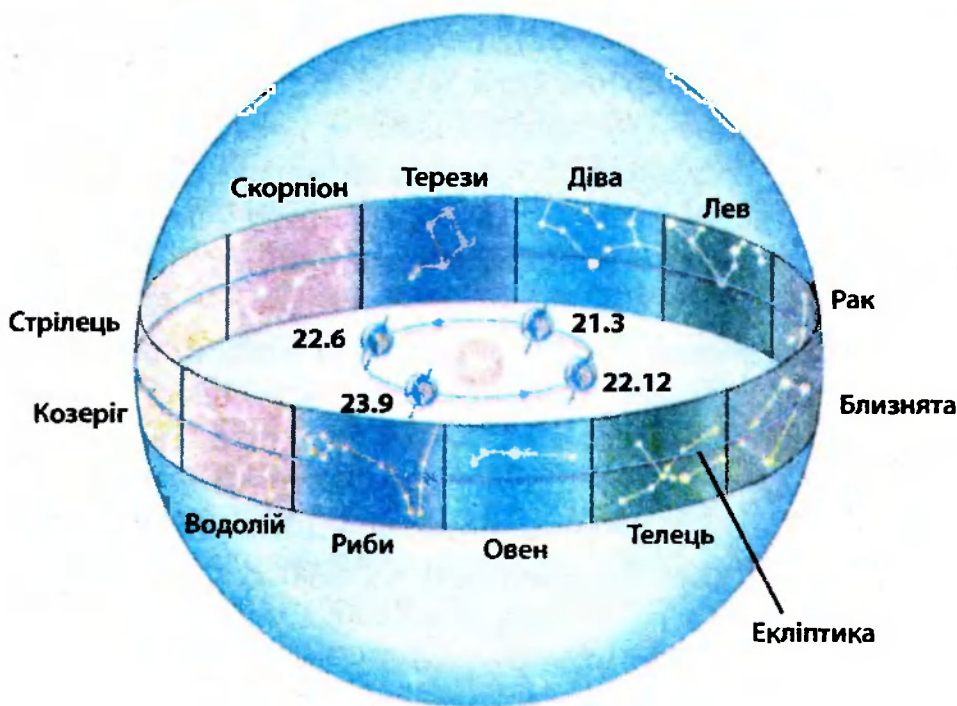
Для допитливих

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. 3 березня 2011 року в Росії ввели постійний літній час, тому московський час взимку буде випереджати київський на 2 години.

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 26 000 років. І якщо в наш час Північний полюс світу розташований у сузір'ї Малої Ведмедиці, то через 13 000 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 26 000 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 γ 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 Водолія. Ще через 13 000 років точка весняного рівнодення переміститься в сузір'я Діви, а точка осіннього рівнодення буде спостерігатись у сузір'ї Риб.

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

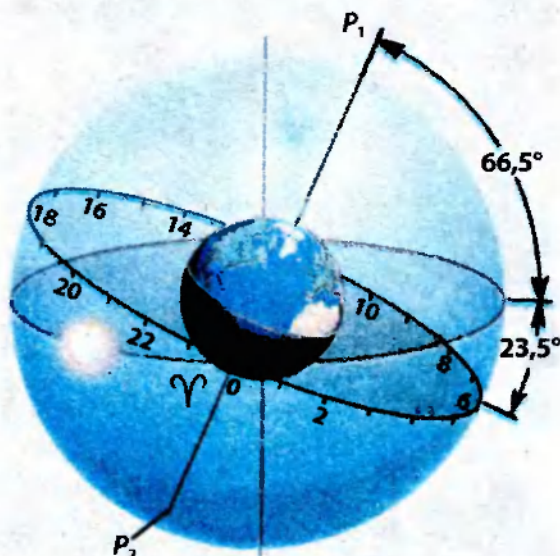
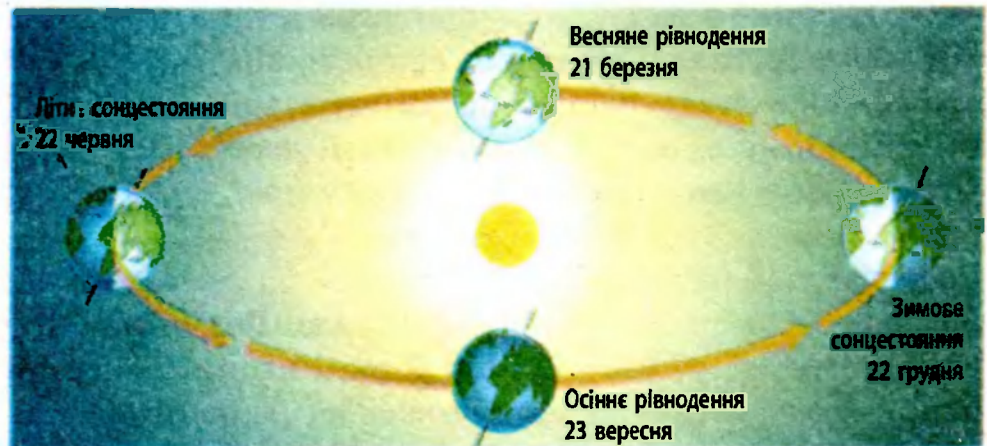


Рис. 3.6. Кут між площинами екватора та екліптики $23,5^\circ$, а кут між площиною екліптики та полюсом світу $66,5^\circ$. Це є причиною зміни пір року на Землі

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.

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



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,

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 зеніту. 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. 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

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.

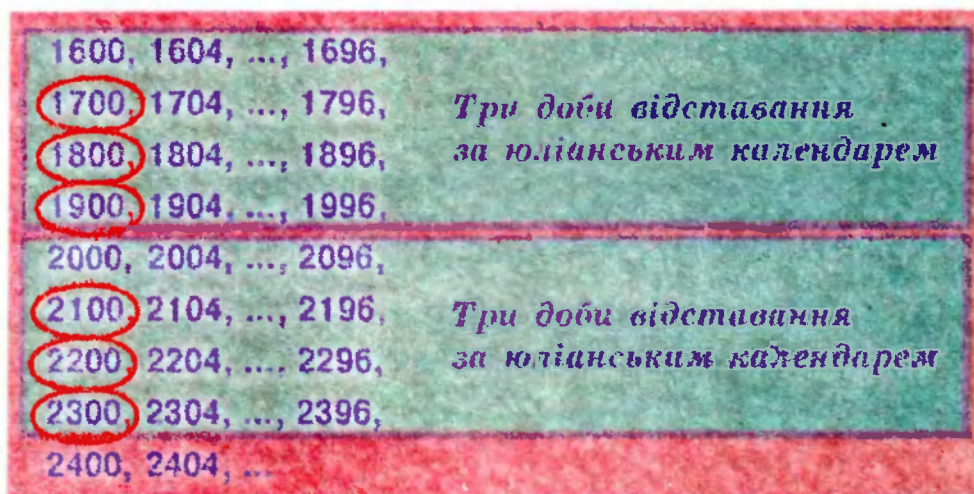


Рис. 3.9. Високосні роки за юліанським календарем. Кружечком обведені роки, які за григоріанським календарем не є високосними



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 zenіті. **Г.** Під час рівнодення Сонце кульмінує в zenіті. **Д.** Ніколи не випадає дощ.
2. Полярне коло — це така географічна широта, де:
А. Цілий рік не тане сніг. **Б.** Живуть білі ведмеді. **В.** Півроку триває ніч, а півроку — день. **Г.** Під час рівнодення Сонце кульмінує в zenіті. **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 кульмінації. 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. Намалюйте 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.

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* (M_1), 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

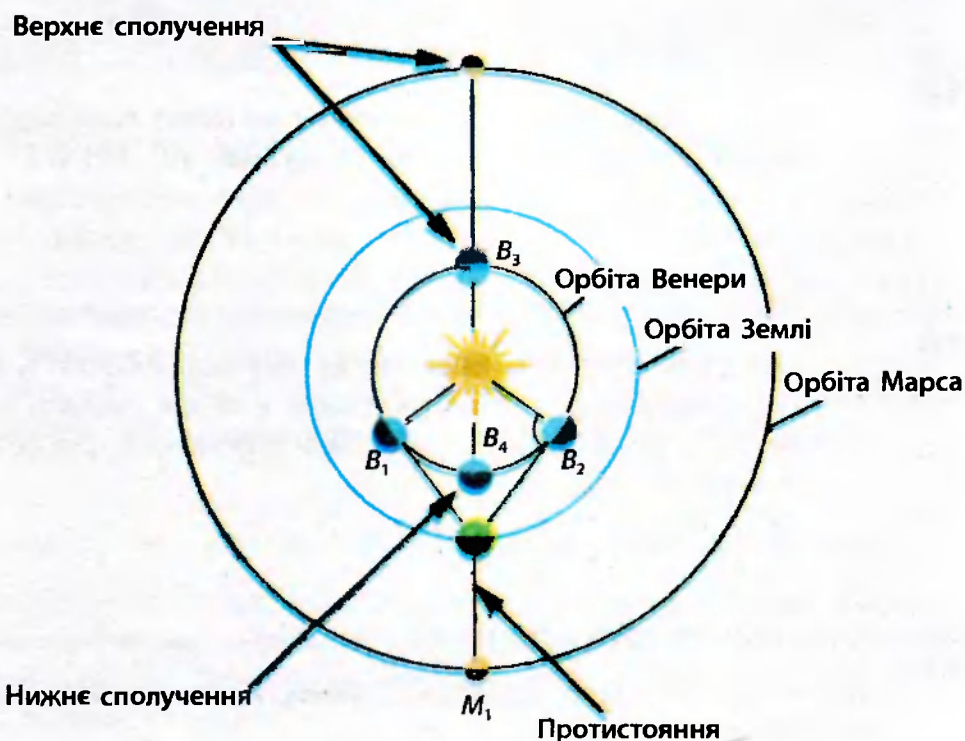


Рис. 4.1. Конфігурації Венери і Марса. Протистояння Марса — планета перебуває найближче до Землі, її видно всю ніч у протилежному від Сонця напрямку. Венеру найкраще видно ввечері у східну елонгацію ліворуч від Сонця B_1 та вранці під час західної елонгації праворуч від Сонця B_2

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 B_1 . Західна елонгація (ЗЕ) Венери спостерігається вранці, коли планету видно праворуч від Сонця у східній частині небосхилу B_2 . Конфігурації яскравих планет наведено у таблиці.

Конфігурації яскравих планет

Планета	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 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).

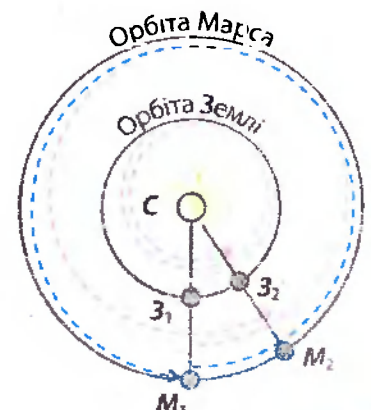
Синодичний період обертання визначає рух тіл відносно Землі і Сонця. Це проміжок часу, через який спостерігаються одні й ті самі послідовні конфігурації планет (протистояння, сполучення, елонгації).

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

T — рік; $T_{\text{Марса}} \approx 1,9$ року; $S_{\text{Марса}} \approx 2,1$ року

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

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



На рис. 4.2 положення $S-Z_1-M_1$ та $S-Z_2-M_2$ — 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. И. Кеплер (1571—1630)

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

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

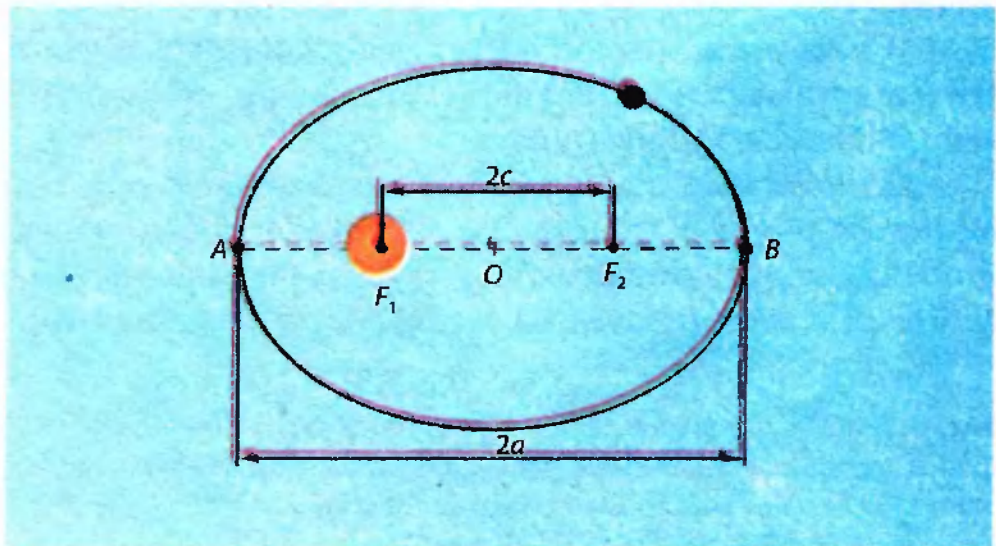


Рис. 4.4. Планети обертаються навколо Сонця по еліпсах.

$AF_1 = r_{\min}$ — 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 дозволить 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

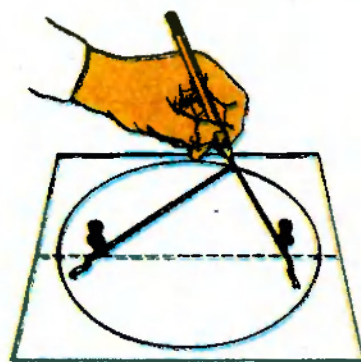


Рис. 4.5. Як правильно нарисувати еліпс

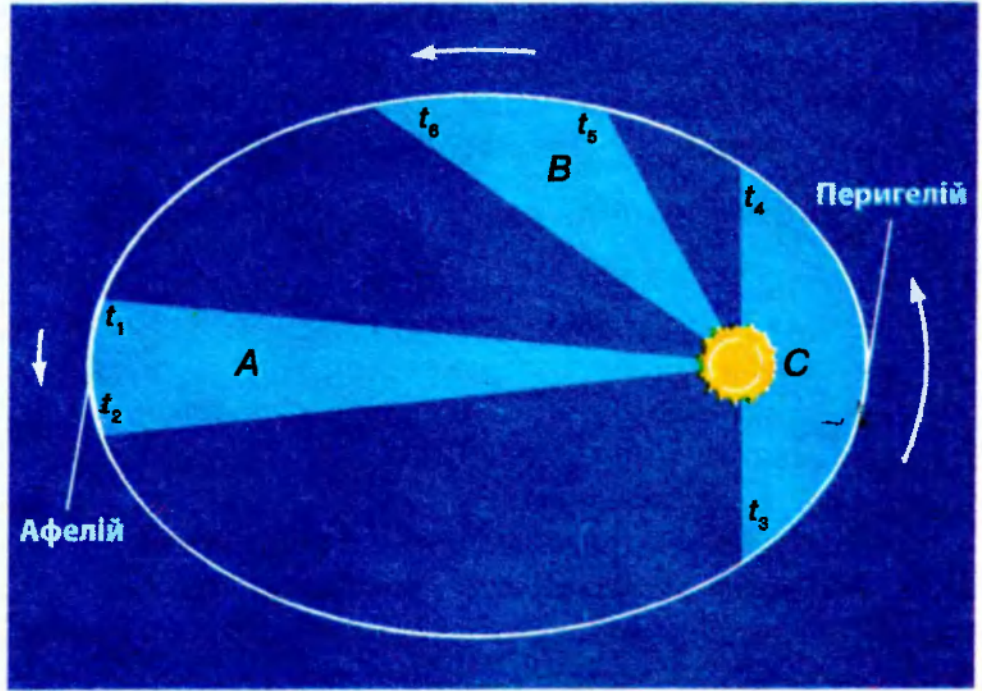
Найбільшу швидкість Земля має взимку:

$V_{\max} = 30,38 \text{ км/с}$

Найменшу швидкість Земля має влітку:

$V_{\min} = 29,36 \text{ км/с}$

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

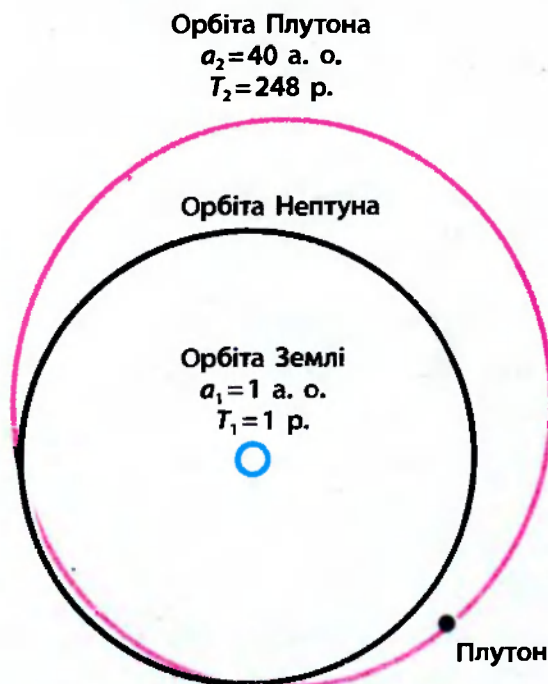


Рис. 4.7. Із спостережень була визначена велика піввісь орбіти Плутона $a_2 = 40$ а. о. Враховуючи параметри орбіти Землі a_1, T_1 , згідно з (4.2) маємо $T_2 = 248$ р.

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 добутковій 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.

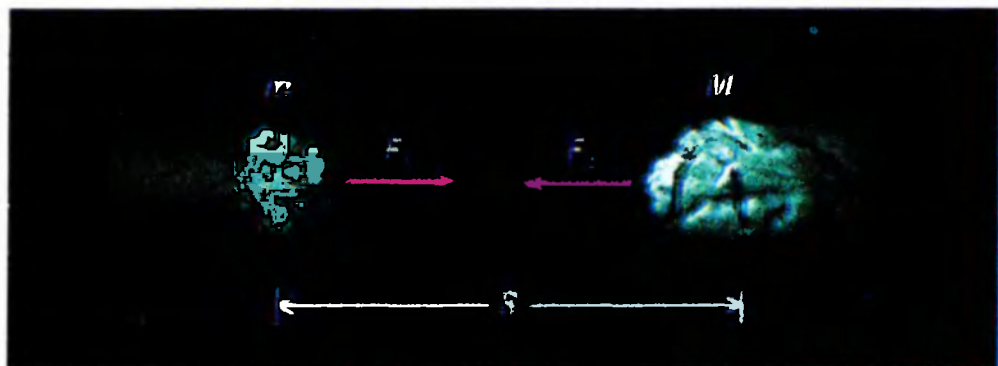


Рис. 4.8. Закон всесвітнього тяжіння

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 планети притягуються

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

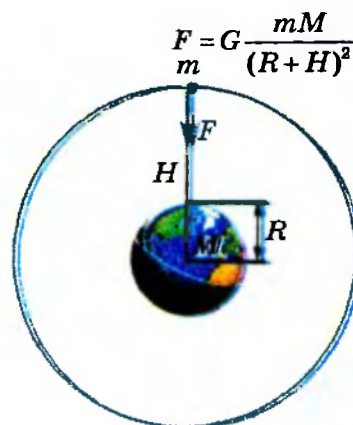




Рис. 4.10. Вага космонавтів залежить від маси планети та її радіуса. На астероїдах космонавти повинні прив'язуватися, щоб не полетіти в космічний простір

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 Й. 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^{39} 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. Припустімо, 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 відрізнятяться. 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.

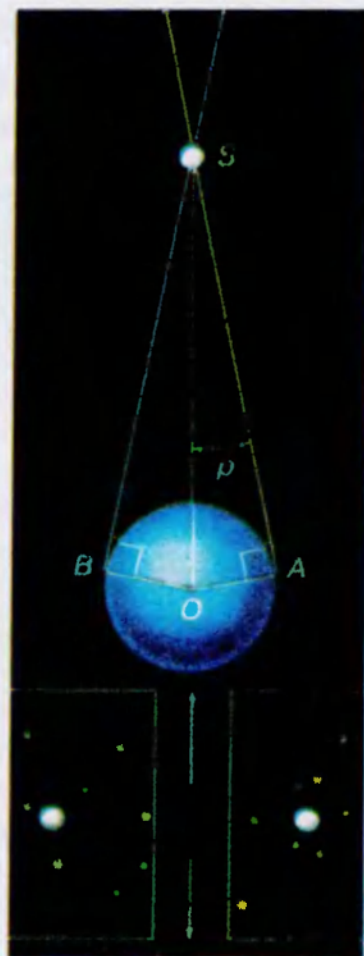


Рис. 4.11. Горизонтальний паралакс p світила визначає кут, під яким із цього світила було б видно перпендикулярний до променя зору радіус Землі

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.



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. Водолій.
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 США 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:

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

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 колової швидкості має при висоті $H = 0$, тобто у тому випадку, коли супутник рухається біля самої поверхні Землі. Така швидкість у космонавтиці називається **першою космічною**:

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

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.

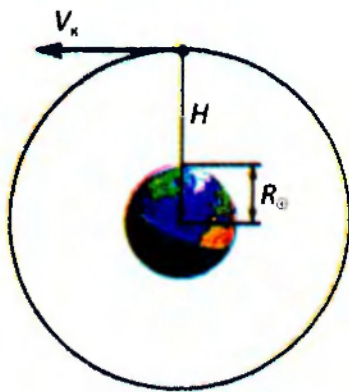


Рис. 5.3. Колова швидкість визначає рух тіла навколо Землі на сталій висоті H над її поверхнею

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



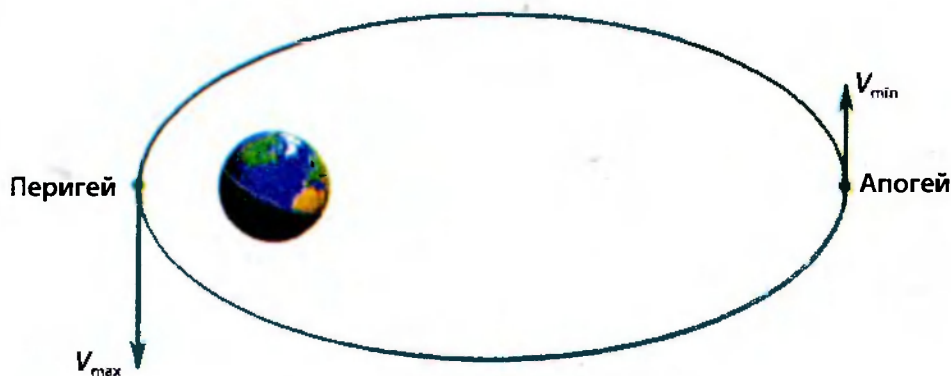
Для допитливих

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

3 Рух космічних апаратів по еліптичних орбітах

Якщо величина швидкості супутника буде відрізнятись 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):

$$\frac{T_C^2}{T_M^2} = \frac{a_C^3}{a_M^3}, \quad (5.3)$$

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; $a_M = 380\,000$ км — велика піввісь орбіти Місяця. З рівняння (5.3) визначимо:

$$T_C = T_M \sqrt{\frac{a_C^3}{a_M^3}} \quad (5.4)$$

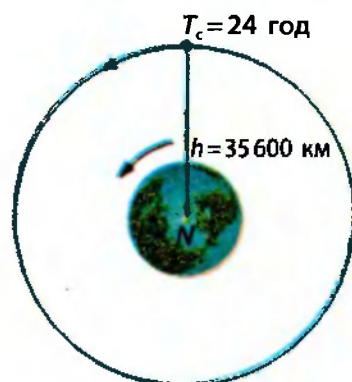


Рис. 5.5. Геостационарний супутник обертається на висоті 35 600 км тільки по коловій орбіті в площині екватора з періодом 24 год (N — Північний полюс)

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.

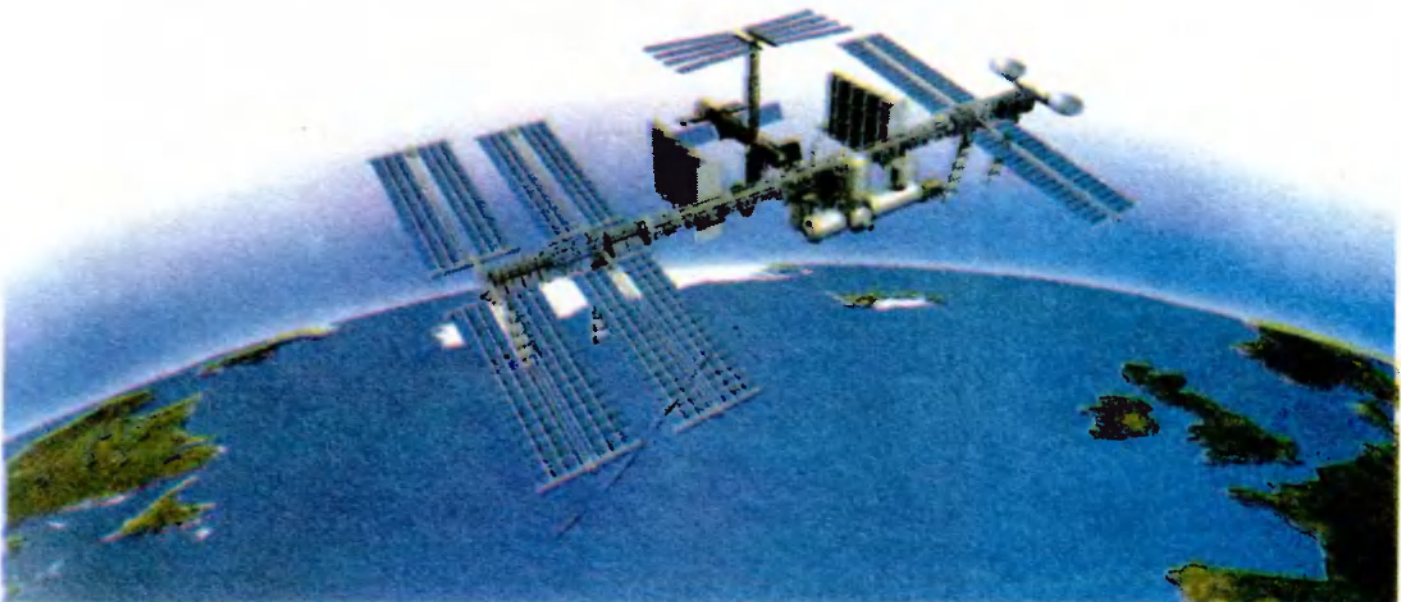
Під час міжпланетних польотів, наприклад, на Марс, КА летить по еліпсу, у фокусі якого перебуває Сонце. Найвигідніша траєкторія з найменшою витратою енергії пролягає по еліпсу, який є дотичним до орбіт Землі й Марса. Точки старту та прильоту лежать на одній прямій по різні боки від Сонця. Такий політ 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

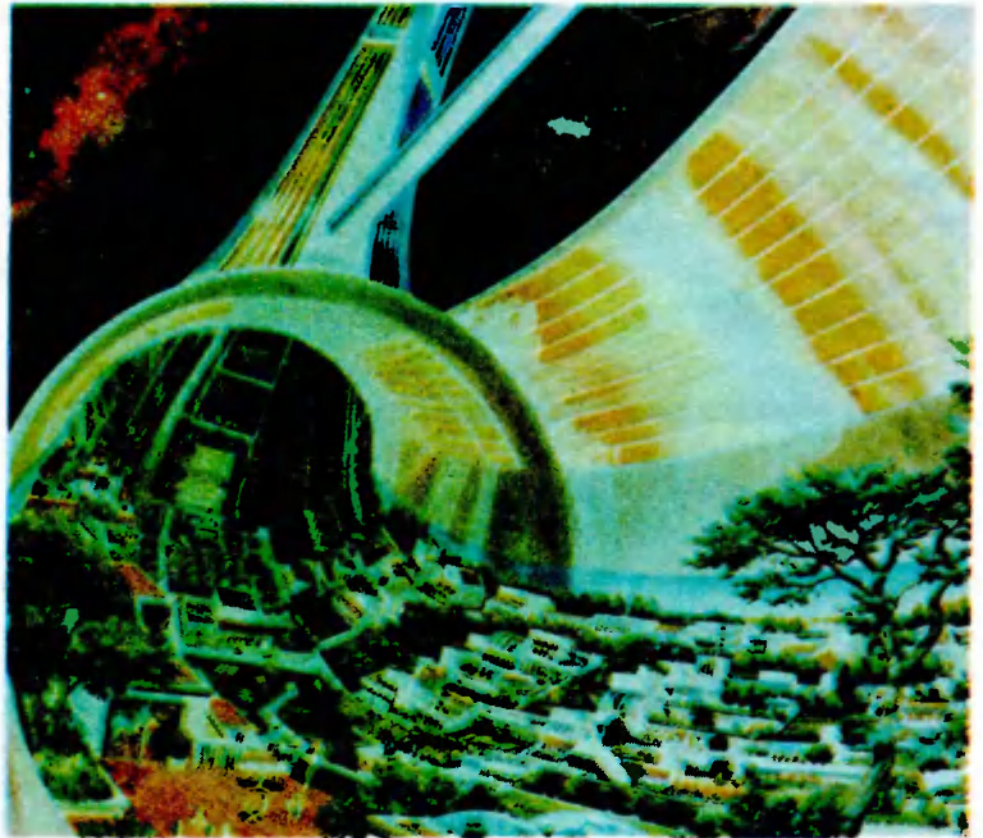


Рис. 5.8. Старт української ракети «Зеніт» з космодрому в Тихому океані



**Висновки**

Космонавтика як наука про польоти в міжпланетний простір бурливо 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.



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 $T = 300$ К 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 переви-промінює в навколишній простір, але в іншій частині спектра

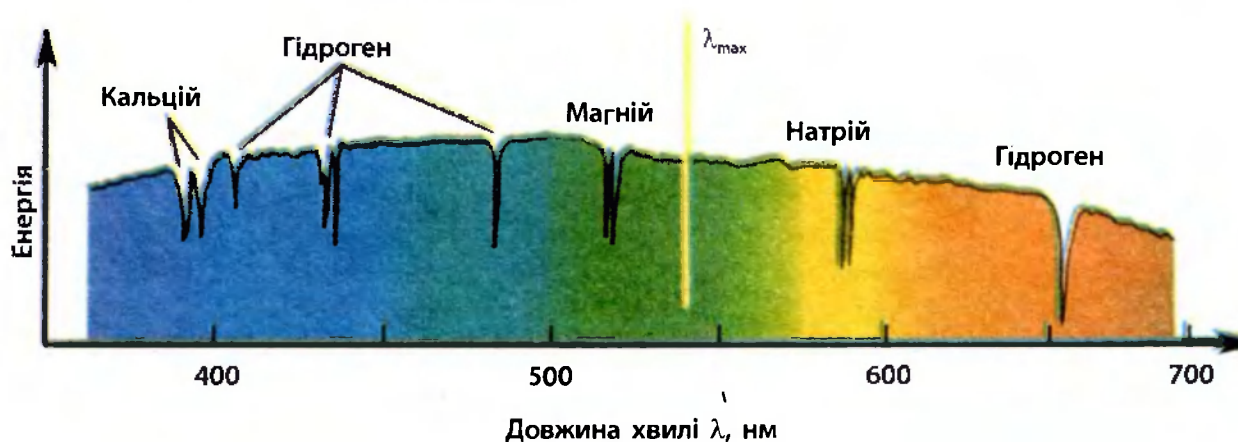


Рис. 6.1. Спектр випромінювання зорі з температурою $T=5800$ К. Западини на графіку відповідають темним лініям поглинання, які утворюють окремі хімічні елементи



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.

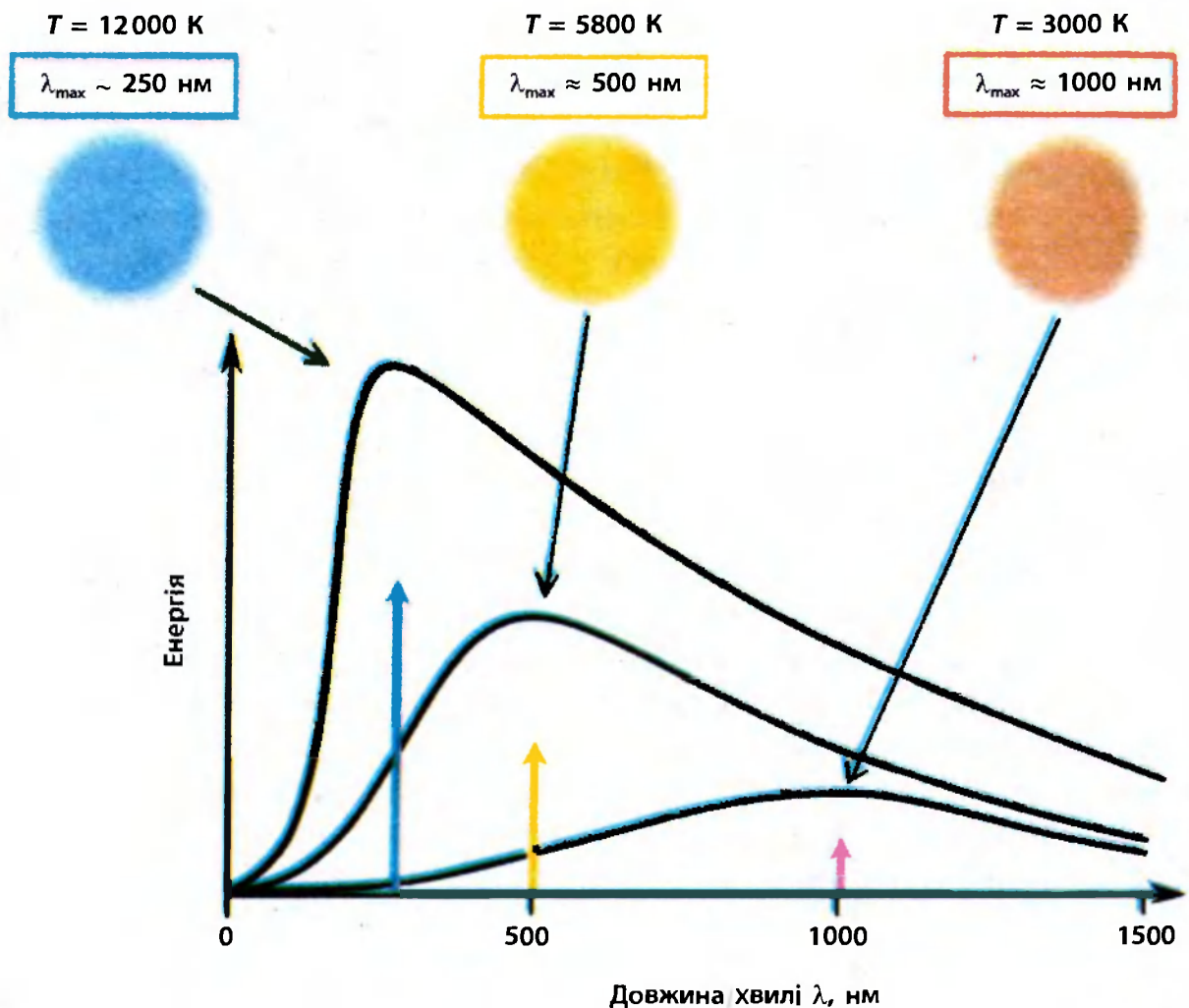


Рис. 6.2. Розподіл енергії у спектрі випромінювання зір. Колір зір визначає температуру поверхні T : сині зорі мають температуру 12000 К, а червоні — 3000 К. При збільшенні температури на поверхні зір зменшується довжина хвилі λ_{max} , яка відповідає максимуму енергії випромінювання

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 $1'$ (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 $\alpha \geq 1'$, а якщо $\alpha < 1'$, 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.

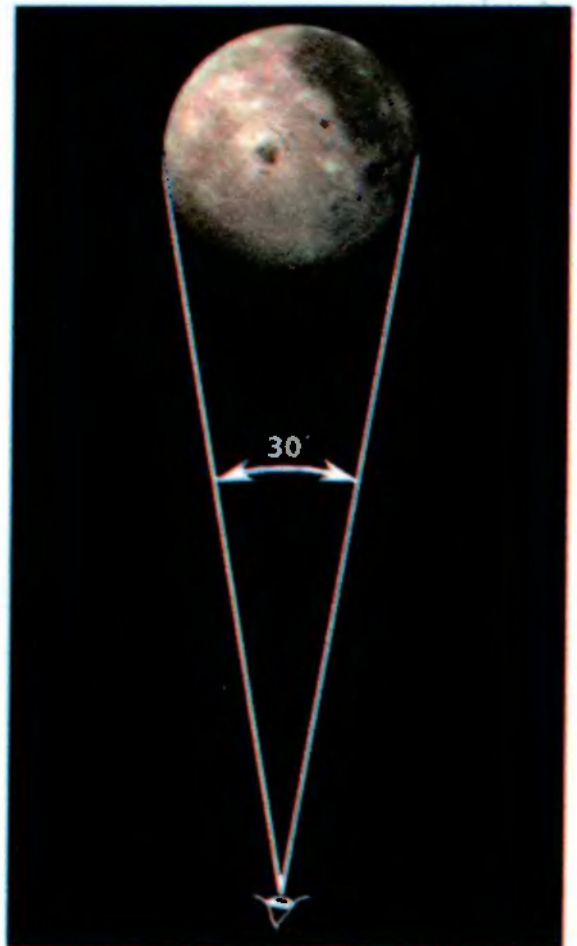


Рис. 6.3. Ми розрізняємо диск Місяця, бо його кутовий діаметр $30'$, у той час як кратери неозброєним оком не видно, бо їх кутовий діаметр менший за $1'$. Гострота зору визначається кутом $\alpha \geq 1'$

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_1 . Двоопукла лінза, яку називають об'єктивом, будує зображення світила у фокальній площині на відстані F від об'єктива (рис. 6.4). У фокальній площині установлюють фотопластину, відеокамеру або інший приймач зображення. Для візуальних спостережень використовують короткофокусну лінзу — лупу, яку називають окуляром.

Рефрактор — телескоп, у якому для створення зображення використовують лінзи

Рефлектор — телескоп, у якому для створення зображення використовують дзеркало

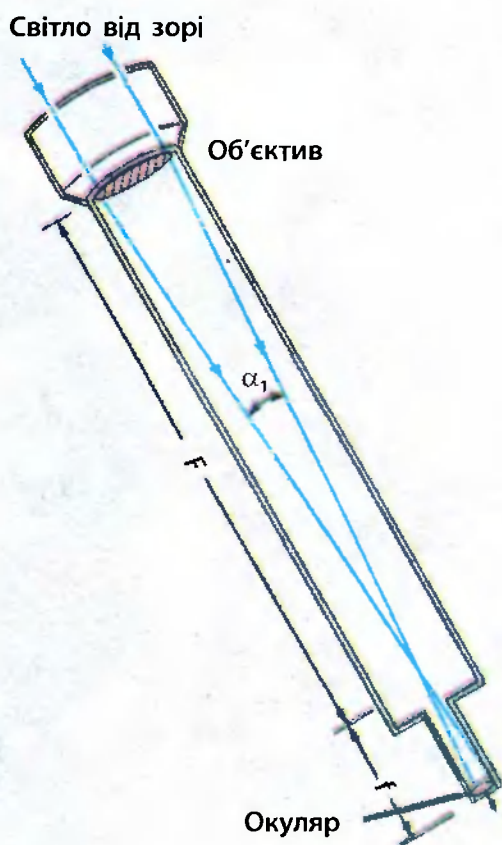


Рис. 6.4. Схема лінзового телескопа (рефрактора)

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, телівізійні 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

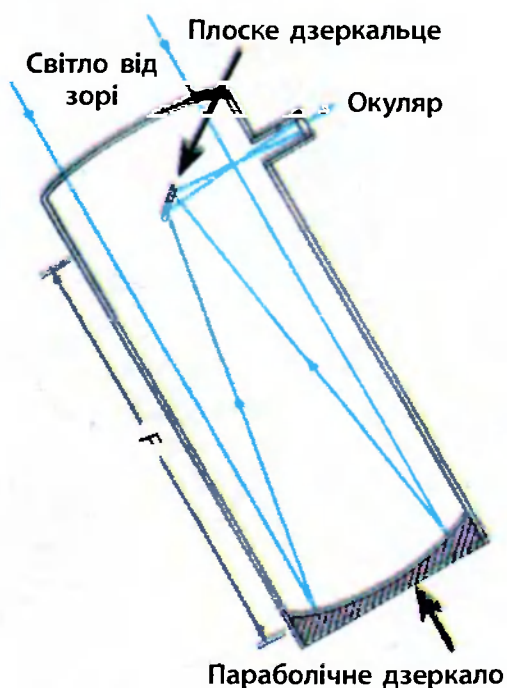


Рис. 6.5. Схема дзеркального телескопа (рефлектора)

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 *радіограмки*. 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).

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

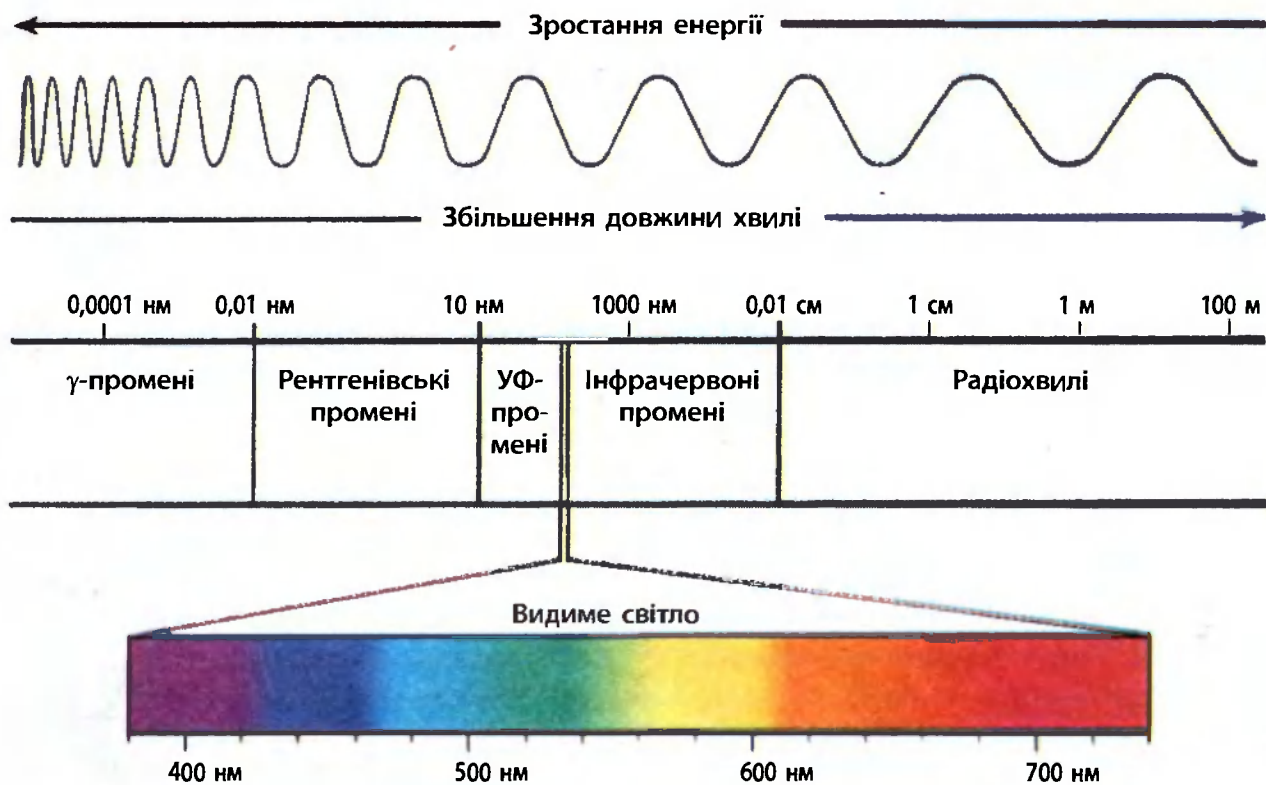


Рис. 6.7. Шкала електромагнітних хвиль



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



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.



Рис. 6.9. Найбільший у світі радіотелескоп УТР-2 (Український Т-подібний радіотелескоп) має розміри 1800 м x 900 м.

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 рентгенівській 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).

Великий внесок у вивчення Всесвіту зробили також українські вчені. За їхньою участю були створені перші КА, які почали досліджувати не тільки навколоземний 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.

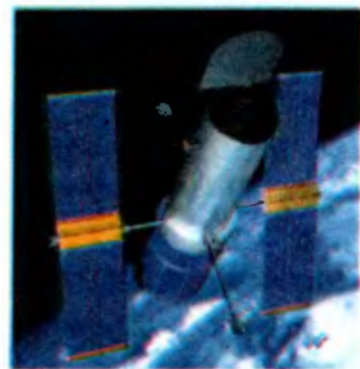


Рис. 6.10. Космічний телескоп Габбла розміщений за межами атмосфери, тому його роздільна здатність у 10 разів, а чутливість у 50 разів перевершують можливість наземних телескопів



Рис. 6.11. Астрономічна обсерваторія



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.

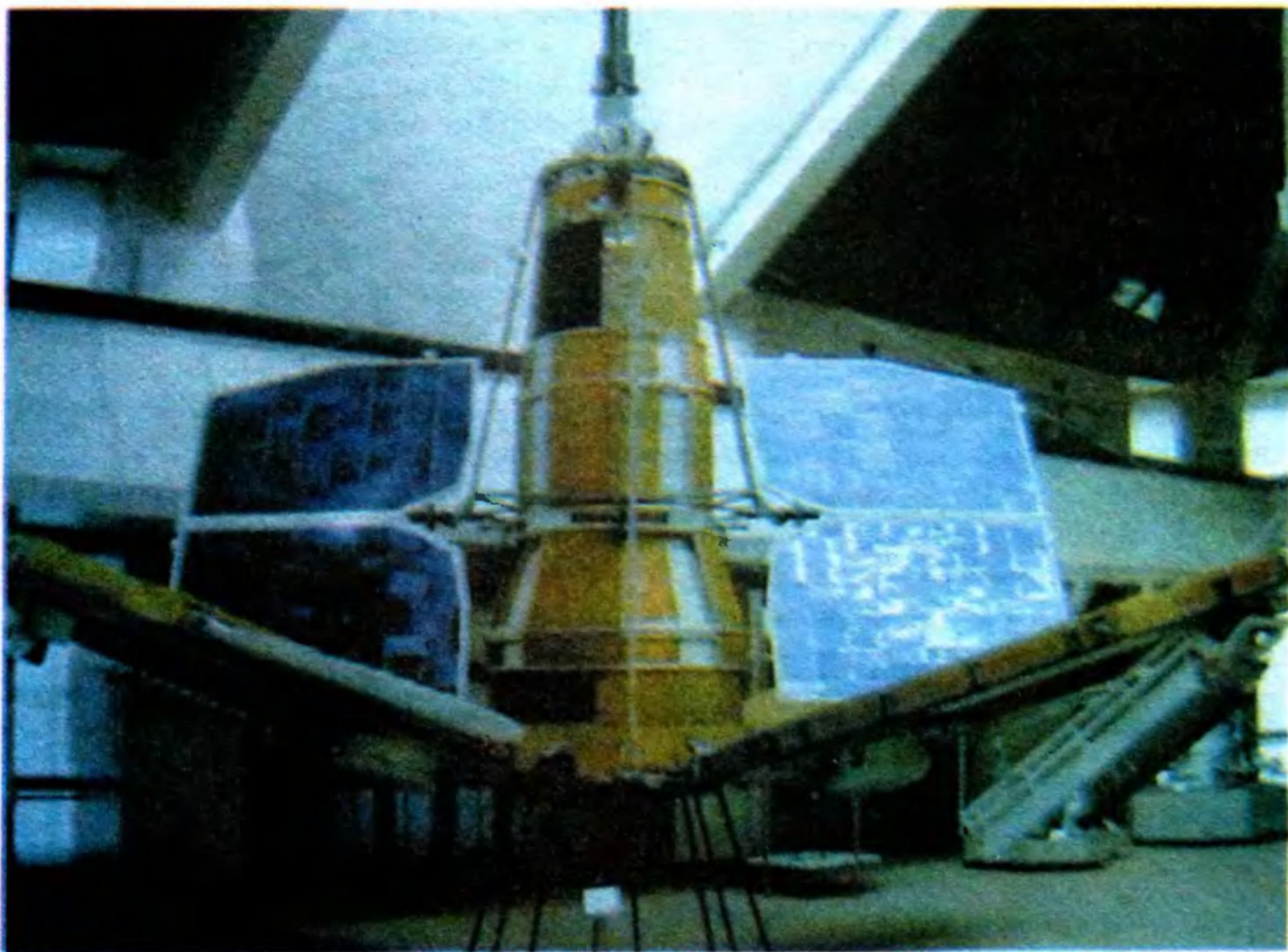


Рис. 6.12. Перший український супутник «Січ-1» .



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 K .
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 $380\,000\text{ км}$.



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 °C
максимальна	+60 °C
мінімальна	-88 °C

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

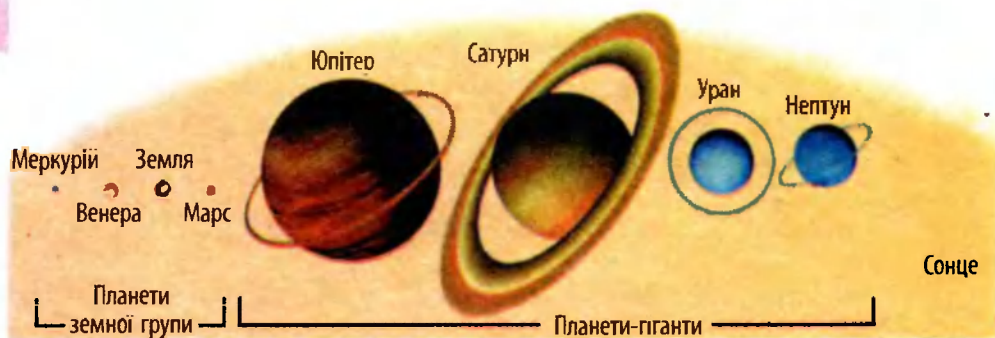


Рис. 7.1. Порівняльні розміри планет земної групи та планет-гігантів

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

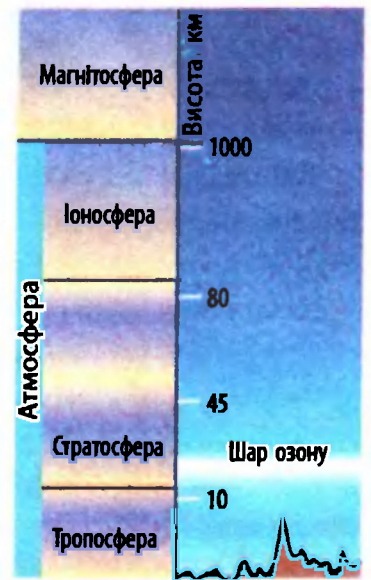


Рис. 7.3. Будова земної атмосфери. Повітря нагрівається від поверхні Землі, тому з висотою температура в тропосфері знижується

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.



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.

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*.

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 розділилася 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-

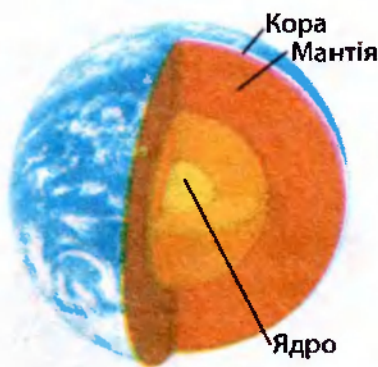
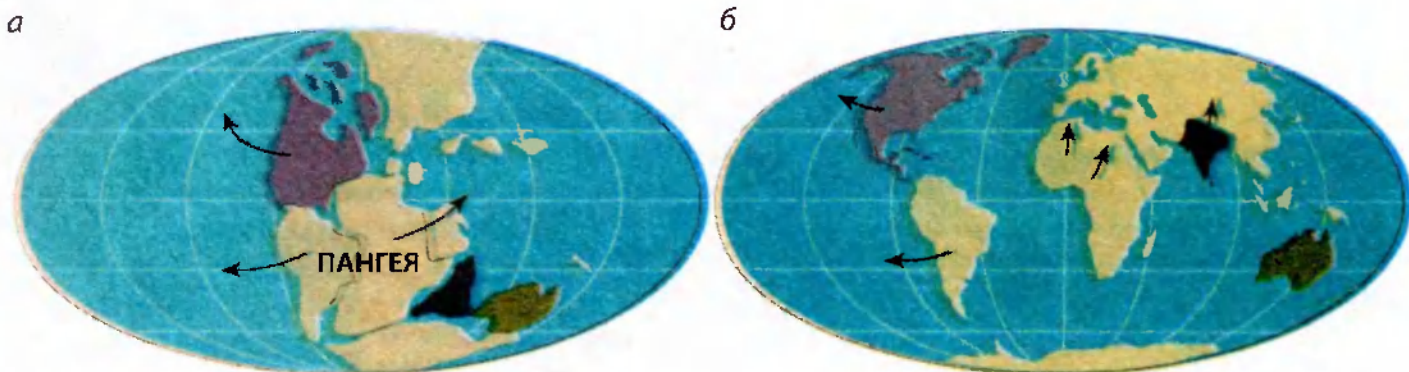


Рис. 7.4. Внутрішня будова Землі

Рис. 7.5. Рух материків.
а — вважають, що 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



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 $0,8^{\circ}\text{C}$, 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

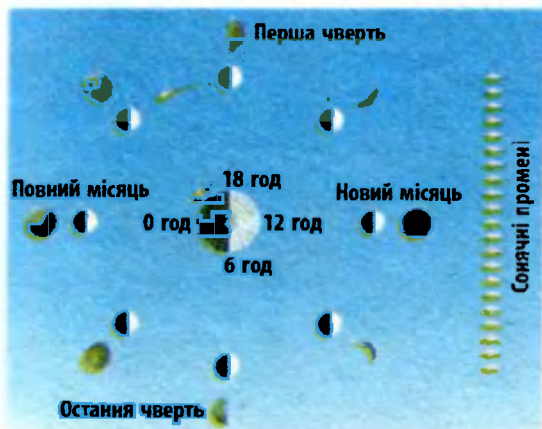
Парниковий ефект створює плівка в парнику, якою накривають грядку. Удень сонячне світло проходить крізь плівку і нагріває землю. Якщо ґрунт темного кольору, то у зворотному напрямку випромінюється енергія в інфрачервоній частині спектра, яка затримується плівкою. В атмосфері Землі парниковий ефект створюють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

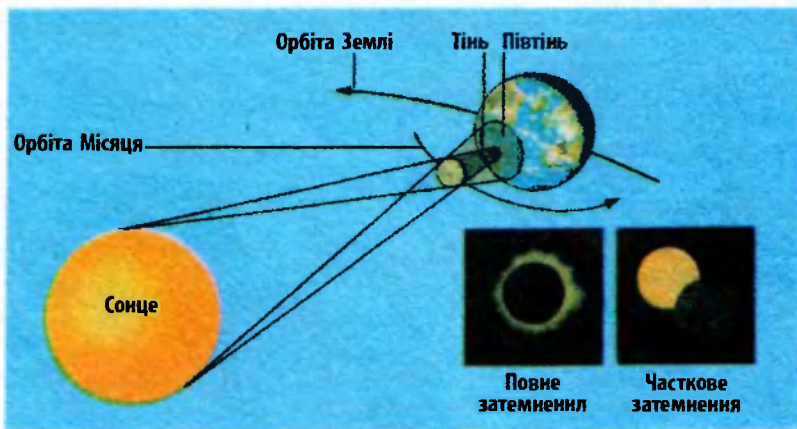
Рис. 7.6. Зміна фаз Місяця відбувається внаслідок того, що до Землі в різний час повернені різні частини денної та нічної півкуль Місяця



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: $T_{\text{сар}} = 6585,33$ доби = 18 років 11 діб 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.

Хімічний склад ґрунту на Місяці, %
(за даними АМС «Луна-20»)

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



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



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» ста-

ла 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.

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).

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



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.

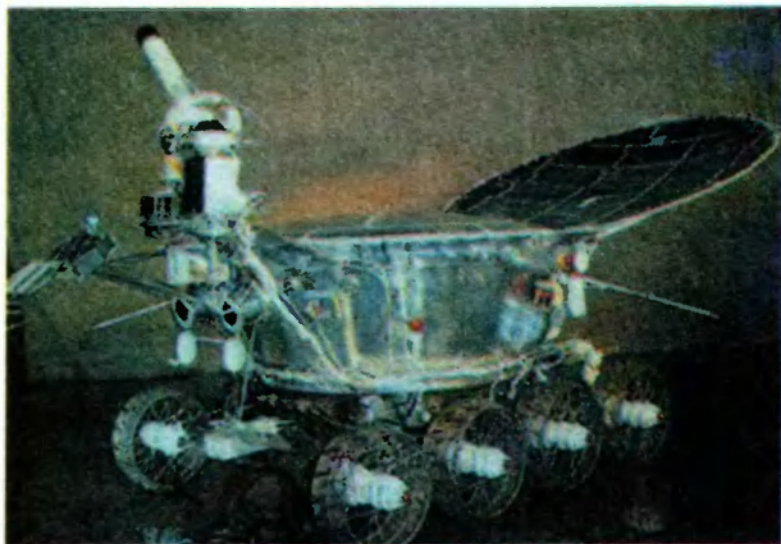


Рис. 7.11. «Луноход-1»



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 однаково кількість енергії, але фізичні умови на їхніх поверхнях суттєво відрізняються. Головна причина такої відміни 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 наукові 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.

§ 8. Планети земної групи

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося, які умови існують на поверхні планет земної групи;
- довідаємося, чому на Венері і вдень, і вночі неймовірна спека;
- побачимо, чи є життя на Марсі.

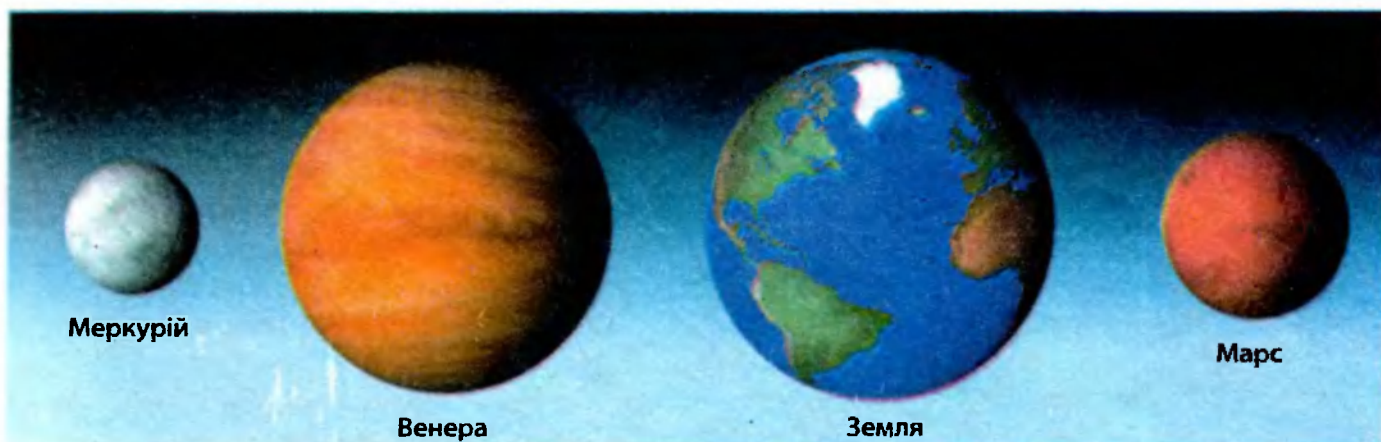
1 Загальна характеристика планет земної групи

Планети земної групи — Меркурій, Венера, Земля і Марс у порівнянні з планетами-гігантами мають відносно невеликі розміри, тверду поверхню та значну густину (близько 5 г/см^3), бо складаються переважно з важких хімічних елементів (рис. 8.1). Ці планети мають гаряче *металеве ядро*, яке оточене мантією із силікатних порід. Верхній шар планет — *кора*, формується під дією як внутрішнього тепла, так і зовнішніх (космічних) факторів. Але температура на поверхні планет земної групи суттєво відрізняється, бо вони отримують від Сонця різну кількість енергії. До того ж в атмосферах Меркурія, Венери і Марса майже немає кисню, а тиск суттєво відрізняється від атмосферного тиску на Землі. Якщо на поверхні Землі є умови для існування життя, то на поверхні інших планет поки що не виявлено навіть примітивних бактерій.

2 Меркурій

Меркурій є найменшою планетою Сонячної системи, яку рідко кому випадало спостерігати неозброєним оком, тому що вона розташована близько від Сонця. Меркурій дуже повільно обертається навколо своєї осі — сонячна доба вдвічі довша, ніж період його

Рис. 8.1. Відносні розміри планет земної групи



обертання навколо Сонця. Отже, протягом майже трьох місяців там світить Сонце і стільки ж триває ніч.

Знімки поверхні Меркурія, які були зроблені за допомогою АМС «Марінер-10» (США), вражають схожістю його рельєфу з поверхнею Місяця — така ж величезна кількість кратерів, що свідчить про однакову природу цих космічних тіл (рис. 8.2). Кратери на Меркурії названі іменами відомих поетів, письменників, художників, композиторів. Один із великих кратерів названий на честь Тараса Шевченка.

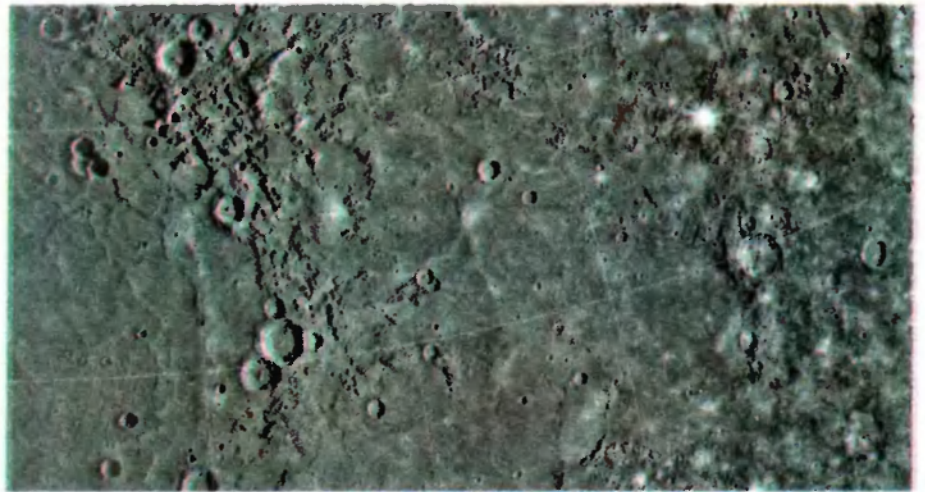
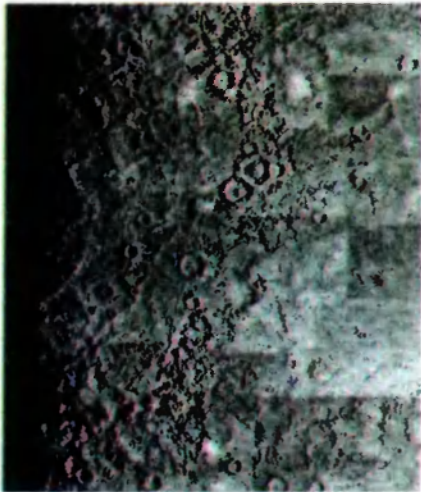
На поверхні Меркурія були виявлені також величезні рівнини, які заповнені застиглою базальтовою лавою. Це свідчить, що планета була колись розігріта, внаслідок чого в той час відбувалася інтенсивна вулканічна діяльність (рис. 8.3).

Рис. 8.3. Застигла лава на рівнині Калоріс свідчить, що Меркурій 3 млрд років тому був розігрітий за рахунок внутрішнього тепла, і тоді діяли сотні вулканів. Свіжі кратери утворилися після падіння метеоритів

Меркурій ♿

Радіус	0,38 R_{\oplus}
Маса	0,06 M_{\oplus}
Густина	5,4 г/см ³
Прискорення вільного падіння	0,38 g_{\oplus}
Орбіта	$a=0,39$ а. о.
Рік	88 з. діб
Сонячна доба	176 з. діб
Температура, °С:	
Вдень	+430
Вночі	-170

Рис. 8.2. Кратери на Меркурії



Для допитливих

Тривалість дня і ночі та погода на Меркурії не змінюються, бо його вісь обертання майже перпендикулярна до площини орбіти, і змін пір року на ньому не відбувається. Денна температура сягає +430 °С, але протягом тримісячної ночі поверхня цієї планети сильно охолоджується, і температура на світанку знижується до -170 °С. Грунт Меркурія дуже роздрібнений і має низьку теплопровідність, тому вже на глибині кількох десятків сантиметрів температура не змінюється. Меркурій не може утримувати сталу атмосферу, але біля поверхні планети вдалося виявити присутність атомів Гелію — це пояснюється так званим «сонячним вітром», який складається з елементарних частинок та окремих ядер легких хімічних елементів. У гравітаційному полі Меркурія атоми Гелію можуть рухатися не більше 200 діб, а потім губляться в міжпланетному просторі. Отже, атмосфера цієї планети трохи подібна до ріки, складові якої постійно «пливуть» від Сонця мимо Меркурія до Землі та більш далеких планет.

3 Венера

Венера привертає увагу людей тим, що на нашому небі її яскравість у десятки разів перевищує блиск зір першої зоряної величини. Українська народна назва цієї планети — *Вечірня* або *Вранішня зоря*, бо вона першою з'являється на вечірньому небосхилі й останньою гасне на світанку.

Довгий час Венеру називали планетою загадок, бо густі хмари приховують її поверхню (рис. 8.4). Тільки недавно радіоспостереження виявили, що Венера повільно обертається навколо осі у зворотному напрямку (порівняно з обертанням Землі), і сонячна доба там триває 117 земних діб.

На перший погляд, Венера дуже схожа на Землю, бо ці планети мають майже однакові розміри та масу. Астрономи сподівалися, що клімат на Венері трохи тепліший в порівнянні із земним, а фантасти навіть писали про буйне життя на цій таємничій планеті... Уперше в історії людства АМС серії «Венера» (СРСР) зробили м'яку посадку на поверхню іншої планети і передали на Землю телевізійне зображення поверхні Венери (рис. 8.5, 8.6).

У хмарах на Венері крім пари води утворюються краплини сірчаної кислоти, але до поверхні ці кислотні дощі не долітають, бо під хмарами температура різко підвищується (на поверхні $+480^{\circ}\text{C}$) і краплі випаровуються. Основний шар хмар розташовується на значній висоті (50—60 км), що пояснюється великим атмосферним тиском, який біля поверхні досягає 90 атм — такий тиск на Землі

Рис. 8.5. Панорама поверхні Венери, яку передала АМС «Венера-14». Небо вдень тьмяне, як на Землі перед дощем. Колір хмар і поверхні червоний, бо атмосфера поглинає сонячне проміння у синій частині спектра

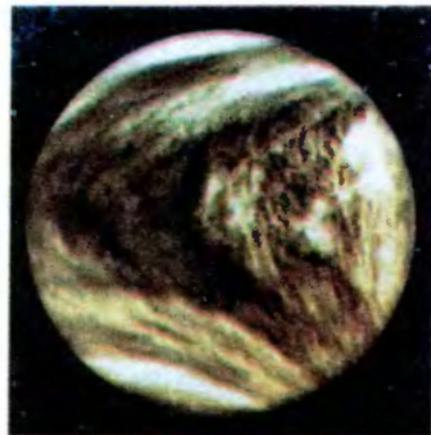


Рис. 8.4. Хмари на Венері, які видно під час спостережень за допомогою телескопа

Венера ♀

Радіус	$0,95 R_{\oplus}$
Маса	$0,8 M_{\oplus}$
Густина	$5,2 \text{ г/см}^3$
Прискорення вільного падіння	$0,9 g_{\oplus}$
Орбіта	$a=0,72 \text{ а. о.}$
Рік	225 з. діб
Сонячна доба	117 з. діб
Атмосфера:	$\text{CO}_2, \text{N}_2, \text{H}_2\text{O}$
Атм. тиск	90 атм.
Температура поверхні, $^{\circ}\text{C}$:	
вдень	+480
вночі	+480

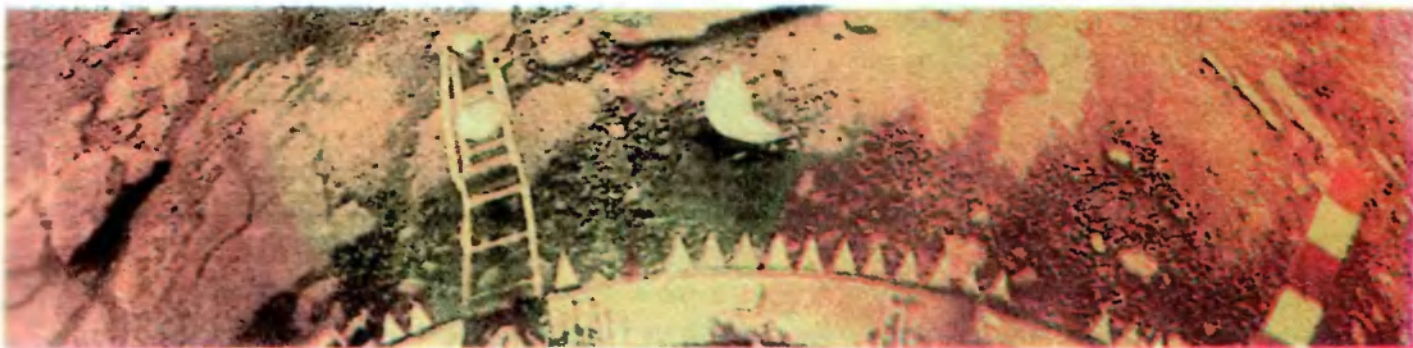




Рис. 8.6. АМС «Венера-14» (СРСР)

в океані на глибині 900 м. Хмари на Венері, скоріше, нагадують слабку імлу, в якій видно предмети на відстані до 1 км. Загадкою Венери залишається питання: чому в атмосфері планети так багато вуглекислого газу і так мало води? Дослідження показують, що загальна кількість вуглекислого газу та води, яка виділялась при виверженні вулканів на Землі й Венері, була колись приблизно однакова. Виникає природне запитання: куди поділася вода з поверхні Венери? Чи були колись на Венері океани та моря?

Астрономи створили детальну карту Венери, на якій позначено сотні кратерів, більшість з яких колись були вулканами, бо майже 80 % поверхні Венери вкриті вулканічною лавою (рис. 8.7). Деякі кратери утворились після падіння астероїдів. За традицією назви кратерів на Венері даються на честь видатних жінок, які зробили суттєвий внесок у поступ нашої цивілізації. Один із вулканів назвали на честь астронома Харківської астрономічної обсерваторії Валентини Федорець.



Рис. 8.7. За допомогою радіолокатора вдалося зазирнути під хмари. Поверхня Венери вкрита лавою від виверження вулканів



Для допитливих

Температура поверхні Венери становить $+480^{\circ}\text{C}$, залишається сталою протягом доби і не змінюється залежно від відстані до полюса чи екватора. За таких умов на Венері не відбувається різких змін погоди — ніколи не буває ураганів, а швидкість вітру біля поверхні не перевищує 1 м/с. Висока температура біля поверхні планети зумовлена парниковим ефектом. Головна складова атмосфери Венери — вуглекислий газ (CO_2) — близько 97% за об'ємом. Несподіваним виявилось те, що протягом двомісячної ночі на поверхні Венери не спостерігається абсолютної темряви. Крім постійних спалахів блискавок, які супроводжуються гуркотом грому, там уночі видно свічення верхніх шарів атмосфери. Нічне освітлення підсилюють вогні від діючих вулканів, які внаслідок заломлення променів в атмосфері видно на відстані сотень кілометрів.



Для майбутніх космонавтів

На поверхні Венери людина вижити не зможе, бо сучасні скафандри не витримують атмосферний тиск у 90 атм. Можливо, що космонавти будуть користуватися літаками й повітряними кулями, які зможуть літати у верхніх шарах атмосфери планети на висоті майже 50 км, де температура та тиск такі, як на Землі. Не виключена можливість існування чужих форм життя, які пристосувалися до умов на Венері, адже навіть деякі види земних бактерій могли б вижити у хмарах на цих висотах. Фантасти пропонують поселити у хмарах бактерії, які будуть поглинати вуглекислий газ і виділяти кисень. Із часом на Венері може знизитися температура, на поверхню випадуть дощі, потечуть ріки і знову утворяться моря.

4 Марс

Названий колись за свій червоний колір на честь бога війни, «кривавий» Марс під час протистоянь за яскравістю поступається тільки Венері. Хоча маса та радіус Марса менші, ніж Землі, але тривалість доби (24,6 год) і зміна пір року (вісь обертання нахилена під кутом 65° до площини орбіти) нагадують нашу планету. Правда, тривалість сезонів на Марсі майже у 2 рази довша, ніж на Землі. Навіть у невеликі телескопи на Марсі видно білі полярні шапки (рис. 8.8), які свідчать про наявність води в атмосфері планети.

Марс привернув особливу увагу людей після того, як у 1877 р. італійський астроном Д. Скіапареллі відкрив «канали». Тоненькі, ледве помітні лінії, які з'єднували темні ділянки поверхні Марса, нагадували людству зрошувальні системи на Землі, тому фантасти висунули ідею про високий інтелект марсіанської цивілізації. Ці повідомлення зачарували американського мільйонера П. Ловелла, який залишив торгівлю і спеціально для пошуків життя на Марсі побудував величезну астрономічну обсерваторію. Після дослідження Марса за допомогою АМС було встановлено, що «канали» є своєрідною оптичною ілюзією, яку створюють окремі ділянки марсіанського ландшафту — гори, долини, кратери (рис. 8.9).

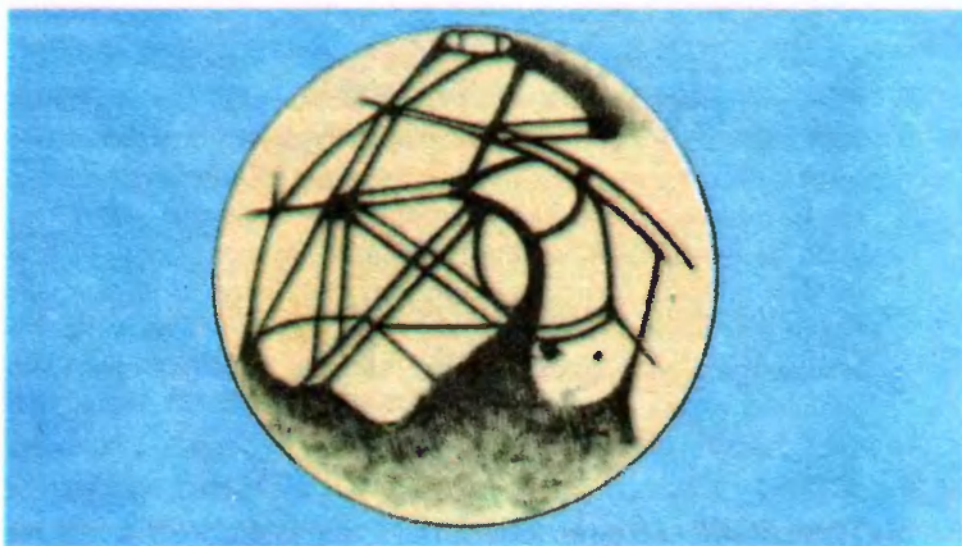
Із близької відстані Марс більше схожий на Місяць, ніж на Землю, бо безліч круглих кратерів свідчать про інтенсивне метеоритне бомбардування в минулому. На деяких схилах метеоритних кратерів видно застигли потоки якоїсь рідини, — можливо, під час вибуху з надр виділялася вода, а потім при низькій температурі знову замерзала (рис. 8.10, 8.11). Ряд кратерів на Марсі назвали

Марс ♂	
Радіус	0,53 R _⊕
Маса	0,11 M _⊕
Густина	3,9 г/см ³
Прискорення вільного падіння	0,37 g _⊕
Атмосфера	CO ₂ , N ₂
Тиск	0,006 атм
Орбіта	a = 1,52 а. о.
Рік	687 зем. діб
Доба	24 год 37 хв
Температура поверхні, °C:	
вдень максимальна	+22
вночі	-60,
мінімальна (на полюсі)	-133

Рис. 8.8. Вигляд Марса в телескоп



Рис. 8.9. «Канали» на Марсі виявилися своєрідною оптичною ілюзією, яку створюють окремі ділянки марсіанського ландшафту. Рисунок італійського астронома Д. Скіапареллі



на честь українських астрономів: Барабашов, Герасимович, Сімейкін, Струве, Фесенков.

Чи є життя на Марсі? Розріджена атмосфера та великі добові перепади температури роблять неможливим існування високорозвинених форм життя — рослин або тварин. На знімках поверхні (рис. 8.12) видно червону пустелю з дюнами піску, який переноситься вітром на тисячі кілометрів. Червоний колір марсіанського ґрунту пояснюють значним вмістом (до 16%) оксидів заліза (звичайної іржі). Про відсутність життя на поверхні Марса свідчать також результати експериментів, які безпосередньо проводились за допомогою АМС — присутність мікроорганізмів на поверхні не зареєстрована.

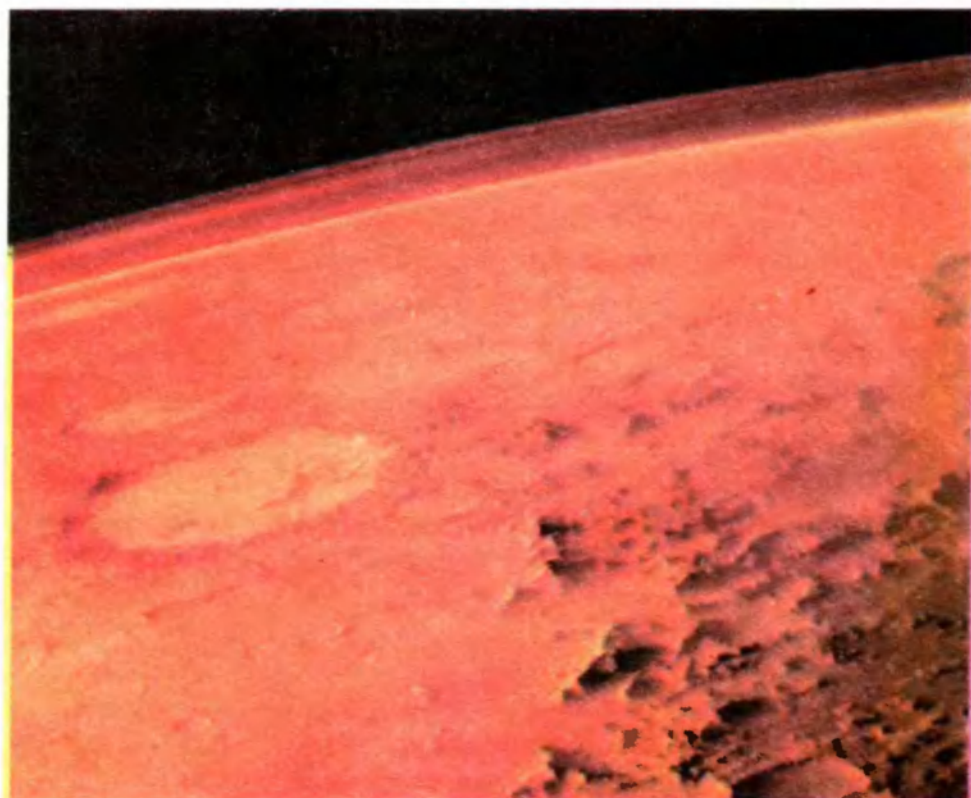


Рис. 8.10. Марс із висоти кількох сотень кілометрів. На горизонті — тонкий шар розрідженої атмосфери. Ліворуч — дивний кратер, який нагадує обличчя людини, що усміхається

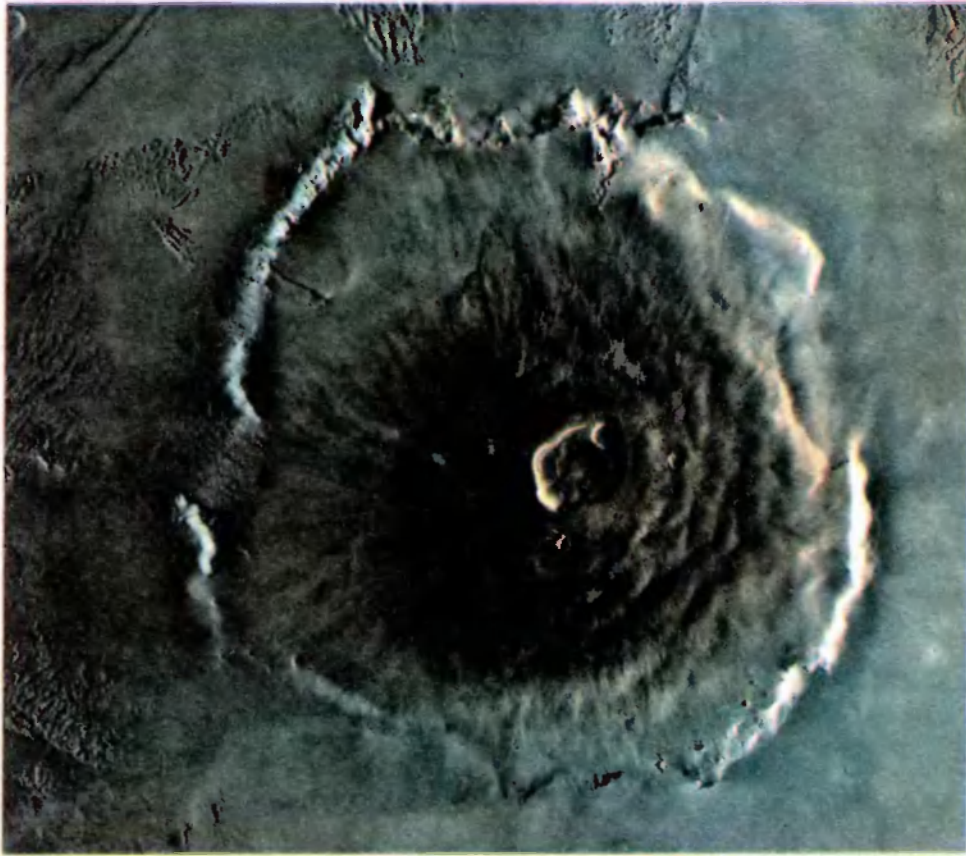


Рис. 8.11. Вулкан Олімп, розташований недалеко від екватора Марса,— найвища гора Сонячної системи. Діаметр вулканічної платформи сягає 700 км, вершина має висоту 27 км, а діаметр жерла вулкана — 75 км

На Марсі ніколи не випадає дощ, бо пари води в атмосфері у 100 разів менше, ніж на Землі. На самій поверхні Марса вода в рідкому стані не помічена, бо при тискові 0,006 атм температура кипіння води знижується до $+3^{\circ}\text{C}$. Тобто як тільки на поверхні утворюється невелика калюжа, то вода закипає і випаровується. Запасів води у вигляді снігу та льоду під поверхнею Марса може бути набагато більше — якби рівномірно її розподілити по поверхні, то глибина такого моря могла б сягати кілька сотень метрів. Русла висохлих річок на поверхні свідчать, що в минулому на Марсі була більш густа атмосфера, випадали дощі, і ймовірно існувало життя. Клімат на Марсі міг змінитися через зіткнення з астероїдом.



Для допитливих

На Марсі виявлена дуже розріджена атмосфера. Головна її складова — вуглекислий газ CO_2 (95% за об'ємом). Атмосферний тиск не перевищує 0,006 атм (такий малий тиск у земній атмосфері на висоті 20 км), тому парниковий ефект є невеликим — цим пояснюються значні добові коливання температури. Найвища температура влітку поблизу екватора на темних ділянках ґрунту піднімається до $+22^{\circ}\text{C}$, але в тому ж місці температура перед світанком опускається до -50°C . Взимку біля полюсів, де полярна ніч триває 8 місяців, мороз сягає -133°C , це є найнижчою можливою температурою на поверхні Марса. За таких умов починається конденсація вуглекислого газу, коли виділяється тепло. Температура залишається сталою, доки весь вуглекислий газ із атмосфери не перетвориться у твердий стан.



Для майбутніх космонавтів

На поверхні Марса теж треба одягати скафандри, але досвід космічних експедицій на Місяць показує, що люди зможуть працювати на цій планеті. Основною проблемою марсіанських експедицій буде велика тривалість космічних перельотів Земля — Марс — Земля (див. § 5), бо космонавти більше двох років будуть перебувати за межами Землі. Міжпланетний корабель із масою кілька тисяч тон будуть монтувати на орбіті навколо Землі, і можливо на Марс полетить міжнародна експедиція з 5—10 космонавтів. У майбутньому на Марсі можна буде створити космічну базу — будівельним матеріалом служитимуть гірські породи, а джерелом енергії — сонячні промені. Воду можна використати для добування кисню і водню, які будуть додатковим джерелом енергії. Не виключена можливість, що під поверхнею Марса можуть існувати поклади нафти і газу... Нарешті, марсіанські експедиції розгадають найбільшу таємницю цієї планети — чи існували там розумні марсіани?

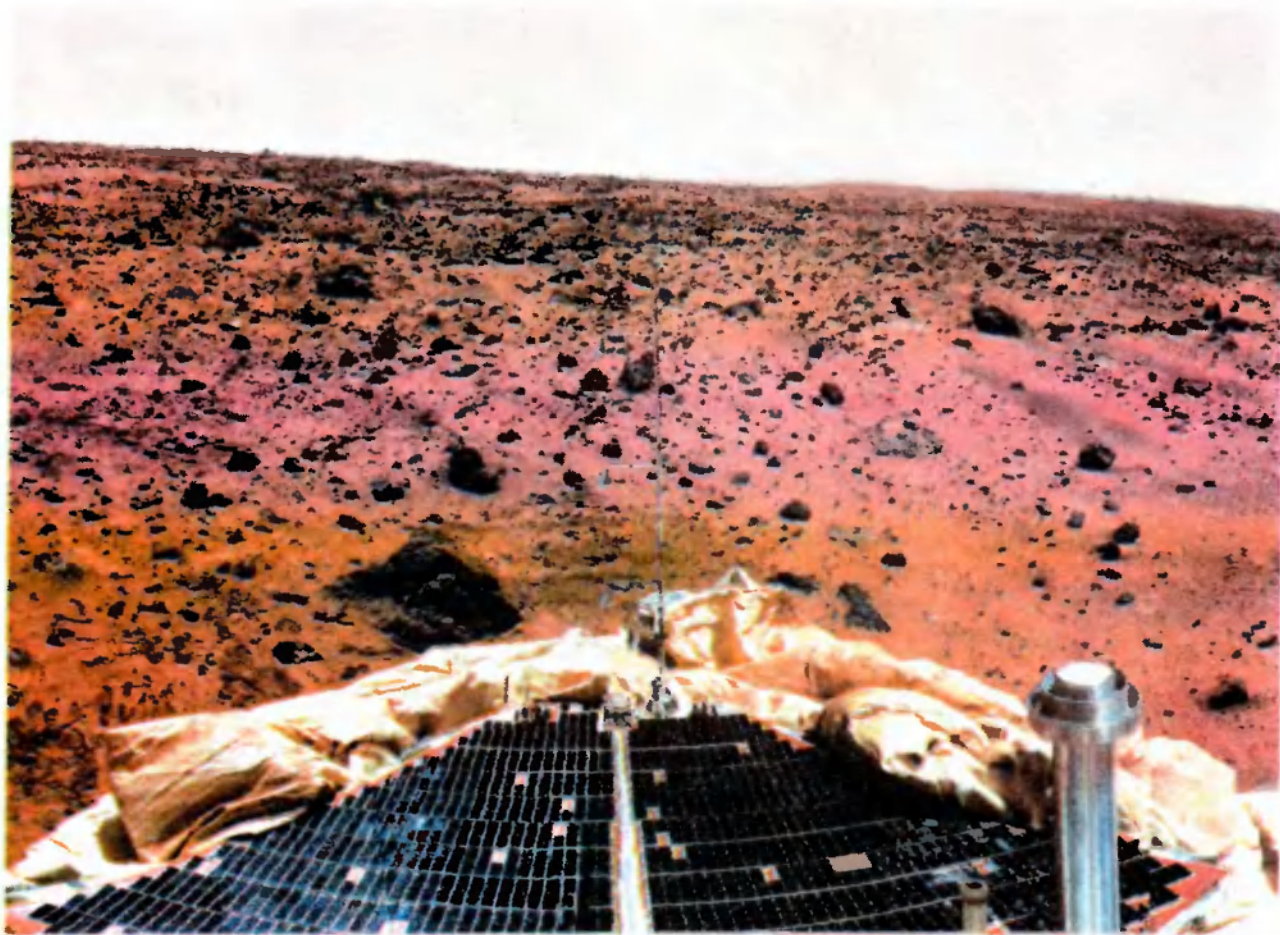


Рис. 8.12. Панорама поверхні Марса. Червоного кольору поверхні надають оксиди заліза. Сильні вітри піднімають у повітря пил, тому барви неба теж рожеві. Ліворуч рейки, по яких з'їхав марсохід — він зупинився під каменем на горбі. Внизу праворуч — парашут



Висновки

Хоча планети земної групи Меркурій, Венера, Земля і Марс схожі за розмірами, масою і внутрішньою будовою, але фізичні умови на поверхні Меркурія, Венери і Марса дуже відрізняються від земних, тому там не виявлені ознаки життя. На Меркурії відсутня стала атмосфера, тому коливання температури протягом доби там майже такі, як на Місяці. На Венері густа атмосфера з вуглекислого га-

зу створює пекельні умови для існування живих істот — там і вдень і вночі температура $+480^{\circ}\text{C}$. Марс буде першою планетою, яку в недалекому майбутньому відвідають люди, але жити там можна тільки в скафандрах. Є припущення, що колись на Марсі була густіша атмосфера, випадали дощі, текли ріки і, можливо, існувало життя. Не виключено, що і тепер живі організми існують під поверхнею планети, де виявлена велика кількість криги.



Тести

1. Із поверхні якої планети земної групи ніколи не можна побачити Сонце?
А. З Меркурія. Б. З Венери. В. Із Землі. Г. З Марса.
2. На яких планетах земної групи у хмарах виявлена сірчана кислота?
А. На Меркурії. Б. На Венері. В. На Землі. Г. На Марсі.
3. На поверхні якої планети земної групи спостерігається найдовший день?
А. На Меркурії. Б. На Венері. В. На Землі. Г. На Марсі.
4. Яка планета земної групи має найгустішу атмосферу?
А. Меркурій. Б. Венера. В. Земля. Г. Марс.
5. На поверхні якої планети земної групи найбільша тривалість сонячної доби?
А. На Меркурії. Б. На Венері. В. На Землі. Г. На Марсі.
6. Чому Меркурій не може утримувати сталу атмосферу?
7. Яка планета обертається навколо осі у протилежному в порівнянні із Землею напрямку?
8. На яких планетах земної групи відбувається зміна пір року?
9. Венера розміщується далі від Сонця, ніж Меркурій, але чому температура на її поверхні вища, ніж на Меркурії?
10. Які є докази того, що на поверхні Марса колись була вода в рідкому стані?
11. На яких планетах земної групи можливе існування життя?
12. Обчисліть свою вагу на поверхні Меркурія, Венери і Марса.
13. Обчисліть найменшу і найбільшу відстані між Землею та Марсом (див. дод. 3, 4).



Диспути на запропоновані теми

14. Чи могли б розумні марсіани, спостерігаючи Землю у свої телескопи, виявити докази існування життя? Існування розумної цивілізації на Землі?



Завдання для спостережень

15. Нарисуйте положення Венери відносно горизонту та відносно зір і спостерігайте, як змінюється це положення протягом кількох тижнів. Зробіть висновки, як змінюється яскравість планети за цей час.
16. Під час протистоянь Марса визначте моменти, коли планета зупиняється і починає рухатися відносно зір у зворотному напрямку — зі сходу на захід.



Ключові поняття і терміни:

Вечірня або Вранішня зоря, Марсіанські канали, пилові бурі, планети земної групи, полярні шапки.

§ 9. Планети-гіганти

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося, чому планети-гіганти не мають твердої поверхні;
- довідаємося, чи стане Юпітер зорею;
- дізнаємося про дивну зміну пір року на Урані.

1 Загальна характеристика планет-гігантів

Планети-гіганти на відміну від планет земної групи не мають твердої поверхні, бо за хімічним складом (99% Гідрогену і Гелію) і густиною ($\approx 1 \text{ г/см}^3$) вони нагадують зорі, а їхня велика маса спричиняє нагрівання ядер до температури понад $+10\,000^\circ\text{C}$ (рис. 9.1). Крім того, планети-гіганти досить швидко обертаються навколо осі та мають велику кількість супутників (див. § 10).

Найбільшою загадкою усіх планет-гігантів (крім Урана) є джерело внутрішньої енергії, яку випромінюють ці планети в інфрачервоній частині спектра. Джерелом енергії не можуть бути термоядерні реакції, бо маса планет-гігантів недостатня для перетворення їх у зорі. Не виключена можливість, що гіганти випромінюють ту енергію, яка була накопичена під час утворення Сонячної системи кілька мільярдів років тому. Можливо, що в минулому Юпітер мав досить високу температуру на поверхні й світився на небі молодій Землі у 100 разів яскравіше за Місяць.

Юпітер 2

Радіус	$11,2 R_{\oplus}$
Маса	$318 M_{\oplus}$
Густина	$1,3 \text{ г/см}^3$
Прискорення вільного падіння	$g = 2,5g_{\oplus}$
Орбіта	$a = 5,2 \text{ а. о.}$
Рік	11,2 з. року
Доба	9 год 50 хв
Атмосфера	H_2, He
Температура, $^\circ\text{C}$:	
хмари	-107
у ядрі	+40000

Рис. 9.1. Відносні розміри планет-гігантів



2 Юпітер

Юпітер, який був названий на честь наймогутнішого бога римської міфології, виявився найбільшою планетою Сонячної системи. Основними компонентами атмосфери Юпітера є водень — 86,1% та гелій — 13,8%, а у хмарах помічена присутність метану, аміаку та водяної пари. Верхній шар світлих хмар, де атмосферний тиск сягає 1 атм, має температуру -107°C і складається з кристаликів аміаку. Шар хмар з домішками сірки, що розташований нижче, має червоний колір (рис. 9.2—9.4). Найнижче знаходяться хмари з водяної пари, які утворюються на глибині 80 км від верхніх світлих хмар. Температура і атмосферний тиск із глибиною поступово зростають.

Недавно з'явилися гіпотези щодо можливості існування життя у хмарах Юпітера, адже його атмосфера має всі компоненти, які були необхідні для появи життя на Землі. Деякі шари хмар є теплі та відносно комфортні для існування навіть земних мікроорганізмів.

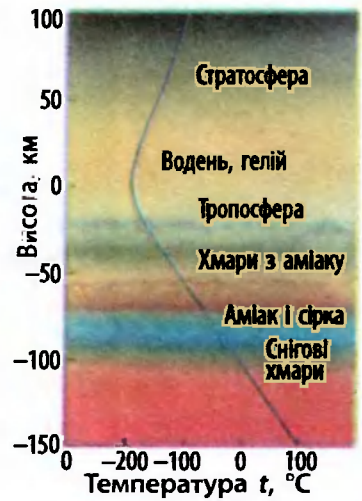


Рис. 9.2. Будова атмосфери Юпітера за результатами досліджень АМС «Галілей» (США). Рівень, де тиск сягає 1 атм, вважають свого роду «поверхнею» планети

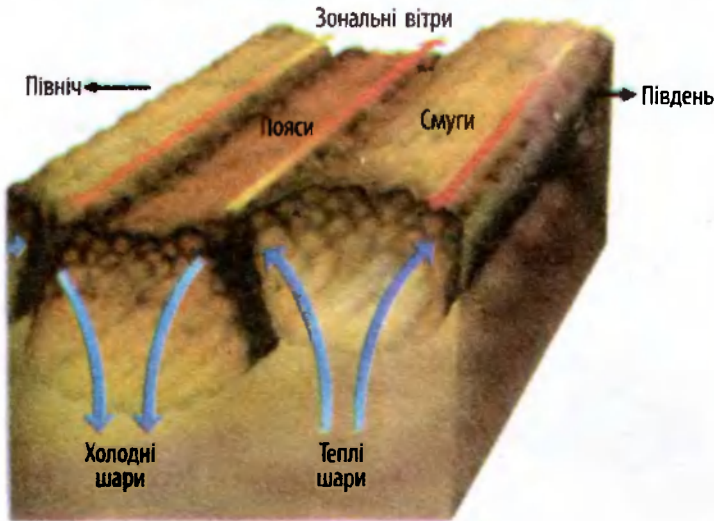


Рис. 9.3. Смуги хмар в атмосфері. З надр Юпітера надходить потік енергії, який викликає конвекцію — теплі шари повітря піднімаються вгору, а холодні — опускаються донизу. Сильні горизонтальні вітри виникають через добовий перепад температури між нічною та денною півкулями планети

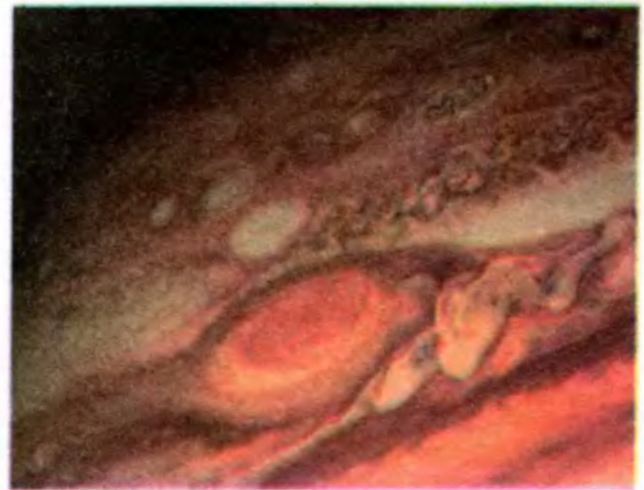


Рис. 9.4. Велика Червона Пляма, яка розташована в південній півкулі Юпітера і за розмірами майже вдвічі більша, ніж Земля, є велетенським вихорем в атмосфері, у якому вітер дме з ураганною швидкістю до 100 м/с (фото АМС «Вояджер», США). Чому цей вихор, який помітили ще 300 років тому, існує до нашого часу, залишається загадкою.



Для допитливих

На глибині 20000 км водень переходить у металічний стан, і його фізичні властивості нагадують розплавлений метал, який добре проводить електричний

струм. Такий агрегатний стан водню (густина 4 г/см^3 при тискові 10^6 атм) на Землі не існує. Завдяки електричному струмові, що генерується у цій металевій оболонці, виникає потужне магнітне поле, тому навколо Юпітера утворюються радіаційні пояси, які в 10^4 рази інтенсивніші від земних. Юпітер є потужним джерелом радіовипромінювання. У центрі Юпітера існує тверде ядро, подібне за хімічним складом до планет земної групи, яке може складатися зі скельних порід.

3 Сатурн

Сатурн — найвіддаленішу планету, яку знали астрономи в стародавні часи, — назвали на честь батька головного бога Юпітера. Після винайдення телескопа виявили, що Сатурн є найкрасивішою планетою Сонячної системи, бо його казкове кільце зачаровує як дітей, так і дорослих (про природу кільця див. у §10). Сатурн не має того розмаїття кольорів, який ми спостерігаємо в атмосфері Юпітера, але структура атмосфери цих планет дуже схожа. Жовтуватого кольору верхнім шарам атмосфери Сатурна надають снігові хмари з аміаку (рис. 9.5). На глибині 300 км від верхніх шарів хмар розташовуються хмари води, у яких при підвищенні температури сніг перетворюється в дощ.

Середня густина Сатурна менша, ніж води, що свідчить про невелику кількість важких хімічних елементів у ядрі планети.

Сатурн, як і Юпітер, має магнітне поле, радіаційні пояси та є джерелом радіовипромінювання.

Сатурн, як і Юпітер, має магнітне поле, радіаційні пояси та є джерелом радіовипромінювання.

Сатурн ♄	
Радіус	$9,4 R_{\oplus}$
Маса	$95 M_{\oplus}$
Густина	$0,7 \text{ г/см}^3$
Прискорення вільного падіння	$g = 1,1 g_{\oplus}$
Орбіта	$a = 9,5 \text{ а. о.}$
Рік	29,5 з. року
Доба	10 год 14 хв
Атмосфера	H_2, He
Температура, °C:	
хмари	-178
у ядрі	+15 000



Рис. 9.5. Верхні шари хмар отримують енергію як від Сонця, так і з глибини Сатурна. У результаті взаємодії цих потоків енергії виникають сильні вітри, що спрямовані переважно із заходу на схід і швидкість яких досягає 400 м/с . Через вітри утворюються темні смуги хмар, які розташовані паралельно до екватора



Для допитливих

Сатурн теж випромінює у космос більше енергії, ніж отримує від Сонця. Астрономи недавно виявили дефіцит Гелію в атмосфері Сатурна в порівнянні з атмосферою Юпітера і запропонували цікаву гіпотезу про можливе джерело його енергії. На Сатурні Гелій не повністю розчиняється у водні, як це спостерігається на Юпітері, де вищі тиск і температура. У водневій атмосфері Сатурна Гелій утворює краплі, які конденсуються в атмосфері як своєрідний туман і потім випадають у вигляді дощу. Такі гелієві опади у верхніх шарах атмосфери можуть бути джерелом внутрішньої енергії, бо більш густий Гелій (у порівнянні з воднем) опускається ближче до центра. Таким чином, потенціальна енергія крапель Гелію перетворюється в кінетичну енергію, що призводить до підвищення температури в надрах. Із часом гелієві дощі припиняться, тому температура на Сатурні знизиться.

4 Уран

Названий на честь бога неба Уран є по-справжньому блакитною планетою, тому що одну сьому його атмосфери складає метан. Існує одна особливість, яка виділяє Уран з усіх планет Сонячної системи: його екватор нахилений до площини орбіти під кутом 98° . Такий великий кут нахилу призводить до унікальної у Сонячній системі зміни пір року — полярні кола розташовуються майже на екваторі, а тропіки — біля полюсів. Це означає, що Сонце освітлює один із полюсів планети майже 42 земні роки, у той час як на іншому полюсі стільки ж триває полярна ніч (рис. 9.6). Правда, спеки там не буває, бо Уран отримує від Сонця набагато менше енергії, ніж Земля, і температура верхніх шарів атмосфери не піднімається вище за -215°C .

Астрономи довгий час спостерігали за Ураном, але не виявили суттєвих змін кольорів або утворень в атмосфері. Тільки у 2007 р., коли Сонце освітлювало одночасно обидві півкулі Урана (рис. 9.6), у телескопи були помічені смуги хмар.

Уран \uparrow	
Радіус	$4 R_{\oplus}$
Маса	$14,6 M_{\oplus}$
Густина	$1,2 \text{ г/см}^3$
Прискорення вільного падіння	$g=0,9g_{\oplus}$
Орбіта	$a=19,2 \text{ а. о.}$
Рік	84 земні роки
Доба	17 год 14 хв
Атмосфера	$\text{H}_2, \text{He}, \text{CH}_4$
Температура, $^\circ\text{C}$:	
хмари	-215
у ядрі	+10000



Рис. 9.6. Вісь обертання Урана лежить майже у площині орбіти, тому там тропіки збігаються з полярним колом. Тривалість сезонів на Урані 21 земний рік. Осьове обертання Урана, як і Венери, відбувається у напрямку, протилежному напрямку обертання інших планет Сонячної системи

5 Нептун

Чи існує океан на планеті Нептун, яку назвали на честь бога підводного світу? Нептун розташовується на околиці Сонячної системи і має період обертання 164,8 земного року. Планета має внутрішнє джерело енергії, бо випромінює у космос тепла майже втричі більше, ніж одержує його від Сонця. Від часу свого відкриття у 1846 р. Нептун зробив повний оберт навколо Сонця тільки у 2011 р.

Нептун Ψ

Радіус	$3,9 R_{\oplus}$
Маса	$17,2 M_{\oplus}$
Густина	$1,6 \text{ г/см}^3$
Прискорення вільного падіння	$g = 1,2g_{\oplus}$
Орбіта	$a = 30 \text{ а. о.}$
Рік	164,8 земного року
Доба	16 год 06 хв
Атмосфера	$\text{H}_2, \text{He}, \text{CH}_4$
Температура, °C:	
хмари	-213
ядра	+10 000

Під хмарами температура атмосфери поступово підвищується до $+700^{\circ}\text{C}$, тому вода там не може перебувати в рідкому стані. Більш реальною є гіпотеза про водяні хмари з розчином аміаку, густина яких може перевершувати густину рідкої води в кілька разів (рис. 9.7). Швидкість вітрів у хмарах сягає фантастичної величини — 500 м/с. Чому виникають сильні вітри на такій холодній планеті — це ще одна нерозгадана таємниця Нептуна.

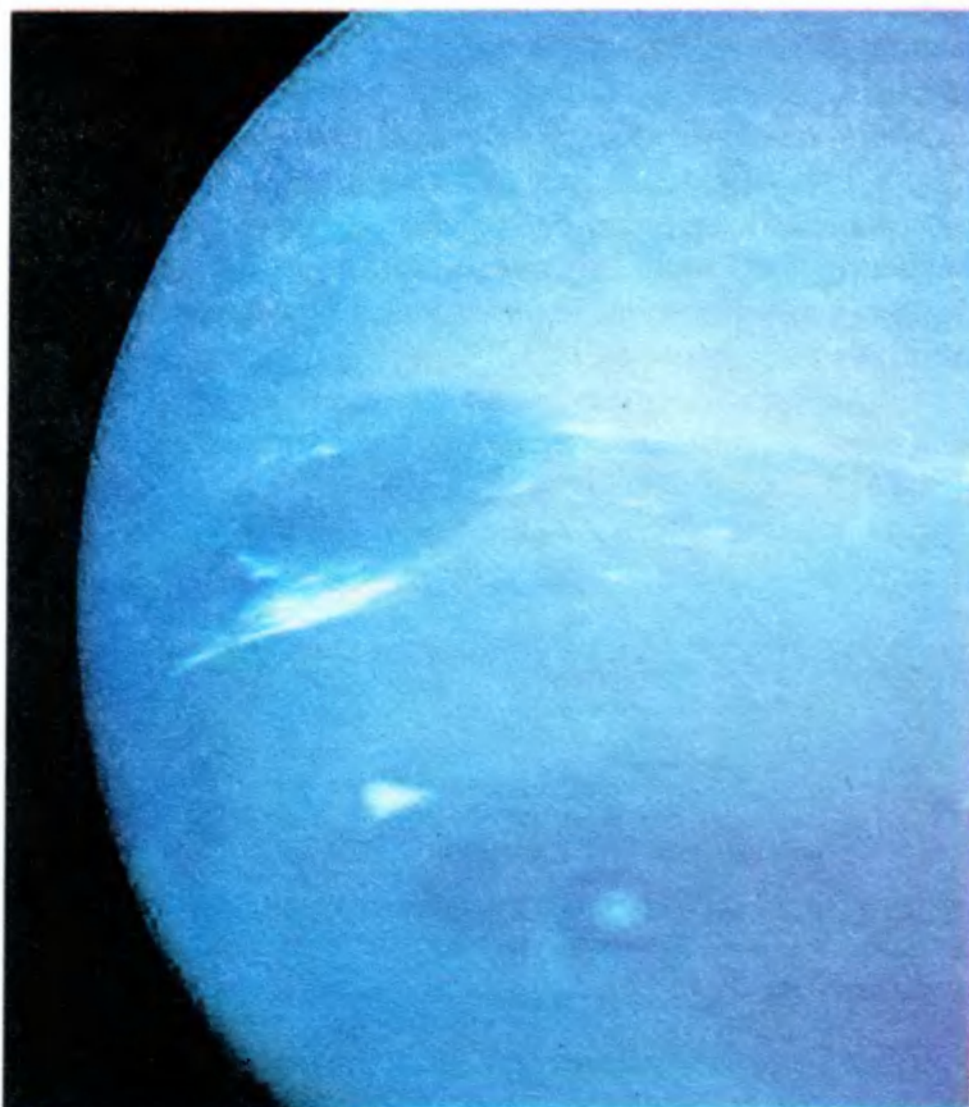


Рис. 9.7. На Нептуні виявлений велетенський вихор із діаметром понад 1000 км, який має назву Велика Чорна Пляма

**Висновки**

Планети-гіганти за хімічним складом нагадують зорі, вони не мають твердої поверхні, тому на них ніколи не зроблять посадку пілотовані космічні кораблі. Під холодними хмарами гіганти мають гарячі надра, температура яких сягає десятків тисяч градусів. Однією з таємниць залишається джерело внутрішньої енергії планет-гігантів, бо всі вони, за винятком Урана, випромінюють у космос більше енергії, ніж отримують від Сонця.

**Тести**

- Які планети випромінюють у космос більше енергії, ніж отримують від Сонця?
А. Усі планети-гіганти. **Б.** Юпітер, Сатурн, Нептун. **В.** Юпітер, Сатурн, Уран. **Г.** Уран.
- Які планети обертаються навколо осі у зворотному напрямку?
А. Венера, Юпітер. **Б.** Усі планети-гіганти. **В.** Юпітер, Сатурн. **Г.** Уран, Венера.
- На якій із цих планет спостерігається найбільша тривалість дня?
А. На Венері. **Б.** На Марсі. **В.** На Юпітері. **Г.** На Урані. **Д.** На Землі.
- Скільки часу триває день на полюсах Урана?
А. 21 земний рік. **Б.** 17 год 14 хв. **В.** 1 місяць. **Г.** 1 земний рік. **Д.** 42 земні роки.
- Які особливості у планет-гігантів?
- Чому Юпітер можна вважати дуже схожим на зорю?
- Що викликає гелієві дощі на Сатурні?
- Чим обумовлена зміна пір року на Урані?
- Обчисліть найменшу та найбільшу відстані між Землею та Юпітером.
- За допомогою *рухомої карти зоряного неба* визначте, коли ці планети сходять і заходять у день вашого народження поточного року.

**Диспути на запропоновані теми**

- Чому виникли гіпотези про можливе життя у хмарах Юпітера?

**Завдання для спостережень**

- За допомогою астрономічного календаря відшукайте на небі Юпітер та Сатурн і визначте, у якому сузір'ї спостерігаються ці планети.
- Які планети-гіганти видно сьогодні у вечірній час?

**Ключові поняття і терміни:**

Велика Червона Пляма, Велика Чорна Пляма, планети-гіганти, шари хмар, смуги хмар.

§ 10. Супутники планет

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося, які фізичні умови існують на поверхні супутників планет;
- побачимо, чи можливе там життя;
- довідаємося, чому навколо планет існують кільця.

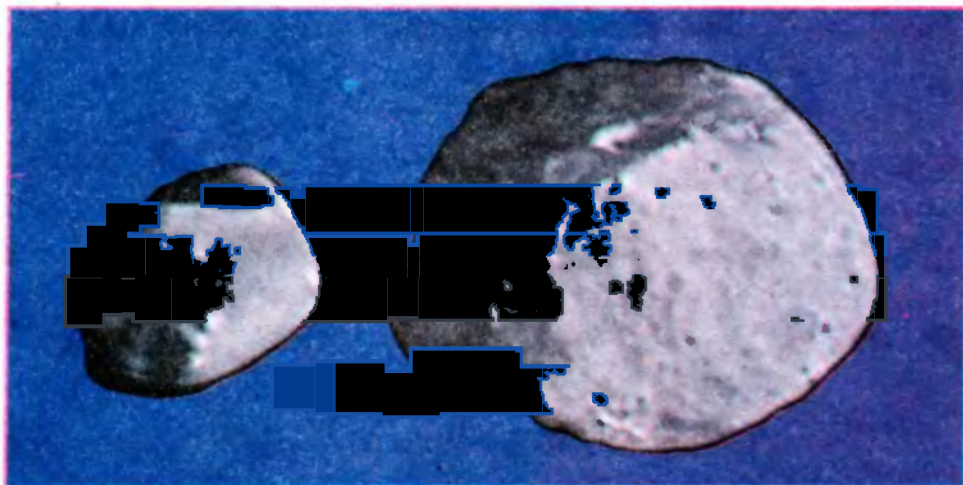
1 Супутники Марса

Фобос (від грец.— *страх*) і *Деймос* (від грец.— *жах*) названі на честь вічних супутників бога війни Марса. Ці космічні тіла за формою нагадують величезні картоплини: найбільший діаметр Фобоса — 28 км, а Деймоса — 16 км. Їхня поверхня темного кольору має безліч кратерів (рис. 10.1). Космонавти на поверхні цих супутників змушені будуть прив'язуватися до корабля, бо маленька сила тяжіння завдасть клопоту при пересуванні — поштовх ноги може надати тілу достатньої швидкості для міжпланетних польотів.

Супутники Марса

Назва	Радіус, км	Маса, 10^{16} кг
Фобос	14	1,1
Деймос	8	0,2

Рис. 10.1. Деймос і Фобос мають тверду поверхню, яка вкрита шаром чорного пилу і «засіяна» кратерами. На Фобосі видно дивні борозни, що схожі на ріллю



Для допитливих

Існування супутників Марса передбачав ще Кеплер, який вірив у магічну силу цифр: Земля має 1 супутник, у Юпітера були відомі на той час 4 супутники, тому навколо розташованого посередині Марса мають обертатися 2 супутники. Потім цю ідею розвинув Свіфт, який у «Мандрах Гуллівера» описує супутники Марса. Але тільки у 1877 р. А. Голл (США) відкрив Фобос і Деймос. Періоди їхніх обертань (7,7 год і 30,3 год) і відстань до планети виявилися майже такими, як описав Свіфт 150 років тому. Насправді, ніякої магії у цьому дивному передбаченні немає, бо Свіфт напевне знав, що за допомогою третього закону Кеплера можна визначити період обертання та відстань супутника від Марса.

2 Супутники Юпітера

Юпітер має принаймні 63 супутники, які були зареєстровані до 2011 р., і тьмяні кільця. Чотири найбільші супутники: Іо, Європа, Ганімед, Каллісто (рис. 10.2) — відкрив Галілей за допомогою свого першого телескопа, тому їх називають Галілеевими супутниками. *Іо* має найбільшу геологічну активність з усіх тіл Сонячної системи — там зареєстровано 8 постійно діючих вулканів, із жерл яких викидаються розжарені гази і магма (рис. 10.3). *Іо* привертає увагу фантастичною гамою кольорів — жовтих, червоних і брунатних, що надають йому сполуки сірки, які містяться в продуктах виверження вулканів. Поверхня *Іо* зовсім рівна, бо рідка магма при температурі $+400^{\circ}\text{C}$ заповнює будь-які западини.



Галілееві супутники Юпітера

Назва	Радіус, км	Маса 10^{22} кг
Іо	1815	8,9
Європа	1570	4,8
Ганімед	2630	14,9
Каллісто	2400	10,8

Рис. 10.2. Галілееві супутники Юпітера: Європа, Ганімед, Каллісто — покриті снігом і льодом. Під льодовою корою може існувати океан рідкої води, у якій не виключена вірогідність життя

Три інші Галілееві супутники — *Європа*, *Ганімед* і *Каллісто* — дуже схожі між собою: на їхній поверхні видно багато снігу та льоду (рис. 10.4). Під льодовою корою на цих супутниках може існувати океан рідкої води. Численні кратери свідчать про інтенсивне метеоритне бомбардування в минулому. Під час вибухів із кратерів витікала вода, яка заповнювала долини, тому на поверхні не видно ділянок із великими перепадами висоти. Правда, у деяких місцях помічені загадкові утворення, які нагадують жолобки та гребені гірських хребтів, що свідчить про можливу тектонічну діяльність у минулому. Ганімед є найбільшим супутником у Сонячній системі, який за розмірами навіть перевершує Меркурій.



Рис. 10.3. На *Іо* багато сірки і діючих вулканів

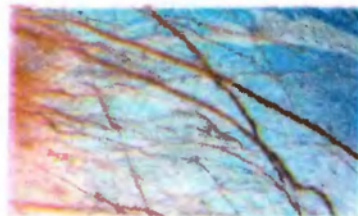


Рис. 10.4. Тріщини в льодовому панцирі Європи



Для допитливих

На поверхні Каллісто привертають увагу серія концентричних гребенів і гряди горбів, що оточують дві великі ділянки, які були названі басейнами. Гряди горбів дуже схожі на брижі — хвилі, які утворює кинутий у воду камінь. Напевно, енергія, що виділилася під час падіння гігантського метеорита, розтопила лід, але при сильному морозі (-150°C) вода миттєво замерзла.

3

«Сім'я» Сатурна

Великі супутники Сатурна

Назва	Радіус, км
Титан	2575
Рея	765
Япет	720
Діона	560
Тефія	525
Енцелад	251
Мімас	197
Янус	100

Титан

Маса	$1,25 \cdot 10^{23}$ кг
Прискорення вільного падіння	$g = 0,14g_{\oplus}$
Атмосфера	N_2, CH_4
Тиск	1,6 атм.
Температура поверхні, °C	-180°

«Сім'я» Сатурна складається із системи кілець і 62 супутників, які були відкриті до 2011 р., але більшість із них мають невеликі розміри (рис. 10.5, 10.6). Найбільший супутник *Титан* оточений густою азотною атмосферою, і його поверхня захована під хмарами з метану. Попри малу силу тяжіння ($1/7$ земної) атмосферний тиск на поверхні Титана складає 1,6 атм., бо маса стовпа повітря над одиницею поверхні у 10 разів більша, ніж на Землі.

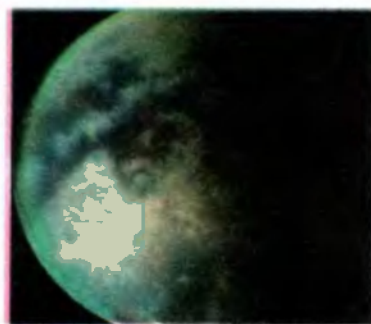


Рис. 10.5. Найбільший супутник Титан має густу азотну атмосферу з домішками метану. Можливо, там падають *метанові дощі*, а на поверхні існують моря з рідкого метану



Рис. 10.6. Супутники Сатурна Енцелад (ліворуч) і Діона. Безліч кратерів на льодовій поверхні свідчать, що там давно не відбувалася будь-яка тектонічна діяльність



Для допитливих

На поверхні Титана навіть удень морок, бо крізь 100-кілометровий шар туману пробивається дуже мало світла, тому там пекучий мороз (-180°C). Саме така низька температура і спричиняє існування досить густої атмосфери, у той час як на Меркурії та на супутнику Юпітера Ганімеді атмосфера практично відсутня, хоча вони мають більшу масу. Фантасти стверджують, що на Титані може навіть існувати життя, бо в атмосфері виявлено багато компонентів органічних сполук.

4

Кільця Сатурна

Кільця Сатурна (рис. 10.7) уперше побачив Галілей у 1610 р., але за допомогою невеликого телескопа він не зміг розпізнати справжню суть спостереження. Він виявив, що з боків Сатурна має дві кулі, які зливаються, якщо дивитися на них із великої відстані. Тільки у 1659 р. датський астроном Х. Гюйгенс довів, що кулі є тонким плоским кільцем навколо Сатурна. Під час спостережень із поверхні Землі у великі телескопи видно три концентричних кільця, але за допомогою АМС було виявлено, що ці

кільця складаються ще з тисяч окремих вузьких кілець (рис. 10.8).

Дослідження показують, що діаметр частинок у кільцях коливається в межах від міліметра до десятків метрів і складаються ці маленькі супутники зі снігу та льоду. Товщина кілець дуже мала в порівнянні з їхньою шириною — усього кілька десятків метрів.

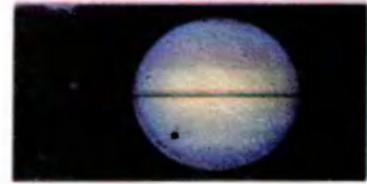


Рис. 10.7. Залежно від того, як зорієнтований Сатурн щодо Землі, його кільця видно максимально розкритими або, коли Земля лежить у площині кілець, вони стають невидимими, тому що ми їх бачимо з ребра

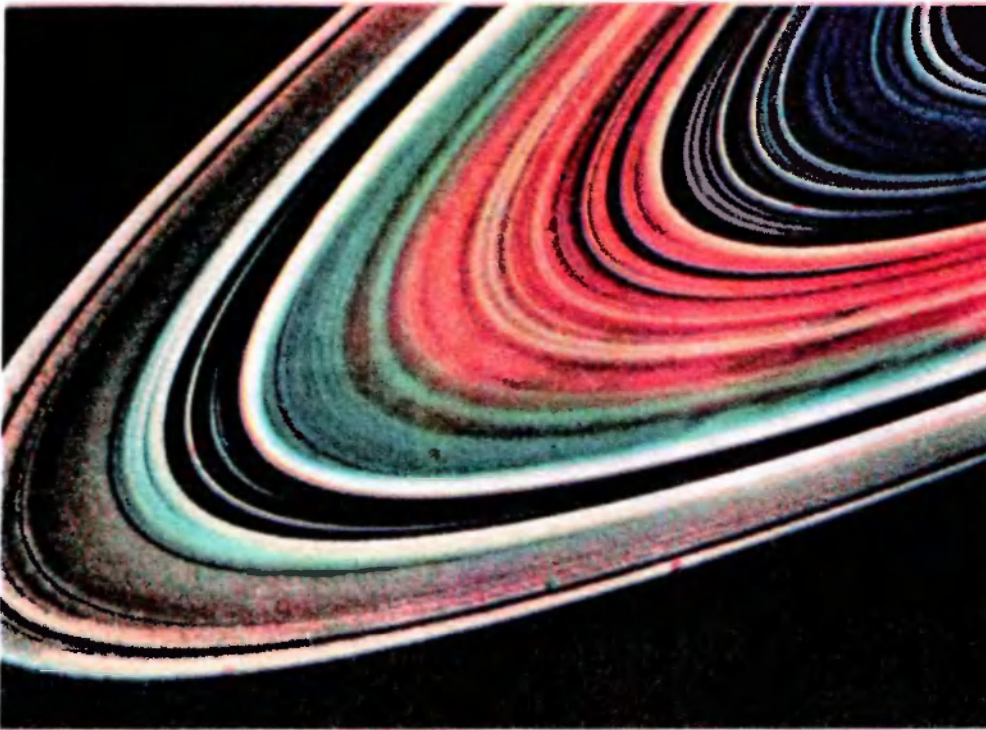


Рис. 10.8. На знімках АМС «Вояджер» видно тисячі концентричних кілець Сатурна, які дивно переплетені між собою



Для допитливих

У 1848 р. французький астроном Рош довів, що існує межа у відстані до планети, і супутники планет не можуть до неї наблизитися, бо гравітаційні сили розірвуть їх на частини. Якщо середня густина супутника така сама, як планети, то ця межа Роша дорівнює 2,4 радіуса планети. Є гіпотеза: колись існував супутник Сатурна, який увійшов за межу Роша і був розірваний припливними силами. Згідно з іншою гіпотезою, кільця — це залишки того будівельного матеріалу, з якого утворилася Сонячна система 5 млрд років тому. Цю гіпотезу підтверджують невеликі тьмяні кільця навколо інших планет-гігантів.

5 Супутники Урана

Уран має темні кільця і 27 супутників, які були зареєстровані до 2011 р. За допомогою телескопів відкриті тільки 5 великих супутників: *Аріель*, *Умбріель*, *Титанія*, *Оберон* і *Міранда*, а всі інші вперше сфотографовані у 1986 р. АМС «Вояджер-2». Супутники повернені до Урана однією півкулею, а їхні орбіти лежать у площині екватора, внаслідок чого на всіх супутниках відбувається така ж дивна зміна пір року, як і на Урані (див. §9).

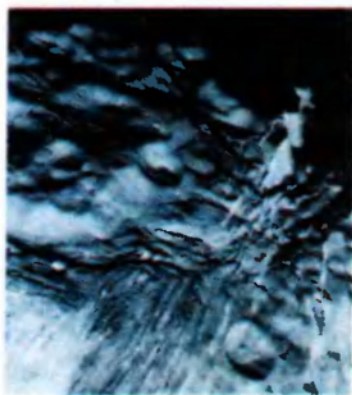


Рис. 10.9. На поверхні Міранди видно дивні яри і долини, що нагадують трекові доріжки на стадіонах

Великі супутники складені з льоду та скелястих порід. Міранда (рис. 10.9) є найцікавішим супутником, на якому видно терени з долинами, проваллями та пасмами гір. Це все свідчить про періоди катастроф у її геологічній історії, коли кілька разів невідомі космічні фактори змінювали поверхню супутника. Титанія і Оберон (рис. 10.10) мають безліч кратерів. Сірий колір поверхні свідчить про те, що сніг на ній брудний.

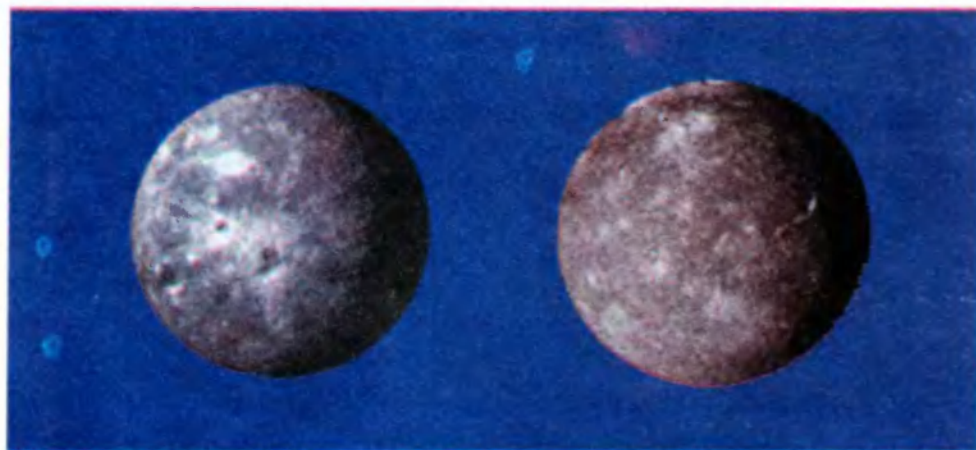


Рис. 10.10. Оберон (ліворуч), Титанія (праворуч)

6 Супутники Нептуна

У наш час (2011 р.) відомо 13 супутників Нептуна та виявлено тонкі тьмяні кільця. За допомогою телескопів було відкрито 2 супутники — *Тритон* і *Нереїду*, а інші сфотографувала АМС «Вояджер-2» у 1989 р. Найбільший супутник Нептуна

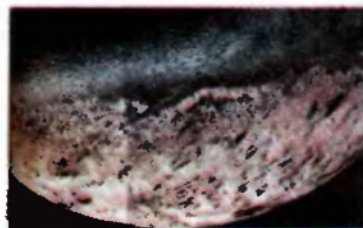


Рис. 10.11. Південний полюс Тритона. Поверхня вкрита льодом і снігом, а в полярній шапці, можливо, є замерзлий азот

Тритон (радіус — 1380 км) має кілька загадкових утворень. Світла поверхня Тритона поглинає мало сонячної енергії, тому температура там не піднімається вище ніж -236°C . Це найнижча денна температура, яку зареєстрували на супутниках планет Сонячної системи. Поверхня Тритона тверда (рис. 10.11).

Тритон — єдиний великий супутник серед тіл Сонячної системи, який рухається навколо планети у зворотному напрямку в порівнянні з обертанням Нептуна навколо осі. Це свідчить, що Тритон, можливо, був колись захоплений гравітаційним полем Нептуна, і він по спіралі наближується до планети. Коли відстань між Нептуном і Тритоном зменшиться до 65 000 км (межа Роша), припливні сили зруйнують супутник, і навколо Нептуна утвориться величезне кільце, подібне до кільця Сатурна.

Тритон

Радіус	1380 км
Маса	$2,15 \cdot 10^{22}$ кг
Температура	-236°C



Висновки

Супутники планет Сонячної системи мають різноманітні фізичні характеристики. Поверхня більшості супутників покрита снігом і льодом, а на супутниках Юпітера Європі, Ганімеді й Каллісто, можливо, існують океани рідкої води. Найбільший супутник Сатурна Титан оточений густою атмосферою, і на його поверхні можуть бути океани метану. У метанових морях при низьких температурах органічні сполуки могли б утворити форми життя, які не схожі на земні,— там замість води розчинником міг би служити рідкий метан. Супутники планет у майбутньому можуть стати космічними базами для освоєння Сонячної системи.



Тести

- Чому інколи кільця Сатурна зникають?
А. Випаровуються. Б. Ховаються за Сатурн. В. Закриваються іншими планетами. Г. Площина кільця збігається з променем зору спостерігача. Д. Закриваються хмарами.
- Який із великих супутників рухається навколо планети у зворотному напрямку?
А. Європа. Б. Іо. В. Каллісто. Г. Ганімед. Д. Тритон.
- На поверхні яких супутників може існувати життя?
А. На Фобосі. Б. На Іо. В. На Ганімеді. Г. На Європі. Д. На Титані.
- Який із супутників має густу азотну атмосферу з домішками метану?
А. Фобос. Б. Європа. В. Титан. Г. Оберон. Д. Тритон.
- На яких супутниках виявлені постійно діючі вулкани?
А. На Місяці. Б. На Деймосі. В. На Іо. Г. На Тритоні. Д. На Хароні.
- Чим пояснюється дивовижне забарвлення Іо?
- Про що свідчать численні кратери на супутниках Юпітера?
- Які супутники планет мають атмосферу?
- Що спричиняє існування досить густої атмосфери на Титані?
- Визначте свою вагу на поверхні одного із супутників планет, радіуси яких наведені у цьому параграфі, якщо його густина дорівнює 2 г/см^3 .
- На поверхні якого супутника ваша вага буде найбільшою?



Диспути на запропоновані теми

- Поверхню яких супутників можна використати для побудови космічних поселень?



Завдання для спостережень

- За допомогою бінокля або шкільного телескопа можна спостерігати Галілеєві супутники Юпітера. Визначте моменти затемнення одного з цих супутників — коли він зникає за диском Юпітера.



Ключові поняття і терміни:

Галілеєві супутники, кільця навколо планет, межа Роша.

§ 11. Малі тіла Сонячної системи

Вивчивши цей параграф, ми:

- довідаємося про загадковий пояс астероїдів;
- дізнаємося про небезпечні астероїди, які можуть зіткнутися із Землею;
- познайомимось з метеорами та метеоритами;
- побачимо незвичайні світила з дивними «хвостами» — комети;
- з'ясуємо, коли в Сонячній системі з'явилися планети-карлики.

1

Астероїди

Перший астероїд (від грец.— *зореподібний*) відкрив італійський астроном Д. Піацці (1746—1826). У ніч на 1 січня 1801 р. він побачив слабку зорю, яка наступного вечора трохи перемістилася. Новій планеті дали назву *Церера* (за римською міфологією — богиня землеробства). За Церерою почали уважно спостерігати — вона виявилася невеликою, навіть меншою, ніж Місяць, але оберталася навколо Сонця між орбітами Марса і Юпітера. Яке ж було здивування астрономів, коли через кілька років недалеко від Церери виявили ще одну малу планету — її назвали *Палладою* (одним з імен богині мудрості *Афіни*). Потім були відкриті ще дві — *Юнона* й *Веста*. Потім довели, що перший відкритий астероїд є і найбільший за розмірами — діаметр Церери дорівнює 960 км. Цереру відносять до класу *планет-карликів* (див. 11.7). На січень 2011 р. зареєстровано понад 500 000 астероїдів (рис. 11.1, 11.2), і найменші з них мають

Найбільші астероїди

Номер і назва	Діаметр, км
1 Церера	960
2 Паллада	608
3 Веста	555
10 Гігія	450
31 Ефросинія	370
52 Європа	289
65 Кибела	309
451 Пацієнція	276
511 Давида	323
704 Інтерамнія	350

Рис. 11.1. Астероїд 433 Ерос має вигляд велетенського сідла завдовжки 33 км. АМС, зробивши посадку на поверхню астероїда в улоговині поблизу центра, виявила, що його сіра поверхня вкрита шаром реголіту і схожа на поверхню Місяця



діаметр усього кілька десятків метрів. У телескопи диски цих тіл розрізнити неможливо — вони мають вигляд світлих точок. Сумарна маса всіх астероїдів не перевищує 0,1 маси Місяця.

Астероїдам надають порядковий номер і назву, яку пропонує автор відкриття. Спочатку за традицією астероїдам надавали назву на честь міфологічних богинь, але з часом число відкритих малих планет перевершило все «божественне» населення Олімпу, тому зараз нові космічні тіла називають на честь країн, міст, видатних учених, поетів і діячів мистецтва. Велику кількість малих планет відкрив у Кримській астрофізичній обсерваторії астроном М. С. Черних (1931—2006).

Деякі астероїди, назви яких пов'язані з Україною

Номер	Назва
1709	Україна
1855	Корольов
2164	Ляля
2171	Київ
2325	Черних
2427	Кобзар
2428	Каменярь
2606	Одеса
2616	Леся
2728	Яцків
2883	Барабашов
3084	Кондратюк

2 Таємниці астероїдів

Чому між Марсом та Юпітером розташована не одна велика планета, а безліч малих тіл? Для пояснення цієї загадки німецький астроном Г. Ольберс (1758—1840) висунув гіпотезу, що між Марсом та Юпітером колись існувала планета *Фаєтон*, яка чомусь вибухнула. Причиною катастрофи могла бути зустріч планети з іншим космічним тілом. На користь теорії вибуху планети свідчить те, що більшість астероїдів мають вигляд осколків неправильної форми. Сучасні дослідження розподілу орбіт малих планет показують, що, швидше за все, між Марсом та Юпітером великої планети ніколи не було, а *пояс астероїдів* — це залишки тої речовини, з якої 4,5 млрд років тому утворилися планети Сонячної системи.

За орбітою Нептуна розташоване кільце маленьких планетоподібних тіл (так званий *пояс Койпера*, див. 11.7. Планети-карлики), які через гравітаційні збурення можуть змінювати параметри своєї орбіти. Зіткнення з іншою планетою або супутником спричинить руйнування цих тіл і утворення окремих фрагментів, які будуть обертатися по самостійних орбітах. Якщо врахувати, що ймовірність зустрічі осколків зростає зі збільшенням їхньої кількості, то пояс астероїдів може бути своєрідною машиною для дроблення космічних тіл на менші фрагменти.



Рис. 11.2. Астероїд 243 Іда



Для допитливих

Про те, що малі планети продовжують ділитися, свідчить відкриття так званих сімейств, або груп, астероїдів. У 1918 р. японський астроном К. Гіраяма звернув увагу на деякі групи астероїдів, що мають схожі параметри орбіт. Такі групи астероїдів назвали *сімействами Гіраями* — вони могли утворитися після зіткнення більш великих тіл. Астероїди рухаються навколо Сонця в той же бік, що й планети, і мають, як правило, еліптичні орбіти.

3

Небезпечні астероїди

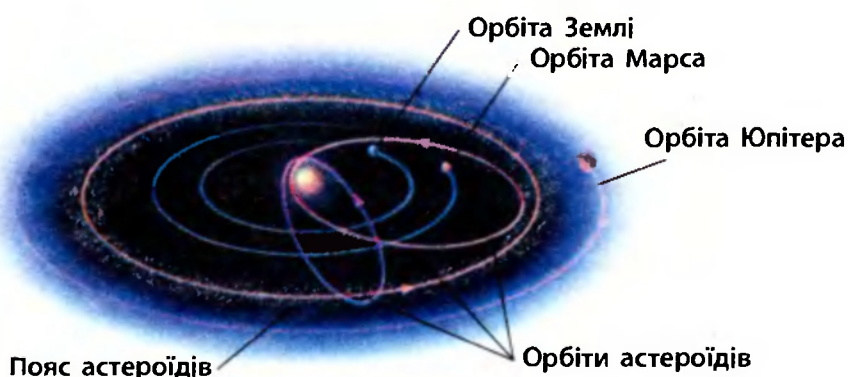
Найбільшу увагу астрономів привертають астероїди групи Аполлона, Амура і Атона, бо в перигелії вони наближаються до Землі або навіть перетинають її орбіту. Наприклад, у 1932 р. астероїд 1862 Аполлон (діаметр 3 км) пролетів мимо Землі на відстані 0,028 а. о. Ще ближче від Землі у 1994 р. пролетів астероїд 1994 ХМ1 — від катастрофи нас відділяло всього 112000 км у просторі та 1 година у часі.

Хоча ймовірність зустрічі з окремим астероїдом досить мала, але, враховуючи їхню значну кількість і глобальні наслідки зіткнення, *ступінь ризику* загинути від космічної катастрофи виявився таким самим, як від звичайної повені або авіакатастрофи. За сучасними даними, існують близько 2000 астероїдів із діаметром більше ніж 1 км і кілька сотень тисяч із діаметром більше 100 м, які перетинають орбіту Землі (рис. 11.3). Під час зустрічі Землі з астероїдом

Супінь ризику — це добуток ймовірності космічної катастрофи на кількість можливих людських жертв

У 2004 р. відкрили 320-метровий небезпечний астероїд Апофіс, який 13 квітня 2029 р. пролетить мимо Землі на відстані близько 37000 км

Рис. 11.3. Орбіти деяких астероїдів, що перетинають орбіту Землі



діаметром 1 км виділиться енергія, яка еквівалентна вибухові мільйонів атомних бомб. Крім того, викид пилу в атмосферу призведе до утворення суцільної хмарності, тому поверхня Землі буде отримувати менше сонячної енергії. Зниження температури може дати початок новому льодовиковому періоду (див. § 7).

Для врятування нашої цивілізації створений міжнародний Фонд «Космічна варта», розроблена програма пошуків небезпечних астероїдів і комет та обчислення їх орбіт. Значний внесок у ці дослідження зробили українські астрономи Києва (В. Кручиненко, К. Чурюмов), Криму (М. Черних) і Харкова (Д. Лупішко).



Для допитливих

У майбутньому технічні можливості людства дозволять уникнути ймовірної катастрофи від зустрічі з астероїдами, якщо можна буде якось змінювати їхні параметри орбіти. Вибух атомної бомби в космосі може змінити орбітальну швидкість тільки у випадку, якщо астероїд буде монолітним твердим тілом. Дослідження астероїда Ероса (див. рис. 11.1) свідчать, що навіть невеликі космічні тіла складені з окремих фрагментів, які під час вибуху можуть розлетітися на окремі осколки, орбіти яких розрахувати наперед неможливо.

4

Метеори та метеорити

Назви *метеор* і *метеорит* у перекладі з грецької означають: «той, що перебуває у повітрі». Астрономи колись вважали, що падаючі зорі — суто атмосферне явище, щось подібне до звичайної блискавки. **Метеорні частинки** — це космічний пил, який ніколи не долітає до поверхні Землі, бо він згорає та випаровується в атмосфері на висоті кількох десятків кілометрів. Тобто *метеором*, або *падаючою зорею*, ми називаємо світлове явище, яке викликає іонізоване повітря на шляху польоту метеорної частинки, бо саму мікроскопічну порошокину помітити неможливо. **Метеорити** мають більшу масу, тому вони можуть досягти поверхні Землі (рис. 11.4). Коли метеоритне тіло з великою швидкістю летить в атмосфері, то через опір повітря воно нагрівається до температури вище $10\,000\text{ }^\circ\text{C}$ і починає світитись, як розжарена куля, яку називають **болідом** (від грец. — *спис*). Під час польоту боліда з надзвуковою швидкістю в атмосфері виникає ударна хвиля, яка створює потужні звукові коливання, тому людина чує сильний гуркіт.

Метеоритне тіло — це фрагмент астероїда, який, обертаючись навколо Сонця, зіткнувся з нашою планетою. Тобто метеорити мають астероїдне походження. Швидкість, з якою метеор чи метеорит влітає в земну атмосферу, залежить від напрямку його руху відносно вектора швидкості Землі. Найбільшу швидкість входження в атмосферу ($50\text{—}70\text{ км/с}$) мають ті метеоритні тіла, які летять назустріч руху Землі, коли швидкості боліда та Землі додаються. Швидкість метеора і метеоритного тіла під час входження в атмосферу Землі не може бути меншою за $11,2\text{ км/с}$, бо навіть коли астероїдне тіло «доганяє» нашу планету, то через земне тяжіння його швидкість починає зростати. Нині за рахунок метеоритної речовини маса Землі збільшується на $500\,000\text{ т}$ за рік.

На Землі астрономи та геологи виявили більше сотні метеоритних кратерів різного діаметра (рис. 11.5), які називають **астроблемами**

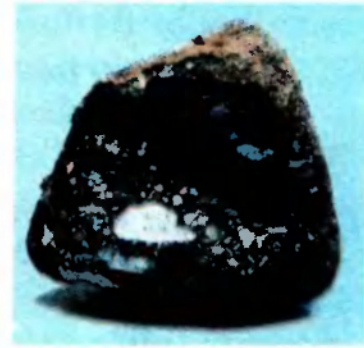


Рис. 11.4. Метеорит, знайдений в Антарктиці

Метеор — світлове явище, яке виникає в іонізованому повітрі на шляху польоту маленьких метеорних частинок

Болід — світлове явище, яке супроводжує політ метеоритного тіла в атмосфері



Рис. 11.5. Аризонський кратер (США) утворився 10 000 років тому. Його діаметр — $1,2\text{ км}$, глибина 200 м . Осколки метеорита знаходять на відстані 30 км від кратера

(від грец. — *зоряні рани*), але більшість кратерів не збереглася, бо протягом віків атмосферні процеси знищували сліди космічних катаклізмів. Велику кільцеву структуру метеоритного походження діаметром 7 км виявили в Україні в Іллінецькому районі Вінницької області. Геологічні дослідження показують, що початкова маса метеорита була меншою ніж 10^{11} кг. (Відомості про найбільші астроблеми на території України див. у дод. 10.)



Для допитливих

На територію України щорічно падають кілька метеоритів масою від 1 кг і більше, тому астрономи звертаються до всіх учнів із проханням допомогти в пошуках цих космічних мандрівників. Зверніть увагу на падіння болідів, які летять із надзвуковою швидкістю, тому виникає різкий вибуховий звук, як при польоті реактивного літака, коли він перетинає звуковий бар'єр. Уночі під час польоту боліда видно яскраве свічення у вигляді розжареної кулі, яка може розпастися на осколки. Для пошуків метеорита визначте напрямок, у якому летів болід, запишіть, о котрій годині спостерігалося це явище, і зразу повідомте про це вчителю астрономії або напишіть до найближчої астрономічної обсерваторії (адреси див. у додатку).



Загадка Тунгуського метеорита

Найбільшим метеоритом ХХ ст. можна вважати Тунгуський, що впав 30 червня 1908 р. в тайзі поблизу ріки Підкам'яна Тунгуска (притока Єнісею) у Сибіру. Його політ в атмосфері спостерігали по трасі завдовжки майже 5000 км. Яскравість боліда була настільки великою, що здавалося, наче від Сонця відділився кусок і полетів по небу. Під час падіння відбувся надзвичайно сильний вибух, який було чути на відстані 2000 км від місця падіння. Сейсмічні станції зареєстрували землетрус, а сейсмічні хвилі двічі обігнули Землю. Розрахунки показали, що при падінні метеорита виділилась енергія 10^{17} Дж — таку енергію виділяє вибух найпотужніших водневих бомб.

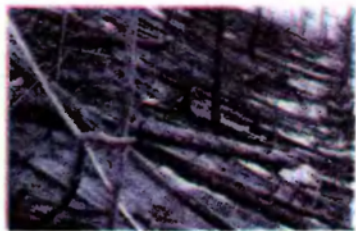


Рис. 11.6. Повалений ліс на місці падіння Тунгуського метеорита

У 1926 р. Академія наук України організувала першу експедицію в район падіння Тунгуського метеорита. Її очолив професор Л. Кулик. Цікава таємниця, яку виявила експедиція, — відсутність кратера та осколків на місці падіння метеорита, тому вчені висунули гіпотезу, що метеорит міг вибухнути в повітрі. Про це свідчать стовбури повалених дерев на місці катастрофи (рис. 11.6). Площа поваленого та спаленого лісу займає близько 5000 км², але в епіцентрі повітряного вибуху, де ударна хвиля поширювалася перпендикулярно до поверхні Землі, стовбури дерев не були повалені.



Для допитливих

Залишається таємницею, куди поділись осколки Тунгуського метеорита при вибуху. Найбільш вірогідним поясненням цих аномальних явищ може бути гіпотеза

про те, що метеорит був льодяним ядром невеликої комети (див. п. 11.6), яке вибухнуло в атмосфері Землі. Газові компоненти ядра випарувалися, а тверді силікатні частинки розплавилась і випали на поверхню у вигляді мікроскопічних частинок.

6 Комети

Комети (від грец. — *волохатий*) своїм незвичним виглядом привертають найбільшу увагу людей, бо вони мають дивний красивий хвіст. Комети є залишками космічної речовини, з якої утворилися планети Сонячної системи. За традицією кометі дають назву на честь тих астрономів, які першими побачили її на небі (рис. 11.7, 11.8). Часто комети відкривали аматори астрономії і навіть школярі. На честь українських астрономів названі комети Герасименка, Неуйміна, Скоритченка, Черних, Чурюмова, Шайна.

Найзнаменитішою кометою можна вважати *комету Галлея*, яку спостерігають вже кілька тисячоліть. Директор Гринвіцької обсерваторії Е. Галлей (1656—1742) вперше визначив орбіту комети, яку було видно у 1682 р. Для цього він вивчив стародавні літописи і звернув увагу на те, що одна з комет з'являлася на небі з постійним періодом 76 р. За допомогою третього закону Кеплера Галлей визначив велику піввісь орбіти та передбачив її появу у 1758 р. Останній раз комету Галлея спостерігали у 1986 р., а наступний її приліт до Землі очікується у 2061 р.

Тривалий час загадкою для астрономів був довгий хвіст комети, який іноді простягається на мільйони або на сотні мільйонів кілометрів, причому напрямком хвоста змінюється таким чином, що він весь час відхиляється у протилежний від Сонця бік. Здається, що хвіст до Сонця не притягується, а навпаки, відштовхується, на-



Рис. 11.7. Комета Галлея

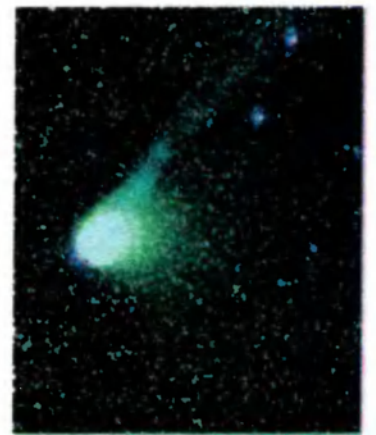


Рис. 11.8. Комета Гейла-Боппа

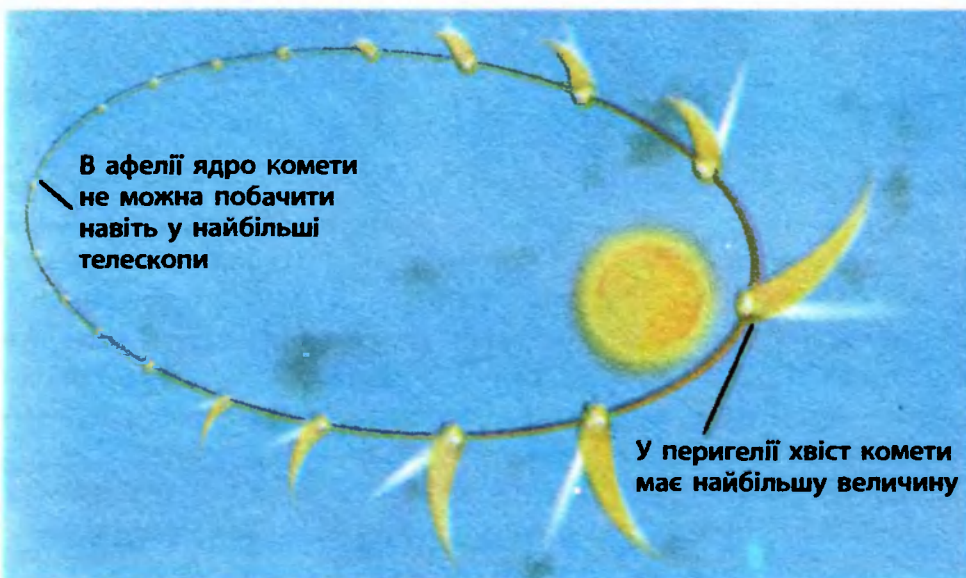


Рис. 11.9. Рух комети навколо Сонця. Під дією сонячного вітру хвіст комети відштовхується в протилежному від Сонця напрямку



Рис. 11.10. Ядро комети Галлея на відстані кількох тисяч кілометрів. Довжина дуже темного ядра — 15 км, ширина — 8 км. З отворів, що розташовані на поверхні, вириваються струмені газу

чебто від Сонця дме своєрідний вітер. Зазвичай, хвіст комети притягується до Сонця, але для частинок із діаметром меншим ніж 10^{-5} м сила відштовхування стає більшою за силу притягання. Хвіст комет саме і складається з мікроскопічних частинок космічного пилу, на які діє відштовхувальна сила сонячного вітру (рис. 11.9).

Ядро комети, з якого утворюється хвіст, складається в основному з льоду. Уперше воно було сфотографоване радянською АМС «Вега» у 1986 р. (рис. 11.10). Діаметр таких крижаних ядер може бути всього кілька десятків кілометрів, тому на великій відстані від Землі їх не видно. Крига у ядрах комет, які часто наближуються до Сонця, з часом повністю випаровується. Від комети залишаються тверді силікатні пилінки, які продовжують рух по орбіті та перетворюються в *метеорні потоки*. Коли Земля перетинає орбіту такого метеорного потоку, спостерігається «зоряний дощ», у цей час на небі можна побачити тисячі метеорів.

Датський астроном Я. Оорт висунув гіпотезу, що за орбітою Нептуна можуть бути мільйони таких кометних ядер (**хмара Оорта**), але з них тільки невелика кількість підходить у перигелії близько до Сонця. Під впливом гравітаційного збурення великих планет комети можуть змінити свою орбіту і навіть зіткнутися з ними. Такою катастрофою міг бути також вибух Тунгуського метеорита (див. п. 11.5). У 1994 р. комета Шумейкера—Леві упала на Юпітер. Під час цього зіткнення виділилась енергія, яка дорівнює вибухові мільйонів ядерних бомб.

Сонячний вітер складається з елементарних частинок та окремих ядер легких хімічних елементів, які летять від Сонця

Для допитливих :

Чи можна використати астероїди і комети для потреб нашої цивілізації? Можливо, що в майбутньому астероїди можна пристосувати як бази для міжпланетних експедицій. Деякі астероїди можуть містити рідкісні хімічні елементи, які можна було б застосовувати при спорудженні космічних поселень як у космосі, так і на поверхні супутників планет. Під час космічного будівництва треба пам'ятати, що прискорення вільного падіння на астероїдах дуже мале, тому один необережний поштовх ногою може надати космонавтові другу космічну швидкість. Температура на поверхні астероїдів залежить від кольору поверхні та відстані до Сонця. У головному поясі астероїдів на відстані 2,8 а. о. від Сонця температура на денному боці рідко піднімається вище ніж 0°C , але астероїди групи Аполлона, Амура і Атона, які рухаються по дуже витягнутих орбітах, у перигелії можуть нагріватися до $+500^{\circ}\text{C}$.

7 Планети-карлики

Уперше цей новий клас тіл Сонячної системи визначили у серпні 2006 р. на з'їзді Міжнародного Астрономічного Союзу (МАС) у Празі. Тоді ж було змінено статус *Плутона*, який до цього був дев'ятою планетою Сонячної системи: відтепер він став першою *планетою-карликом*. Після відкриття Нептуна у 1846 р. (див. § 4) майже ціле століття астрономи шукали дев'яту планету, яка могла викликати невеликі збурення орбіти Урана, бо гравітаційним впливом Нептуна можна пояснити тільки 98 % збурень орбіти цієї планети.

Тільки 18 лютого 1930 р. в Ловеллській обсерваторії (США) Клайд Томбо відкрив невідому планету, яка отримала назву Плутон на честь міфічного бога підземного царства.

У 1978 р. астрономи звернули увагу на те, що на фотографії Плутона видно невеликий виступ на його дискові. Продовжуючи спостереження, учені дійшли висновку, що у Плутона є супутник, який отримав назву *Харон*. Він обертається навколо планети з періодом 6,4 доби. У 2006 р. за допомогою космічного телескопа Габбла були відкриті ще два невеликі супутники Плутона — *Нікс* і *Гідра*. У зв'язку з тим, що Плутон має дуже витягнуту орбіту з великим, у порівнянні з іншими планетами, ексцентриситетом ($e=0,25$), і за масою і розмірами наба-

Плутон \mathcal{L}	
Радіус	$0,18 R_{\oplus}$
Маса	$0,002 M_{\oplus}$
Густина	$2,1 \text{ г/см}^3$
Прискорення вільного падіння	$g=0,06g_{\oplus}$
Орбіта	$a = 39,5 \text{ а. о.}$
Рік	248,6 земного року
Доба	6,4 земної доби
Температура	-213°C

Рис. 11.11. Плутон, Харон, Ерида



гато менший за інші планети Сонячної системи, деякі астрономи вважають, що Плутон був колись супутником Нептуна, адже Юпітер, Сатурн, Нептун і Земля мають набагато більші за нього супутники. Статус Плутона як планети поступово ставав підозрілим ще й тому, що його орбіта нахилена під значним кутом до площини екліптики у порівнянні з будь-якою планетою Сонячної системи і трохи нагадує орбіти комет.

У 1951 р., аналізуючи орбіти комет, астроном Ж. Койпер передбачив існування за Нептуном поясу астероїдів, який тепер офіційно назвали **поясом Койпера**. Астрономічні спостереження за допомогою сучасних телескопів підтвердили цю гіпотезу у 1990 р., коли за Плутоном почали відкривати нові об'єкти поясу Койпера. З наукової точки зору стало очевидним, що Плутон більше схожий на членів цієї групи, ніж на інші 8 планет Сонячної системи.

У липні 2005 р. відкрили новий об'єкт поясу Койпера, який був навіть більший за Плутон, тому деякі астрономи стали називати його десятою планетою. Нову планету неофіційно прозвали *Ксеною* (з грец. — *чужа*). Це відкриття стало фатальним ударом для статус-кво дев'яти планет, бо якщо Плутон вважають планетою, то Ксена теж має належати до класу планет. Тому перед астрономами постали питання, що робити з іншими об'єктами поясу Койпера, які трохи менше ніж Плутон, адже в майбутньому на околицях Сонячної системи можуть відкрити ще більші тіла?

На кінець 2010 р. зареєстровано більше 1000 астероїдів, орбіти яких розташовуються за орбітою Нептуна в межах поясу Койпера. Для розв'язання цієї проблеми в Міжнародному Астрономічному Союзі був створений спеціальний комітет, який запропонував модифікувати визначення планети, додавши, що *планета має бути не тільки круглої форми, але повинна також бути єдиним тілом на своїй орбіті*. За цим визначенням *Плутон* утратив статус планети, оскільки він один із багатьох об'єктів поясу Койпера, і до того ж його орбіта фактично перетинається з орбітою Нептуна. У 2006 р. Плутон був позначений астероїдним номером 134340; офіційну назву й номер отримав і об'єкт з умовною назвою «Ксена». Він тепер має номер 136199 та назву *Ерида*.

На грудень 2010 р. зареєстровано 3 планети-карлики: *Церера*, *Плутон*, *Ерида*.



Висновки

Малі тіла Сонячної системи (планети-карлики, астероїди, комети, метеорні тіла) є залишками тої величезної хмари космічної речовини, з якої утворилися Сонце і великі планети. Основний пояс астероїдів розташовується між

Марсом та Юпітером, але за орбітою Нептуна існують ще мільйони плането-подібних тіл (пояс Койпера) та мільйони кометних ядер (хмара Оорта). Астероїди, можливо, стануть базами для дослідження космосу, а металеві астероїди можна використати як джерело для добування корисних копалин. Існує небезпека зустрічі Землі з тими астероїдами, орбіти яких наближуються до Землі або перетинають її орбіту.



Тести

1. Метеором називається явище, коли:
 - А. Зорі падають на Землю.
 - Б. Каміння падає на Землю.
 - В. Пилінки згорають у повітрі.
 - Г. Блискавки спостерігаються у повітрі.
 - Д. Пил викидається в атмосферу.
2. З чого складається ядро комети?
 - А. Із льоду та пилу.
 - Б. Із заліза.
 - В. Із каміння.
 - Г. Із розжарених газів.
 - Д. Із пари води.
3. З якою найменшою швидкістю метеорит влітає в атмосферу Землі?
 - А. 1 м/с.
 - Б. 1 км/с.
 - В. 11,2 км/с.
 - Г. 22,2 км/с.
 - Д. 70 км/с.
 - Е. 100 км/с.
4. З якою найбільшою швидкістю метеорит може влетіти в атмосферу Землі?
 - А. 1 м/с.
 - Б. 1 км/с.
 - В. 11,2 км/с.
 - Г. 22,2 км/с.
 - Д. 70 км/с.
 - Е. 100 км/с.
5. Тунгуський метеорит називають загадковим тому, що:
 - А. Метеорит був космічним кораблем марсіян.
 - Б. На місці падіння не виявлено метеоритного кратера.
 - В. В атмосфері стався спалах, що нагадував вибух ядерної бомби.
 - Г. Метеорит був брилою льоду.
 - Д. Після падіння метеорита над Європою спостерігалось загадкове сяйво в атмосфері і вночі не було видно зір.
6. Чому більшість астероїдів мають неправильну форму?
7. Чому метеорити можуть досягати поверхні Землі?
8. Яке сімейство астероїдів може викликати загрозу для Землі?
9. Чим відрізняється метеор від метеорита?
10. Хвіст комети зазвичай притягується до Сонця чи відштовхується від нього?
11. Чому комета може змінити свою орбіту?
12. Який найбільший метеоритний кратер виявили на території України?
13. Обчисліть свою вагу на астероїді 1709 Україна, який має діаметр 20 км. Густина астероїда — 3 г/см³.



Диспути на запропоновані теми

14. Яка ваша думка щодо практичного використання астероїдів як джерела корисних копалин?



Завдання для спостережень

15. Порахуйте кількість метеорів, які пролітають по небосхилу протягом 30 хв.



Ключові поняття і терміни:

Астроблема, астероїд, болід, комета, метеор, метеорит, пояс астероїдів, пояс Койпера, ступінь ризику, хвіст комети, хмара Оорта, ядро комети.

§ 12. Сонце — наша зоря

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося, чому світить Сонце;
- довідаємося про природу сонячних плям та їхній вплив на біосферу Землі;
- побачимо, як у домашніх умовах можна використати сонячну енергію.

1 Фізичні характеристики Сонця

Сонце — одна з мільярдів зір нашої Галактики, центральне світило в Сонячній системі, вік якого близько 5 млрд років. Воно дає Землі тепло і світло, що підтримує життя на нашій планеті. Сонце розташовується на близькій відстані від Землі — усього 150 млн км, тому ми бачимо його у формі диска. Вивчення Сонця має дуже важливе практичне значення для розвитку земної цивілізації.

Сонце ☉

Радіус	$109 R_{\oplus}$
Маса	$330\,000 M_{\oplus}$
Середня густина	$1,4 \text{ г/см}^3$
Хімічний склад за масою, %:	
H_2	71
He	27
Світність	$4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
Температура, К:	
фотосфери	5780
ядра	15 000 000

Сонячна стала q — енергія, що отримує 1 м^2 поверхні Землі за 1 с, якщо сонячні промені падають перпендикулярно до поверхні. За сучасними даними на межі верхніх шарів атмосфери Землі величина сонячної сталої дорівнює $q = 1,4 \text{ кВт/м}^2$

Температура Сонця вимірюється за допомогою законів випромінювання чорного тіла (див. § 6). Сонце випромінює електромагнітні хвилі різної довжини, які нашим оком сприймаються як біле світло. Насправді, біле світло складається з цілого спектра електромагнітних хвиль від червоного кольору до фіолетового, але Сонце випромінює найбільше енергії у жовто-зеленій частині спектра, тому астрономи називають Сонце *жовтою зорею*. Температура на поверхні Сонця становить 5780 К.

Світність Сонця L_{\odot} визначає потужність його випромінювання, тобто кількість енергії, що випромінює поверхня Сонця у всіх напрямках за одиницю часу. Для визначення світності Сонця треба виміряти сонячну сталу q — енергію, яку отримує 1 м^2 поверхні Землі за 1 с за умови, що Сонце розташоване в зеніті. Для визначення світності Сонця необхідно величину сонячної сталої помножити на площу сфери з радіусом R :

$$L_{\odot} = 4\pi R^2 \cdot q \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт},$$

де $R = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$ — відстань від Землі до Сонця.

Будова Сонця

Сонце — величезна розжарена плазмова куля, що має складну будову її зовнішніх і внутрішніх шарів.

У результаті фізичних процесів, що протікають в надрах Сонця, безперервно виділяється енергія, яка передається зовнішнім шарам і розподіляється на все більшу площу. Внаслідок цього з наближенням до поверхні температура сонячної плазми поступово знижується. Залежно від температури та характеру процесів, що визначаються цією температурою, Сонце умовно розділяють на такі області з різним фізичним станом речовини та розподілом енергії: *ядро, зона радіації, конвективна зона та атмосфера* (рис. 12.1).

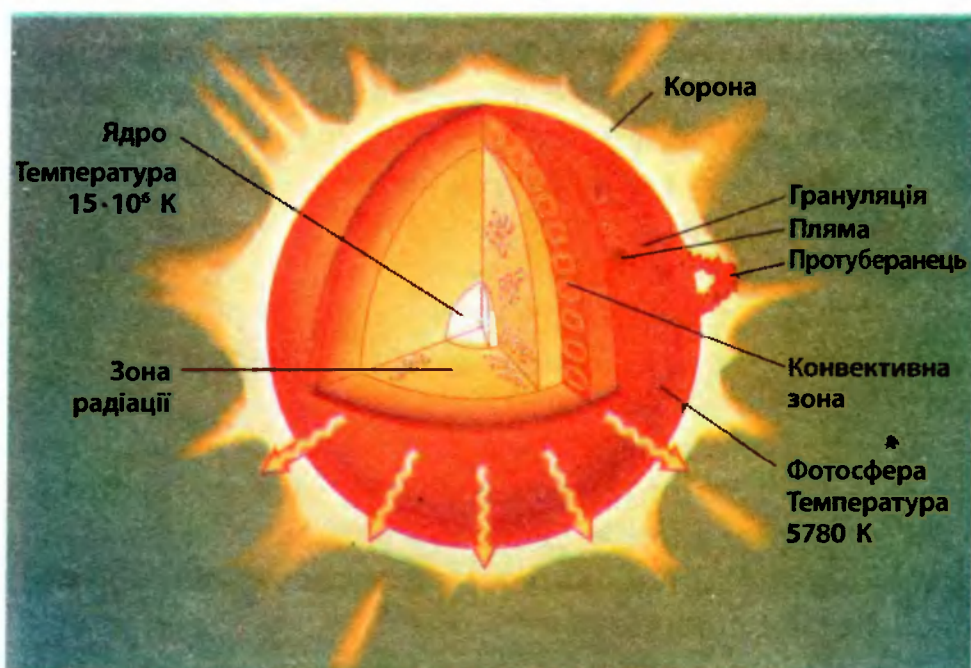


Рис. 12.1. Внутрішня будова Сонця

Центральна область (ядро) займає відносно невеликий об'єм, але завдяки великій густині ядра, яка збільшується до центра, там зосереджена значна частина маси Сонця. Величезний тиск та надвисока температура забезпечують протікання *термоядерних реакцій*, які є основним джерелом енергії Сонця. Радіус ядра становить приблизно $1/3R_{\odot}$.

У *зоні променистої рівноваги, або зоні радіації*, що оточує ядро на відстані до $2/3R_{\odot}$, енергія поширюється шляхом послідовного поглинання і наступного перевипромінювання речовиною квантів електромагнітної енергії.

У *конвективній зоні* (від верхнього шару зони радіації, майже до самої видимої межі Сонця — *фотосфери*) енергія передається вже не випромінюванням, а за допомогою конвекції, тобто шляхом пере-

Ядро — центральні області Сонця, де протікають термоядерні реакції

Зона радіації — зона, де енергія переноситься шляхом перевипромінювання окремих квантів

Конвективна зона — зона, де здійснюється передача енергії шляхом перемішування — більш гарячі комірочки спливають угору, а холодні опускаються донизу

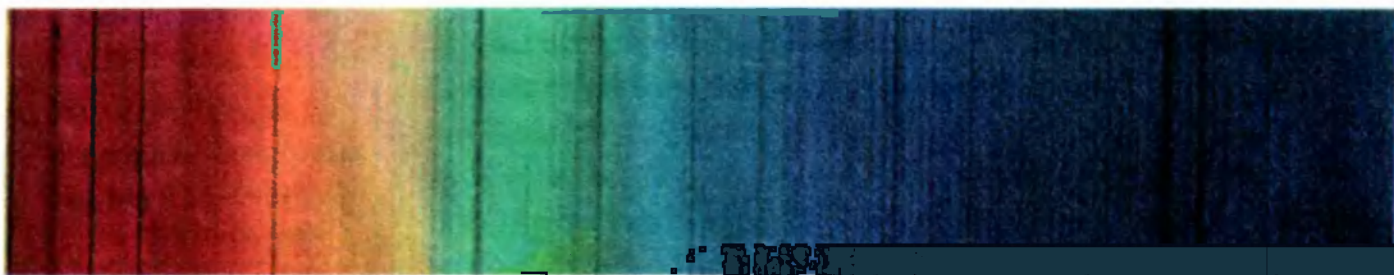


Рис. 12.2. Фотосфера — це найглибший шар атмосфери Сонця, який випромінює світло



Рис. 12.3. Гранули у фотосфері мають діаметр 1000 км — це прояв конвекції

Рис. 12.4. Спектр Сонця. Темні лінії поглинання утворюються у хромосфері



мішування речовини, коли утворюються своєрідні окремі комірочки, які трохи відрізняються одна від одної температурою та густиною.

Атмосферою вважаються зовнішні шари Сонця, що умовно поділені на три оболонки. Найглибший шар атмосфери Сонця, що складається з газів, — **фотосфера** (від грец. — *сфера світла*), 200—300 км завтовшки, сприймається нами як поверхня Сонця (рис. 12.2). Густина газів у фотосфері в мільйони разів менша за густину повітря біля поверхні Землі, а температура фотосфери зменшується з висотою. Середній шар фотосфери, випромінювання якого ми сприймаємо, має температуру 5780 К.

У сонячний телескоп можна спостерігати структуру фотосфери, у якій конвекційні комірочки мають вигляд світлих і темних зерен — *гранул* (рис. 12.3). Над фотосферою розташована **хромосфера** (від грец. — *кольорова сфера*), де атомами різних речовин утворюються темні лінії поглинання у спектрі Сонця (рис. 12.4). Загальна товщина хромосфери становить 10—15 тис. км, а температура у її верхніх шарах сягає 100 000 К.

Над хромосферою розміщений зовнішній шар атмосфери Сонця — **сонячна корона**, температура якої сягає кількох мільйонів градусів. Речовина корони, яка постійно витікає у міжпланетний простір, називається **сонячним вітром**.



Для допитливих

Якщо порівняти світність Сонця з його масою, то ми отримаємо, що 1 кг сонячної речовини генерує мізерну потужність $\approx 0,001$ Вт, у той час як середня потужність випромінювання людського тіла дорівнює приблизно 100 Вт, тобто в тисячу разів більша від потужності такої ж маси сонячної речовини. Правда, Сонце світить протягом мільярдів років, випромінюючи майже одну й ту саму енергію, надійно обігриваючи Землю та інші тіла Сонячної системи!

3 Сонячна активність

Сонячна активність визначається кількістю плям та їхньою загальною площею. Дослідження показали, що температура всередині плями досить висока і сягає 4500 К, але пляма здається темною на тлі більш гарячої фотосфери з температурою 5780 К (рис. 12.5, 12.6). Виникає питання: що знижує температуру всередині плями? Плями на Сонці можуть існувати протягом кількох місяців, тому виникла гіпотеза, що якийсь процес гальмує конvekцію плазми в сонячній плямі та підтримує різницю температур. Зараз доведено, що таким «ізолятором» є сильне магнітне поле, яке взаємодіє з електрично зарядженими частинками плазми і гальмує конvekційні процеси всередині плями.

Ще одна загадка активності Сонця захована в її *періодичності* — цикл зміни кількості плям повторюється приблизно через кожні 11 років (рис. 12.7).

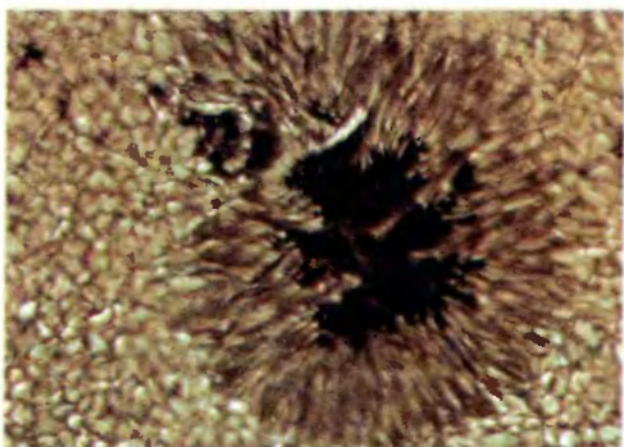


Рис. 12.5. Сонячна пляма — це область фотосфери, де знижується температура, бо сильне магнітне поле у плямі зупиняє конvekцію

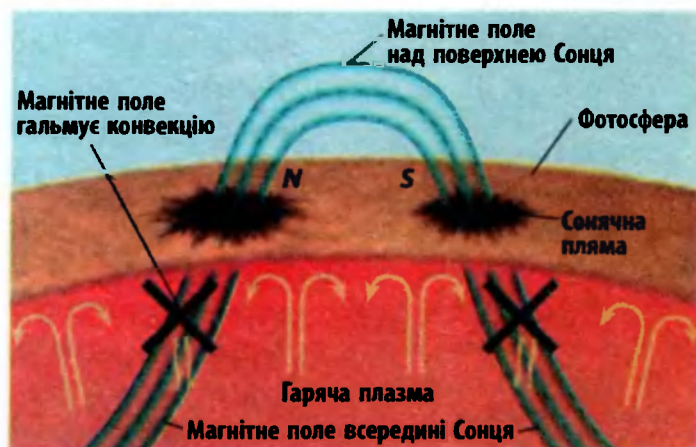
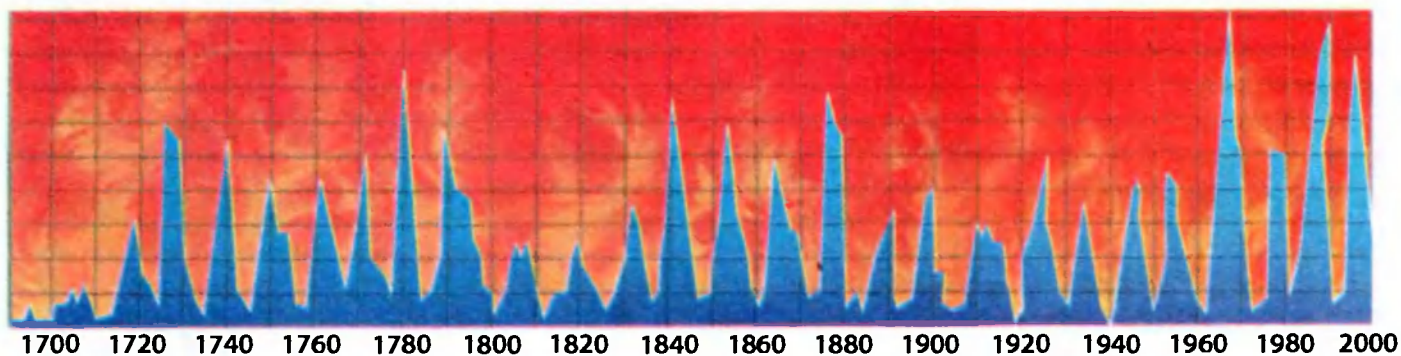


Рис. 12.6. Плями з'єднані між собою попарно, як полюси в магніті, кожна пляма має свою магнітну полярність

Рис. 12.7. Зміна сонячної активності визначається кількістю плям та їхньою площею



Для допитливих

Плями зв'язані між собою магнітними силовими лініями подібно до полюсів магніту — кожна пляма має свою полярність. Так само, як неможливо розділити північний та південний полюси магніту, так і сонячні плями існують тільки парами, які мають різні магнітні полярності. Якщо врахувати полярність плям, то цикл сонячної активності триває приблизно 22 роки.



Вплив сонячної активності на Землю

Досліджуючи Сонце за допомогою супутників та АМС, астрономи виявили його сильне *корпускулярне випромінювання* — потік елементарних частинок (протонів, нейтронів, електронів). Наприклад, під час так званих *хромосферних спалахів*, які вибухають поблизу плям, виділяється така величезна енергія, яку можна порівняти з випромінюванням всієї фотосфери Сонця. Не треба плутати спалахи з протуберанцями. *Протуберанці* (від лат. *protuberans* — *здуваюсь*) існують постійно — це щільні холодні хмари водню, які піднімаються в корону і рухаються вздовж магнітних силових ліній. Завдяки протуберанцям відбувається обмін речовин між хромосферою і короною.

Протуберанці — щільні хмари водню, які підіймаються в корону вздовж магнітних ліній

Хромосферний спалах — тимчасове значне посилення яскравості обмеженої ділянки хромосфери Сонця, вибуховий викид речовини і енергії, яка накопичена в магнітному полі сонячних плям

Магнітна буря — збурення магнітного поля Землі під впливом спалаху на Сонці. У цей час виникають неполадки в радіозв'язку та електронних приладах, погіршується самопочуття людей

Спалах виникає між двома плямами з протилежною полярністю, коли протягом кількох годин температура в цій зоні зростає до $5 \cdot 10^6$ К і виділяється енергія 10^{21} — 10^{25} Дж, що майже сумісне зі світністю Сонця у видимій частині спектра. Під час спалаху енергія випромінюється в основному в невидимій частині спектра (радіо, ультрафіолетовому та рентгеновському діапазоні). Під час спалахів у міжпланетній простір також викидаються потоки заряджених частинок, які летять зі швидкістю до 20000 км/с (рис. 12.8). Через кілька годин після спалаху корпускулярні потоки можуть долетіти до Землі й викликати збурення її магнітного поля та свічення іоносфери, що проявляється у вигляді інтенсивних полярних сьайв.

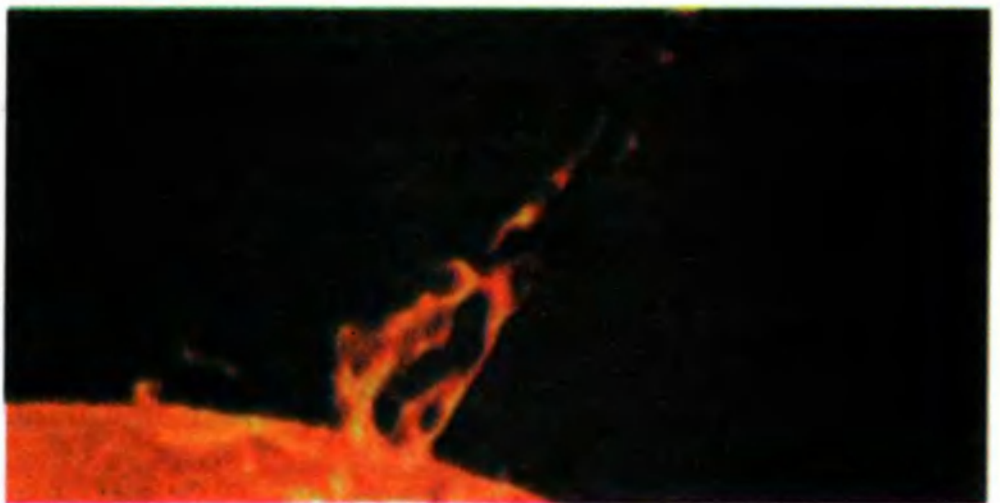


Рис. 12.8. Хромосферний спалах на Сонці



Висновки

Основним джерелом енергії для нашої цивілізації є Сонце, яке дає нам не тільки тепло, але й суттєво впливає на всі процеси, що відбуваються на Землі.

Ми визначили розміри, масу, температуру і світність Сонця; знаємо, що джерелом сонячної енергії є термоядерні реакції у його надрах, і розгадали причину зниження температури в сонячних плямах. Але залишаються нерозгаданими причини сонячної активності й чому існує 11-річний цикл появи плям. У майбутньому сонячне світло стане основним джерелом електричної енергії як на Землі, так і в космічних поселеннях при освоєнні інших планет.



Тести

- Сонячна стала визначає:
 - Кількість енергії, що випромінює Сонце за рік.
 - Кількість енергії, що випромінює Сонце за 1 с.
 - Температуру Сонця.
 - Кількість енергії, яку отримує вся поверхня Землі за одиницю часу.
 - Енергію, яку отримує 1 м^2 поверхні Землі за 1 с, якщо сонячні промені падають перпендикулярно до поверхні.
- Для визначення світності Сонця необхідно знати:
 - Радіус Сонця.
 - Радіус Землі.
 - Відстань від Землі до Сонця.
 - Температуру на поверхні Землі.
 - Температуру на поверхні Сонця.
- Які з цих хімічних елементів найбільш поширені на Сонці?
 - Оксиген і Ферум.
 - Гідроген і Гелій.
 - Гідроген і Оксиген.
 - Нітроген і Оксиген.
 - Ферум і Нітроген.
- У результаті якого процесу виділяється енергія в надрах Сонця?
 - Ядерної реакції.
 - Гравітаційного стиснення.
 - Термоядерної реакції.
 - Горіння водню.
 - Падіння метеоритів.
- Грануляція у фотосфері утворюється в результаті того, що:
 - Корона дуже гаряча.
 - Енергія передається конвекцією.
 - Плями дуже холодні.
 - Випромінюються нейтрино.
 - На поверхні Сонця є хвилі.
- Сонце називають жовтою зорею, у той час як для більшості людей воно має білий колір. Як пояснити цю суперечність?
- Що знижує температуру всередині сонячних плям?
- Яке явище астрономи називають сонячною активністю?
- Які процеси на Сонці можуть суттєво впливати на стан земної атмосфери?
- Що є джерелом енергії Сонця?
- Обчисліть, яку сонячну енергію зміг би поглинути за 1 год дах вашого будинку опівдні.



Диспути на запропоновані теми

- Які екологічно чисті джерела енергії можна запропонувати для використання в населеному пункті, де розташована ваша школа?



Завдання для спостережень

Увага! При спостереженнях не можна дивитися на диск Сонця як неозброєним оком, так і в телескоп без спеціального світлофільтра!

- Підрахуйте загальну кількість сонячних плям та намалюйте їхнє розташування на диску Сонця. Зверніть увагу, що плями часто з'являються парами. Через декілька днів повторіть спостереження, і ви помітите обертання Сонця навколо осі — плями змістилися. Кількість плям за цей час теж може змінитися.



Ключові поняття і терміни:

Гранули, зона конвекції, зона радіації, корпускулярне випромінювання, корона, магнітна буря, протуберанці, світність Сонця, сонячний вітер, сонячна пляма, сонячна стала, фотосфера, хромосфера, хромосферний спалах, ядро.

§ 13. Фізичні характеристики зір

Вивчивши цей параграф, ми:

- побачимо, як вимірюються відстані до зір;
- дізнаємося, що означають зоряні величини;
- довідаємося, як без термометра можна виміряти температуру зорі.

1 Вимірювання відстаней до зір

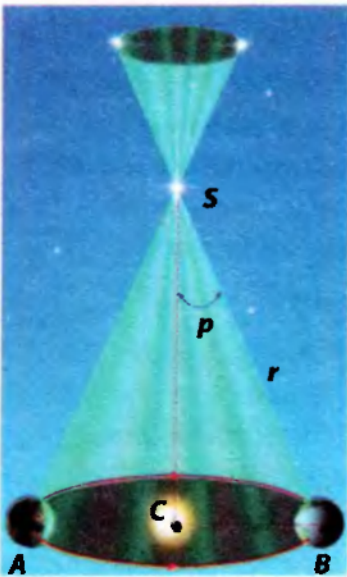


Рис. 13.1. Річний паралакс визначає кут, під яким було б видно від зорі велику піввісь земної орбіти (1 а. о.) в перпендикулярному до променя зору напрямку

Зорі розташовані в мільйони разів далі, ніж Сонце, тому горизонтальні паралакси зір відповідно в мільйони разів менші, і виміряти такі малі кути ще нікому не вдавалося. Для вимірювання відстаней до зір астрономи змушені визначати річні паралакси, які пов'язані з орбітальним рухом Землі навколо Сонця (рис. 13.1.). У точці С розташоване Сонце; А, В — положення Землі на орбіті з інтервалом 6 місяців; $BC=1$ а. о.— відстань від Землі до Сонця (велика піввісь земної орбіти); S — зоря, до якої треба визначити відстань; $\angle BSC=p$ — річний паралакс зорі.

Відстань від Землі до зорі визначається з прямокутного трикутника CBS :

$$r = \frac{BC}{\sin p} = \frac{1 \text{ а. о.}}{\sin p} \quad (13.1)$$

Річний паралакс можна вимірювати тільки протягом кількох місяців, поки Земля, а разом із нею і телескоп, рухаючись навколо Сонця, не перемістяться у космічному просторі.

Річні паралакси зір астрономи намагалися визначити ще за часів М. Коперника, що могло стати незаперечним доказом обертання Землі навколо Сонця та утвердженням геліоцентричної системи світу. Але тільки у 1837 р. В. Струве в Пулковській астрономічній обсерваторії (Росія) визначив річний паралакс зорі Вега (α Ліри). Найбільший паралакс має найближча до нас зоря *Проксіма Кентавра* — $p=0,76''$, але її в Європі не видно. З яскравих зір, які можна бачити в Україні, найближче до нас перебуває зоря Сіріус (α Великого Пса), річний паралакс якої $p=0,376''$.

Відстань до найближчих зір

Зоря	Відстань Св. р.	пк
Проксіма	4,2	1,3
Барнарда	5,9	1,8
Вольф 359	7,5	2,4
Сіріус	8,8	2,6
Росс 154	9,5	2,9
ϵ Еридана	11,0	3,3
Проціон	11,4	3,5
Альгаїр	16,5	5,1
Вега	26,5	8,1
Арктур	36,0	11,0
Капелла	45,0	13,8

Відстань до зір вимірюють у світлових роках (див. § 1), але в астрономії ще використовують одиницю *парсек* (пк) — відстань, для якої річний паралакс $p = 1''$ (парсек — скорочення від паралакс-секунда).

$$1 \text{ пк} = \frac{1 \text{ а. о.}}{\sin 1''} = 206\,265 \text{ а. о.} \approx 3,08 \cdot 10^{13} \text{ км.} \quad (13.2)$$

Співвідношення між парсеком та світловим роком таке: $1 \text{ пк} \approx 3,26 \text{ св. року}$.

Якщо річний паралакс вимірюється кутовими секундами, то відстань до зір у парсеках можна виразити такою формулою:

$$r \approx 1/p'' \text{ пк.} \quad (13.3)$$

2 Видимі зоряні величини

Уперше термін «зоряна величина» був уведений для визначення яскравості зір грецьким астрономом Гіппархом у II ст. до н. е. Тоді астрономи вважали, що зорі розміщені на однаковій відстані від Землі, тому яскравість залежить від розмірів цих світил. Зараз ми знаємо, що зорі навіть в одному сузір'ї розташовуються на різних відстанях (рис. 2.2), тому видима зоряна величина визначає тільки деяку кількість енергії, яку реєструє наше око за певний проміжок часу. Гіппарх розділив усі видимі зорі за яскравістю на 6 своєрідних класів — 6 *зоряних величин*. Найяскравіші зорі були названі зорями першої зоряної величини, більш слабкіші — другої, а найслабкіші, які ледве видно на нічному небі, — шостої. У XIX ст. англійський астроном Н. Погсон (1829—1891) доповнив визначення зоряної величини ще однією умовою: зорі першої зоряної величини мають бути у 100 разів яскравіші за зорі шостої величини (рис. 13.2). Видиму зоряну величину позначають літерою m . Для будь-яких зоряних величин m_1 , m_2 буде справедливе таке відношення їх яскравості E_1 та E_2 :

$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)}. \quad (13.4)$$

Видима зоряна величина m визначає кількість світла, що потрапляє від зорі до нашого ока. Найслабкіші зорі, які ще можна побачити неозброєним оком, мають $m = +6^m$.

Рівняння (13.4) називають формулою Погсона. Яскравість E фактично визначає освітленість, яку створюють зорі на поверхні Зем-



Рис. 13.2. Зорі поблизу Полярної, що використовують як стандарт для визначення видимих зоряних величин

лі, тому величину E можна вимірювати люксами — одиницями освітленості, які застосовують у курсі фізики. Згідно з формулою (13.4), якщо різниця зоряних величин двох світил дорівнює одиниці, то відношення блиску буде $\approx 2,512$.

Для визначення видимих зоряних величин небесних світил астрономи взяли за стандарт так званий північний полярний ряд — це 96 зір навколо північного полюса світу. Найяскравіша серед них — Полярна має зоряну величину $m = +2^m$ (рис. 13.2). Відносно цього стандарту найслабкіші зорі, які ще можна побачити неозброєним оком, мають зоряну величину $+6^m$, у бінокль видно зорі до $+8^m$, у шкільний телескоп видно світила до $+11^m$, а за допомогою найбільших телескопів сучасними методами можна зареєструвати слабкі галактики до $+28^m$. Дуже яскраві небесні світила мають від'ємну зоряну величину. Наприклад, найяскравіша зоря нашого неба Сіріус має видиму зоряну величину $m = -1,6^m$, для найяскравішої планети Венери $m = -4,5^m$, а для Сонця $m = -26,7^m$.

Видимі та абсолютні зоряні величини деяких зір

Зоря	m	M
Сонце	-26,7	+4,8
Сіріус	-1,6	+1,3
Арктур	-0,1	-0,3
Вега	0	+0,5
Капелла	+0,1	-0,7
Рігель	+0,1	-7,5
Проціон	+0,4	+2,6
Бетельгейзе	+0,4	-6,0
Альтаір	+0,8	+2,2
Денеб	+1,3	-7,4

3 Абсолютні зоряні величини і світність зорі

Хоча Сонце є найяскравішим світилом на нашому небі, це не означає, що воно випромінює більше енергії, ніж інші зорі.

З курсу фізики відомо, що освітленість, яку створюють джерела енергії, залежить від відстані до них, тому невелика лампочка у вашій кімнаті може здаватися набагато яскравішою, ніж далекий прожектор. Для визначення світності, або загальної потужності випромінювання, астрономи вводять поняття абсолютної зоряної величини M . Зоряну величину, яку мала б зоря на стандартній відстані $r_0 = 10$ пк, називають абсолютною зоряною величиною. Приблизно на такій відстані (11 пк, або 36 св. років) від нас розташована зоря Арктур, вона має видиму зоряну величину, яка майже дорівнює абсолютній. Сонце на відстані 10 пк мало б вигляд досить слабкої зорі п'ятої зоряної величини, тобто абсолютна зоряна величина Сонця $\approx +5^m$.

Абсолютна зоряна величина M визначає яскравість, яку мала б зоря на стандартній відстані 10 пк.
Світність зорі визначає потужність випромінювання зорі.
За одиницю світності приймається потужність випромінювання Сонця $4 \cdot 10^{26}$ Вт

Якщо відома відстань до зорі r в парсеках та її видима зоряна величина m , то абсолютну зоряну величину M можна визначити за допомогою такої формули:

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \tag{13.5}$$

Світність зорі визначає кількість енергії, що випромінює зоря за одиницю часу, тобто потужність випромінювання зорі. За одиницю світності в астрономії приймають потужність випромінювання Сонця $4 \cdot 10^{26}$ Вт. Якщо відома абсолютна зоряна величина зорі M , то її світність визначається за допомогою такої формули:

$$L = \frac{E}{E_{\odot}} = 10^{0,4(5-M)} \quad (13.6)$$

Світність L деяких зір

Зоря	L
Сонце	1
Денеб	90 000
Рігель	70 000
Бетельгейзе	25 000
Полярна	17 600
Капелла	150
Арктур	102
Вега	54
Сіріус	23
Альтаір	10

4 Колір і температура зір

Температуру зорі можна визначити за допомогою законів випромінювання *чорного тіла* (див. § 6). Найпростіший метод вимірювання температури зорі полягає у визначенні її кольору. Правда, незброєним оком можна визначити тільки колір яскравих зір, бо чутливість нашого ока до сприйняття кольорів при слабкому освітленні дуже мала. Колір слабких зір можна визначити за допомогою бінокля або телескопа, які збирають більше світла, тому в окулярі телескопа зорі здаються нам яскравішими.

За температурою зорі розділили на 7 спектральних класів (рис. 13.3), які позначили літерами латинської абетки: *O, B, A, F, G, K, M* (англійське прислів'я: «*Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me*» — «*будь гарною дівчиною, поцілуй мене*»).

Найвищу температуру на поверхні мають сині зорі спектрального класу *O*, які випромінюють найбільше енергії у синій частині спектра (рис. 13.4). Кожний спектральний клас поділяється на 10 підкласів: *A0, A1... A9*.

Звичайно у спектрі кожної зорі є темні лінії поглинання, які утворюються в розрідженій атмосфері зорі та в атмосфері Землі й показують хімічний склад цих атмосфер. Виявилось, що всі зорі мають майже однаковий хімічний склад, бо основні хімічні елементи

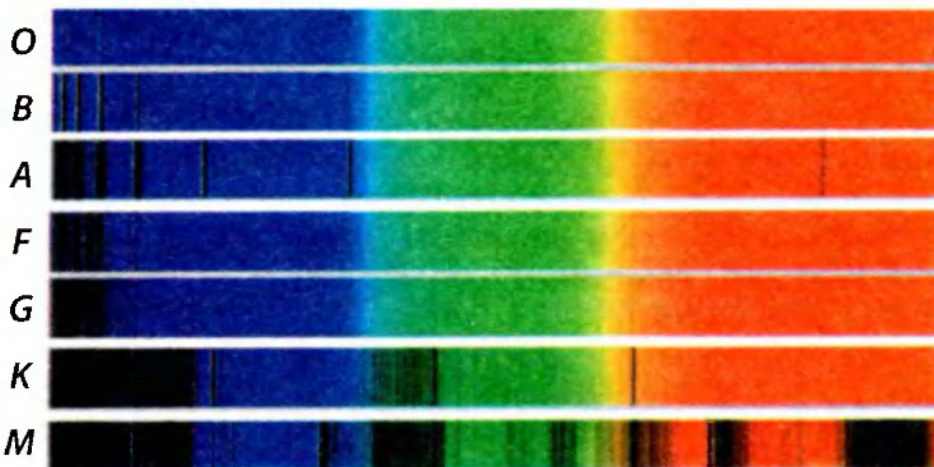
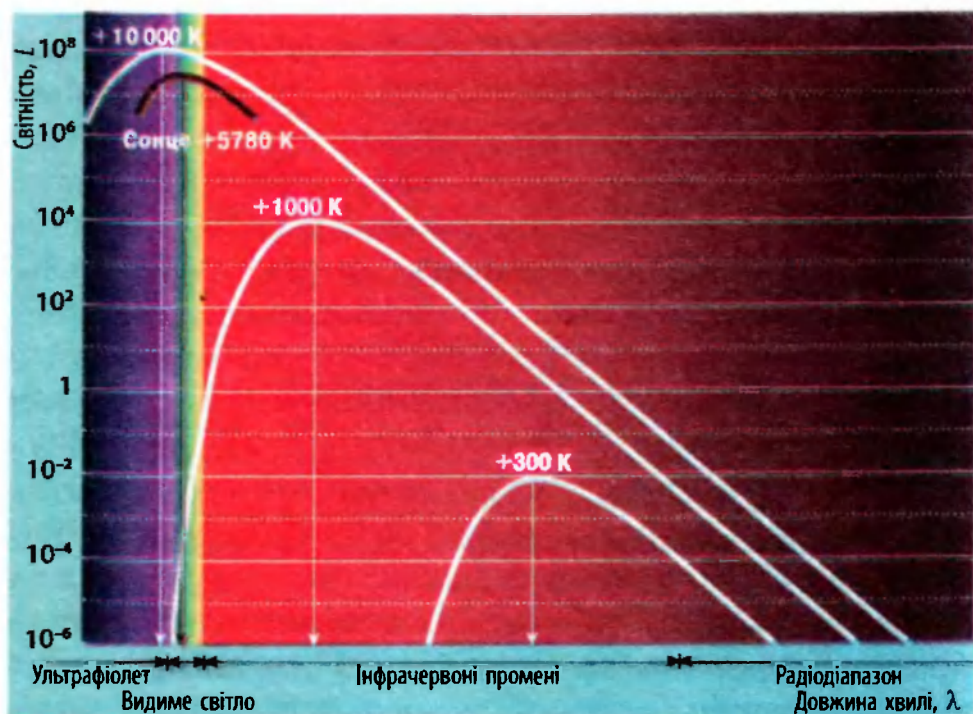


Рис. 13.3. Кольори зір визначають 7 основних спектральних класів. Найгарячіші зорі синього кольору належать до спектрального класу *O*, найхолодніші червоні зорі — до спектрального класу *M*. Сонце має температуру фотосфери 5780 К, жовтий колір і належить до спектрального класу *G*

Рис. 13.4. Інтенсивність випромінювання космічних тіл із різною температурою. Гарячі зорі випромінюють більше енергії у синій частині спектра, а холодні зорі — у червоній. Планети випромінюють енергію переважно в інфрачервоній частині спектра



у Всесвіті — Гідроген та Гелій, а основна відмінність різних спектральних класів обумовлена температурою зоряних фотосфер.

5 Радіуси зір

Для визначення радіуса зорі не можна використати геометричний метод, бо зорі розташовуються настільки далеко від Землі, що навіть у великі телескопи ще до недавнього часу неможливо було виміряти їхні кутові розміри — усі зорі мають вигляд однакових світлих точок.

Радіус зорі можна визначити, вимірюючи її світність та температуру поверхні

Для визначення радіуса зір астрономи використовують закон Стефана—Больцмана:

$$Q = \sigma \cdot T^4, \quad (13.7)$$

де Q — енергія, що випромінює одиниця поверхні зорі за одиницю часу; σ — стала Стефана—Больцмана; T^4 — абсолютна температура поверхні зорі.

Потужність, що випромінює вся зоря з радіусом R , визначається загальною площею її поверхні, тобто:

$$E = 4\pi R^2 \cdot Q = 4\pi R^2 \cdot \sigma \cdot T^4. \quad (13.8)$$

Рис. 13.5. Радіуси деяких зір у порівнянні із Сонцем



З іншого боку, таке ж співвідношення ми можемо записати для енергії, що випромінює Сонце:

$$E_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\odot}^4. \quad (13.9)$$

Таким чином, з рівнянь (13.8), (13.9) можна визначити невідомий радіус зорі, якщо відомі радіус R_{\odot} і температура T_{\odot} Сонця:

$$\frac{R}{R_{\odot}} = (L)^{0,5} \frac{T_{\odot}^2}{T^2}, \quad (13.10)$$

де L — світність зорі в одиницях світності Сонця.

Виявилось, що існують зорі, які мають радіус у сотні разів більший за радіус Сонця, і зорі, що мають радіус менший, ніж радіус Землі (рис. 13.5).

6 Діаграма спектр—світність

Сонце за фізичними параметрами належить до середніх зір — воно має середню температуру, середню світність і т. ін. За статистикою, серед великої кількості різноманітних тіл найбільше таких, які мають середні параметри. Наприклад, якщо виміряти зріст і масу великої кількості людей, які мають різний вік, то найбільше буде людей із середніми величинами цих параметрів. Астрономи вирішили перевірити, чи багато в космосі таких зір, як наше Сонце. Для цієї мети Е. Герцшпрунг (1873—1967) та Г. Рессел (1877—1955) запропонували діаграму, на якій можна позначити місце кожної зорі, якщо відомі її температура та світність. Її названо **діаграмою спектр—світність**, або **діаграмою Герцшпрунга—Рессела**. Вона має вигляд графіка, на якому по осі абсцис відзначають спектральний клас, або температуру зорі, а по осі ординат — світність (рис. 13.6). Якщо Сонце — середня зоря, то на діаграмі має бути скупчення точок поблизу того місця, що займає Сонце. Тобто більшість зір повинні бути жовтого кольору з такою ж світністю, як Сонце. Яке ж було здивування астрономів, коли виявилось, що в космосі не знайшли жодної зорі, яку можна вважати копією Сонця. Більшість зір на діаграмі розташовані у вузькій смузі, яку називають **головною послідовністю**. Діаметри зір головної послідовності відрізняються у кілька разів, а їхня світність згідно із законом Стефана—Больцмана (див. п. 13.5) визначається температурою поверхні. До цієї смуги входять Сонце та Сіріус. Суттєва різниця в температурі на поверхні зір різних спектральних

Білі карлики — зорі, що мають радіус у сотні разів менше сонячного і густину в мільйони разів більшу за щільність води.

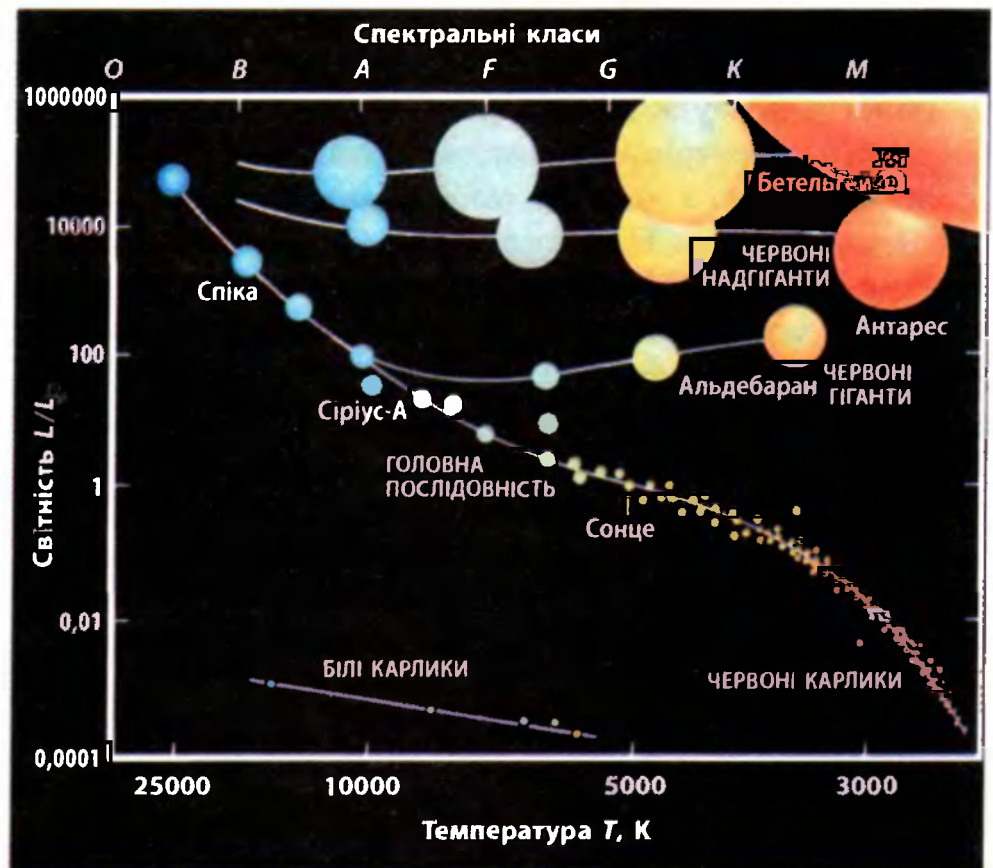
Червоні карлики — зорі з масою меншою, ніж сонячна, але більшою, ніж у Юпітера. Температура і світність цих зір залишаються сталими протягом десятків мільярдів років.

Червоні гіганти — зорі, що мають температуру 3000—4000 К і радіус у десятки разів більший, ніж сонячний. Маса цих зір не набагато більша від маси Сонця. Такі зорі не перебувають у стані рівноваги

класів пояснюється різною масою цих світил: чим більша маса зорі, тим більша її світність. Наприклад, зорі головної послідовності спектральних класів *O* та *B* у кілька разів масивніші за Сонце, а *червоні карлики* мають масу в десятки разів меншу, ніж сонячна.

Окремо від головної послідовності на діаграмі розташовуються *білі карлики* (ліворуч знизу) та *червоні надгіганти* (праворуч зверху), які мають приблизно однакову масу, але значно відрізняються за розмірами. Гіганти спектрального класу *M* мають майже таку саму масу, як білі карлики спектрального класу *B*, тому суттєво відрізняється середня густина цих зір. Наприклад, радіус *червоного гіганта Бетельгейзе* у 400 разів більший, ніж радіус Сонця, але маса цих зір майже однакова, тому червоні гіганти спектрального класу *M* мають середню густину в мільйони разів меншу, ніж густина земної атмосфери. Типовим представником білих карликів є супутник Сіріуса, радіус якого майже такий, як радіус Землі, а густина має фантастичну величину $3 \cdot 10^6$ г/см³, тобто наперсток речовини білого карлика важив би на Землі 10000 Н. Ще більшу густину мають нейтронні зорі та чорні діри (див. § 14).

Рис. 13.6. Діаграма Герцшпрунга—Рессела. По осі абсцис позначена температура зір, по осі ординат — світність. Сонце має температуру 5780 К і світність 1. Холодніші зорі на діаграмі розташовані праворуч (червоного кольору), а більш гарячі — ліворуч (синього кольору). Зорі, що випромінюють більше енергії, розташовані вище Сонця, а зорі-карлики — нижче. Більшість зір, до яких належить і Сонце, розташовані у вузькій смужці, яку називають *головною послідовністю зір*



Для допитливих

Головна загадка діаграми спектр—світність полягає в тому, що в космосі астрономи ще не знайшли хоча б дві однакові зорі, які мають однакові фізичні параметри — масу, температуру, світність, радіус. Наприклад, багато зір належать до спектрального класу *G* (Капелла, α Кентавра тощо), але немає зір, які були б

точно такими, як Сонце. Напевно, протягом еволюції зорі змінюють свої фізичні параметри, тому малоімовірно, що ми зможемо відшукати в космосі ще одну зорю, яка зародилася одночасно з нашим Сонцем, маючи тотожні початкові параметри. У діаграмі спектр—світність захована таємниця еволюції зір: деякі зорі тільки-що народилися, інші мають середній вік, і, крім того, багато зір закінчують своє існування грандіозними спалахами.



Висновки

Фізичні характеристики зір: світність, температура, радіус, густина — суттєво різняться між собою. Між цими характеристиками існує взаємозв'язок, який відображає еволюційний шлях зорі. Сонце за своїми параметрами належить до жовтих зір, які перебувають у стані рівноваги і не змінюють своїх розмірів протягом мільярдів років. У космосі існують зорі-гіганти, які в тисячі разів більші, ніж Сонце, і зорі-карлики, радіус яких менший, ніж радіус Землі.



Тести

- Якими одиницями астрономи вимірюють відстань до зір?
А. Кілометрами. **Б.** Астрономічними одиницями. **В.** Паралаксами. **Г.** Світловими роками. **Д.** Парсеками.
- Видима зоряна величина визначає:
А. Світність зорі. **Б.** Радіус зорі. **В.** Яскравість зорі. **Г.** Освітленість, яку створює зоря на Землі. **Д.** Температуру зорі.
- На якій відстані абсолютна та видима зоряні величини мають однакове значення?
А. 1 а. о. **Б.** 10 а. о. **В.** 1 св. рік. **Г.** 10 св. років. **Д.** 1 пк. **Е.** 10 пк.
- Які з наведених спектральних класів зір мають на поверхні найвищу температуру?
А. А; **Б.** В; **В.** F; **Г.** G; **Д.** К.
- Виберіть температуру на поверхні та спектральний клас, до якого належить Сонце:
А. А 10000 К; **Б.** В 10000 К; **В.** С 6000 К; **Г.** G 6000 К; **Д.** М 3000 К.
- Які зорі мають найвищу температуру на поверхні, і до якого спектрального класу вони належать?
- У чому полягає різниця між видимою та абсолютною зоряними величинами?
- Як астрономи вимірюють температуру зір?
- Якого кольору зорі мають найвищу температуру на поверхні? Які найменшу?
- Чи існують зорі, маса яких менша за масу Землі? Радіус яких зір менший від радіуса Землі?
- Річний паралакс Веги (*α* Ліри) дорівнює 0,12". Якою є відстань до неї у парсеках та світлових роках?



Завдання для спостережень

- Визначте радіус однієї з яскравих зір, яку видно ввечері у ваш день народження. Який вигляд мала б ця зоря на нашому небі, якби вона світила на місці Сонця?



Ключові поняття і терміни:

Абсолютна зоряна величина, видима зоряна величина, діаграма спектр—світність, парсек, північний полярний ряд, світність зорі, спектральні класи.

§ 14. Еволюція зір

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося, як народжуються нові зорі;
- побачимо космічні катастрофи, коли вибухають старі зорі;
- довідаємося, чи перетвориться Сонце у чорну діру.

1

Зародження зір

Астрономи створили теорію еволюції зір завдяки тому, що в космосі можна спостерігати мільярди зір різного віку. Це трохи схоже на те, як за кілька годин можна описати ріст та розвиток дерева, яке існує десятки років, — треба тільки піти в ліс і вивчити дерева різного віку. Всесвіт — це своєрідний космічний парк, у якому зорі народжуються, певний час світять, а потім гинуть.



Рис. 14.1. Туманність Оріона можна побачити навіть неозброєним оком. Відстань до неї близько 1000 св. років



Рис. 14.2. Туманність у зоряному скупченні Плеяди, з якої утворюються нові зорі

Важко побачити зорю до її народження, поки вона не почне світитися у видимій частині спектра. Зорі зароджуються разом із планетами з розріджених газопилових хмар, які утворюються після вибуху старих зір. За допомогою сучасних телескопів астрономи виявили в космосі сотні таких величезних газопилових туманностей, де зараз відбувається утворення молодих світів. Наприклад, такі своєрідні «ясла» новонароджених зір можна побачити в сузір'ї Оріон (рис. 14.1) та зоряному скупченні Плеяди (рис. 14.2).

Доля зорі та тривалість її життя залежать від початкової маси зародка зорі — **протозорі**. Якщо вона була в кілька разів більша, ніж маса Сонця, то під час гравітаційного стиснення утворюються гарячі зорі спектральних класів *O* та *B*. Протозорі з такою початковою масою, як маса Сонця, під час гравітаційного стиснення нагріваються до температури 6000 К. Протозорі з масою у кілька разів меншою, ніж сонячна, можуть перетворитися тільки на червоних карликів. Найменша маса, яка необхідна для початку термоядерних реакцій у надрах зорі, дорівнює майже 0,08 маси Сонця. Об'єкти меншої маси ніколи на зорі не перетворюються — вони будуть випромінювати енергію тільки в інфрачервоній частині спектра. Такі космічні тіла ми спостерігаємо навіть у Сонячній системі — це планети-гіганти Юпітер, Сатурн, Нептун (див. §9). Можливо, що в міжзоряному просторі кіль-

кість таких холодних інфрачервоних тіл (їх ще називають *коричневими карликами*) може бути набагато більшою, ніж видимих зір.

2 Зоря в стані гравітаційної рівноваги

Протягом свого тривалого життя кожна зоря може як збільшувати, так і зменшувати всі свої основні параметри — температуру, світність та радіус. Зорі на головній послідовності (рис. 13.6) перебувають у стані *гравітаційної рівноваги*, коли зовнішні шари за рахунок гравітації тиснуть до центра, у той час як тиск нагрітих газів діє в протилежному напрямку — від центра (рис. 14.3). Зоря в стані гравітаційної рівноваги не змінює своїх параметрів, бо інтенсивне випромінювання енергії з поверхні компенсується джерелом енергії в надрах — термоядерними реакціями. Такий процес триває доти, доки половина Гідрогену у ядрі не перетвориться на Гелій, і тоді інтенсивність термоядерних реакцій може зменшитися. Тривалість такої стаціонарної фази в житті зорі, коли її параметри довгий час залишаються сталими, залежить знову-таки від її маси. Розрахунки показують, що такі зорі, як Сонце, у стані рівноваги світять не менше ніж 10 млрд років. Більш масивні зорі спектральних класів *O*, *B*, у надрах яких термоядерні реакції протікають інтенсивніше, у рівновазі світять 100 млн років, а найдовше «мерехтять» маленькі червоні карлики — їхній вік може перевершувати 10^{11} років.

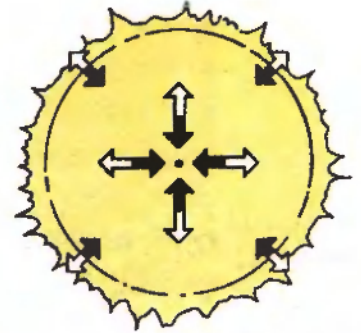


Рис. 14.3. Зоря в стані рівноваги: зовнішні сили гравітації врівноважені силами газового тиску

3 Змінні зорі

Змінні зорі протягом певного часу можуть змінювати свою яскравість. Розрізняють такі типи змінних зір:

- блиск зорі може змінюватися в кратних системах, коли відбуваються періодичні затемнення об'єктів, які мають різну світність. Прикладом такої змінної зорі є *Алголь* — відома подвійна зоря β Персея;
- інший тип змінних зір називають *фізично змінними*. Зміна яскравості таких зір пов'язана з тим, що термоядерні реакції в центрі зорі з часом будуть протікати не так інтенсивно, тоді порушення гравітаційної рівноваги буде помітне у зміні її розмірів і температури на поверхні — на діаграмі *спектр—світність* такі зорі не мають постійного положення і зміщуються з головної послідовності праворуч.

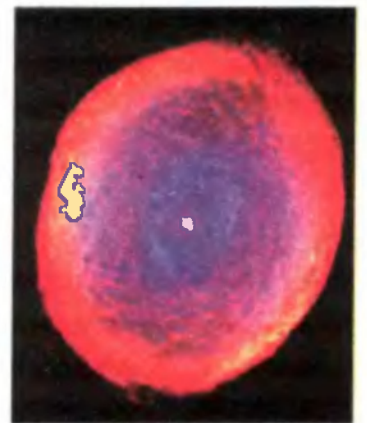


Рис. 14.4. Планетарна туманність утворюється, коли порушується рівновага і зоря скидає зовнішні шари

Із різних типів фізично змінних зір привертають увагу *цефеїди*. Їхня назва походить від сузір'я, у якому вперше помітили таку змінну зорю — δ Цефея. Розрахунки періоду зміни яскравості показали, що цефеїди змінюють свій радіус, тому їх можна вважати своєрідними маятниками, які коливаються у своєму гравітаційному полі. Період пульсацій залежить від маси та радіуса зорі, наприклад δ Цефея пульсує з періодом 5,4 доби.

Пульсації приводять до того, що цефеїда з часом перетворюється на гіганта, який може поступово скинути свою оболонку. Такі об'єкти астрономи помилково назвали *планетарними туманностями* — колись вважали, що так народжується нова планетна система (рис. 14.4). Гаряче ядро такої планетарної туманності поступово стискується і перетворюється на білого карлика.

4

Нові та Наднові зорі

Зорі з масою у кілька разів більшою, ніж сонячна, закінчують своє життя грандіозним вибухом. У 1054 р. китайські астрономи спостерігали надзвичайно яскраву нову зорю, яку було видно вдень протягом кількох тижнів. Цю незвичайну зорю помітили також летописці в Київській Русі, бо це був рік смерті Ярослава Мудрого.



Рис. 14.5. Туманність Краб, яка утворилася після спалаху Наднової у 1054 р.

Вважалося, що поява нової зорі віщувала «Боже знамення» на сумну подію в житті Русі. Сьогодні на тому місці, де спалахнула ця таємнича зоря, видно *туманність Краб* (рис. 14.5). Зорі спектральних класів O та B , які протягом кількох днів збільшують свою яскравість у сотні мільйонів разів, називають *Новими*. Інколи Нова випромінює майже стільки ж енергії, скільки виділяють разом усі зорі в галактиці — такі зорі мають назву *Наднових*. Туманність Краб у сузір'ї Тільця є залишком такої Наднової, що спалахнула 4 липня 1054 р. Вірніше, якщо врахувати, що туманність Краб розміщується на відстані 6500 св. років від Землі, то спалах Наднової стався ще 7500 років тому.

Останній спалах Наднової астрономи спостерігали в минулому тисячолітті 24 лютого 1987 р. у сусідній галактиці — *Великій Магеллановій Хмарі*. Вибухнула гігантська зоря спектрального класу B , яка кілька тижнів світила яскравіше від усіх зір у галактиці (рис. 14.6). Приблизно за 20 год перед спалахом Наднової було зареєстровано ударну хвилю нейтринного потоку, який тривав 13 с і за потужністю був у десятки тисяч разів більший, ніж енергія в оптичному діапазоні. Таким чином, у 1987 р. астрономи

Нова зоря — вибухово змінна подвійна зоря, яка раптово збільшує свою світність в 10^2 — 10^7 разів.

Наднова — зоря, світність якої збільшується за кілька днів у мільярди разів

вперше отримали інформацію про далеку космічну подію, яка відбулася майже 200 000 років тому.

Після спалаху зорі всі планети, які обертали-ся навколо неї, випаровуються і перетворюються у газопилову туманність, з якої в майбутньому може утворитися нове покоління зір. Тобто у Всесвіті спостерігається своєрідний кругообіг речовини: зорі — спалах зір — туманність — і знову народження молодих зір (рис. 14.7).



Рис. 14.6. Спалах Наднової у сусідній галактиці Велика Магелланова Хмара (1987 р.)



Рис. 14.7. Кругообіг речовини при утворенні та руйнуванні зір. Під час спалаху Нових утворюються важкі хімічні елементи, тому нове покоління планетних систем утворюється з іншим хімічним складом. Планети земного типу, які мають тверду поверхню, могли виникнути тільки на руїнах старої планетної системи, коли під час спалаху Нових утворюються Si, Fe, Al



Для допитливих

Після спалаху Нової чи Наднової залишається ядро, у якому відсутнє джерело енергії. Така зоря поступово зменшує свій радіус і світить тільки завдяки гравітаційному стисненню — потенціальна енергія зорі перетворюється на тепло. При стисненні маса залишається сталою, тому збільшується густина, і зоря перетворюється на білого карлика. Якщо початкова маса зорі була в кілька разів більшою, ніж сонячна, то білий карлик може перетворитись на нейтронну зорю, радіус якої не перевищує кількох десятків кілометрів, а густина сягає фантастичної величини 10^{15} г/см³. Першу нейтронну зорю випадково відкрили в Кембриджському університеті в 1967 р. За допомогою невеликої антени астрономи зареєстрували радіосигнал, який повторювався з постійним періодом 1 с. Уночі в тому напрямку, звідки надходили імпульси, не було видно жодної зорі, тому астрономи навіть висунули гіпотезу про радіосигнал штучного походження від позаземної цивілізації. Потім спостереження показали, що такі періодичні сигнали надходять на Землю від сотень інших невидимих джерел, які було названо *пульсарами*. Один із пульсарів було виявлено навіть у центрі знаменитої туманності Краб.

Білий карлик

Сіріус — В

Маса	$1,1M_{\odot}$
Радіус	$0,008R_{\odot}$
Світність	0,002
Температура	10 000 К,
Густина	$3 \cdot 10^6$ г/см ³

5 Пульсари і нейтронні зорі

Сучасні теоретичні розрахунки показують, що пульсари і нейтронні зорі — це одні й ті самі об'єкти. Внаслідок стиснення *нейтронної зорі* має виконуватися закон збереження моменту імпульсу. Цей закон часто демонструють на льоду фігуристи, коли треба викликати швидке обертання свого тіла навколо осі. Спортсмени спочатку починають повільно обертатися навколо осі з витягнутими в різні боки руками. Потім поступово руки підводять до тулуба, при цьому кутова швидкість обертання різко зростає. Таке саме зростання кутової швидкості спостерігається при зменшенні радіуса зорі. Наприклад, зараз Сонце обертається навколо своєї осі з періодом приблизно 28 діб. Якби радіус Сонця зменшився до 10 км, то його період обертання дорівнював би 1 с.



Рис. 14.8. Періодичні сигнали пульсарів пояснюються великою кутовою швидкістю обертання нейтронної зорі навколо осі

Пульсар — джерело електромагнітних хвиль, яке випромінює енергію у вигляді імпульсів із певним періодом. Те саме, що нейтронна зоря

При гравітаційному стисненні настільки зростає напруженість магнітного поля зорі, що вона «випускає» випромінювання тільки через магнітні полюси у вигляді своєрідних «прожекторів», які описують у космосі величезний конус. Можливо, що в Галактиці існують мільйони нейтронних зір, але зареєстровано тільки кілька сотень у вигляді пульсарів (рис. 14.8), бо більшість таких «прожекторів» не спрямовані на Землю.

При гравітаційному стисненні настільки зростає напруженість магнітного поля зорі, що вона «випускає» випромінювання тільки через магнітні полюси у вигляді своєрідних «прожекторів», які описують у космосі величезний конус. Можливо, що в Галактиці існують мільйони нейтронних зір, але зареєстровано тільки кілька сотень у вигляді пульсарів (рис. 14.8), бо більшість таких «прожекторів» не спрямовані на Землю.

6 Чорні діри

Чорні діри (рис. 14.9) утворюються на останній стадії еволюції зір із масою більшою ніж $3M_{\odot}$. Така дивна назва пов'язана з тим, що ці тіла мають бути невидимими, бо не випускають за свої межі світла. З іншого боку, такі об'єкти втягують все з навколишнього простору. Якщо космічний корабель потрапить на межу чорної діри, то вирватися з її поля тяжіння він не зможе, бо друга космічна швидкість біля її поверхні дорівнює швидкості світла $300\,000$ км/с. Якщо у формули (5.5) і (5.3) замість V_2 ввести швидкість світла, то отримаємо межу, до якої може стискатися зоря, поки друга космічна швидкість біля її поверхні не досягне швидкості світла:

$$R_0 = \frac{2GM}{c^2}, \quad (14.1)$$

де R_0 — граничне значення радіуса; G — гравітаційна стала; M — маса об'єкта; $c = 300\,000$ км/с — швидкість світла.

Чорна діра не випускає з поля тяжіння ні елементарних частинок, ні електромагнітні хвилі. Радіус чорної діри залежить від її маси, і може бути від кількох сантиметрів або метрів до мільярдів кілометрів

Із формули (14.1) можна визначити критичний радіус будь-якого космічного тіла з відомою масою. Наприклад, для Землі $R_0=1$ см, а для Сонця $R_0=3$ км — такий об'єкт не буде випускати з гравітаційного поля навіть квантів світла, тому він стає невидимим, і від нього ми не можемо отримати інформацію за допомогою електромагнітних хвиль. Подібних чорних дір, або своєрідних зоряних могил, у космосі може налічуватися навіть більше, ніж звичайних зір. Отримати інформацію про чорну діру можна за допомогою і гравітаційного поля, яке безслідно не може зникнути.

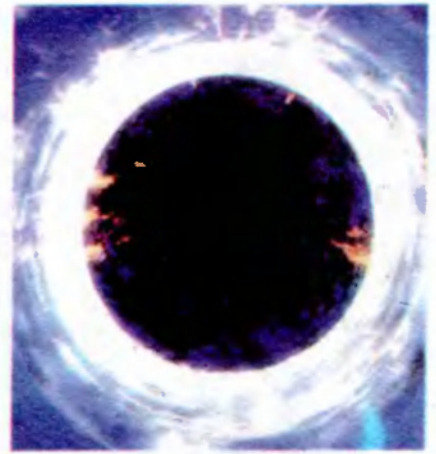


Рис. 14.9. Чорна діра



Для допитливих :

Уявіть собі, що космічний корабель наближується до чорної діри. Його швидкість має поступово зростати до швидкості світла. Але згідно з теорією відносності швидкість матеріального тіла, маса спокою якого відрізняється від нуля, ніколи не досягне швидкості світла. Тобто за земним годинником уявний космічний корабель ніколи не долетить до межі чорної діри, бо час для космонавтів на борту корабля буде сповільнюватися. Якщо космонавти будуть підтримувати зв'язок із Землею за допомогою радіо, то сповільнення часу проявиться у тому, що сигнали з корабля будуть надходити все рідше і рідше. З іншого боку, космонавти на космічному кораблі спостерігатимуть зовсім інший плин часу — сигнали від землян будуть надходити все частіше і частіше. Тобто космонавти на кораблі, який падає у чорну діру, могли б побачити далеке майбутнє нашого світу, але вони не зможуть передати нам інформацію про наше майбутнє, бо сигнал через межу чорної діри ніколи не досягне Землі...

7

Еволюція Сонця

Теоретичні розрахунки показують, що такі зорі, як Сонце, ніколи не стануть чорними дірами, бо вони мають недостатню масу для гравітаційного стиснення до критичного радіуса. У стані гравітаційної рівноваги Сонце може світити 10^{10} років, але ми не можемо точно визначити його вік, тобто скільки часу пройшло від його утворення. Правда, за допомогою радіоактивного розпаду важких хімічних елементів можна визначити приблизний вік Землі — 4,5 млрд років (рис. 14.10), але Сонце могло утворитися раніше, ніж сформувалися планети. Якщо все таки зорі й планети формуються одночасно, то Сонце може світити в майбутньому ще 5 млрд років. Після того як у ядрі весь Гідроген перетвориться на Гелій (див. § 12), порушиться рівновага в надрах Сонця, і воно може перетворитись на змінну пульсуючу зорю — цефеїду. Потім через нестабільність радіус Сонця почне збільшуватись, а температура фотосфери знизиться до 4000 К — Сонце перетвориться на червоного гіганта. На небосхилі Землі буде світити велетенська червона куля,



Рис. 14.10. Сонячна система утворилася 5 млрд років тому з величезної газопилової хмари

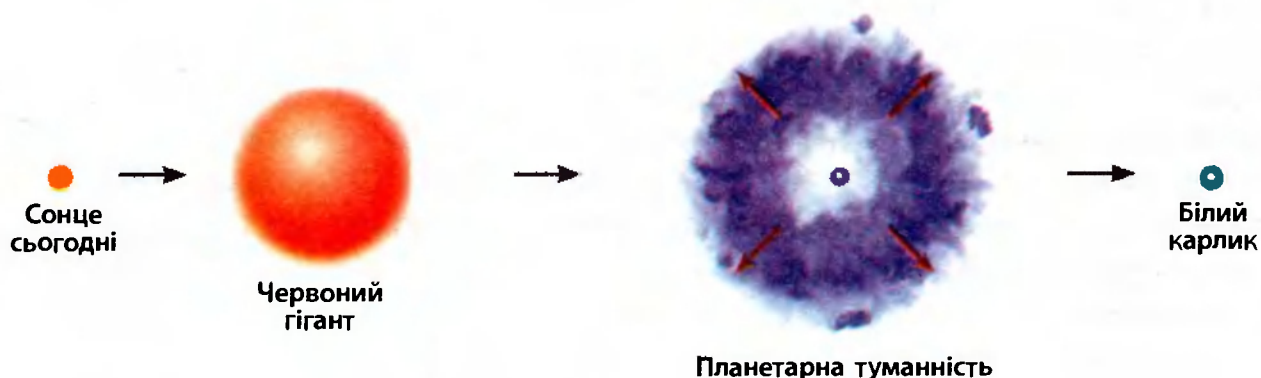
Рис. 14.11. Еволюція Сонця в майбутньому. Сонце може світити ще 5 млрд років. Потім воно перетвориться на червоного гіганта, який спалить усі живі істоти на Землі

кутовий діаметр якої збільшиться в 10 разів у порівнянні із сучасним Сонцем і буде сягати 5° . Блакитного неба на Землі не стане, бо світність майбутнього Сонця зросте в десятки разів, а температура на поверхні нашої планети буде більшою ніж 1000 К. Википлять океани, і Земля перетвориться на страшну гарячу пустелю, чимось схожу на сучасну Венеру. У Сонячній системі така температура, яка зараз на Землі, буде тільки на околицях — на супутниках Сатурна та Урана. У стадії червоного гіганта Сонце буде світити приблизно 100 млн років, після чого верхня оболонка відірветься від ядра й почне розширюватись у міжзоряний простір у вигляді планетарної туманності (рис. 14.11). При розширенні напевно випаруються всі планети земної групи, і на місці Сонця залишиться білий карлик — маленьке гаряче ядро, у якому колись протікали термоядерні реакції. Радіус білого карлика буде не більшим, ніж у Землі, але густина сягатиме 10^{10} кг/м³. Білий карлик не має джерел енергії, тому температура його поверхні поступово знизиться, і остання стадія еволюції нашого Сонця — холодний чорний карлик.



Для допитливих

Сонячна система утворилася 5 млрд років тому з велетенської хмари газу і пилу. А раніше замість цієї хмари існувала зоря, яка вибухнула як Наднова. Тобто наше Сонце належить уже до другого (а можливо й третього) покоління зір, що мають багато важких хімічних елементів, з яких утворилися планети земної групи.



Висновки

У космосі постійно відбуваються народження молодих зір із газопилових туманностей та вибухи старих, коли утворюються нові туманності. Сонячна система утворилася близько 5 млрд років тому з велетенської газопилової хмари, яка

виникла на місці вибуху старої зорі. У стані рівноваги Сонце буде світити ще кілька мільярдів років, а потім перетвориться на червоного гіганта, який знищить усе живе на Землі...



Тести

1. Які із цих зір світять довше за всіх?
А. Гіганти спектрального класу *O*. **Б.** Білі зорі спектрального класу *A*. **В.** Сонце.
Г. Червоні гіганти спектрального класу *M*. **Д.** Червоні карлики спектрального класу *M*.
2. Зорі якого спектрального класу мають найкоротше життя?
А. *A*. **Б.** *B*. **В.** *F*. **Г.** *G*. **Д.** *K*. **Е.** *M*.
3. Який космічний об'єкт називають пульсаром?
А. Червоний гігант. **Б.** Нейтронну зорю. **В.** Білий карлик. **Г.** Пульсуючу зорю.
Д. Червоний карлик.
4. Термін «нова зоря» означає:
А. У космосі утворилася молода зоря. **Б.** Вибухнула стара зоря. **В.** Періодично збільшується яскравість зорі. **Г.** Відбуваються зіткнення зір. **Д.** Космічні катастрофи з невідомим джерелом енергії.
5. У майбутньому Сонце може перетворитись:
А. На чорну діру. **Б.** На нейтронну зорю. **В.** На пульсар. **Г.** На червоного гіганта. **Д.** На червоного карлика. **Е.** На білого карлика.
6. Коли параметри зорі залишаються сталими?
7. Які зорі світять найдовше?
8. Скільки часу може світити Сонце у стані рівноваги?
9. Як гинуть зорі великої маси?
10. Чи може зоря червоний карлик перетворитись на білого карлика?
11. Чому пульсари періодично змінюють інтенсивність випромінювання?
12. Визначте густину зорі білого карлика, який має діаметр 1000 км, а його маса дорівнює 10^{30} кг.
13. Визначте густину зорі Бетельгейзе, якщо її радіус у 400 разів більший від радіуса Сонця, а маса приблизно дорівнює масі Сонця.



Диспути на запропоновані теми

14. Як на вашу думку, чи зможе вижити в Сонячній системі наша цивілізація, якщо Сонце в майбутньому перетвориться на червоного гіганта?



Завдання для спостережень

15. Відшукайте на небі Велику туманність у сузір'ї Оріон і визначте, о котрій годині вона сходить, заходить і кульмінує.
16. Відшукайте на небі яскраві зорі, які видно у вечірній час, і порівняйте їх із Сонцем.



Ключові поняття і терміни:

Змінна зоря, коричневий карлик, круговорот речовини, наднова зоря, нейтронна зоря, нова зоря, протозоря, планетарна туманність, пульсар, цефеїда, чорна діра.

§ 15. Будова Всесвіту

Вивчивши цей параграф, ми:

- довідаємося про будову Галактики — зоряної системи, де ми перебуваємо;
- побачимо інші галактики такими, якими вони були 10 млрд років тому;
- дізнаємося, чи має Всесвіт якусь межу в просторі.

1

Будова Галактики

Зорі в Галактиці утворюють певні системи, які тривалий час існують у спільному гравітаційному полі. Більшість зір рухається

у подвійних та кратних системах, у яких компоненти обертаються навколо спільного центра мас подібно до обертання планет Сонячної системи. Найчисельніші системи об'єднання зір налічують сотні тисяч об'єктів — це зоряні скупчення та асоціації. *Кулясті зоряні скупчення* складаються з мільйонів зір (рис. 15.1). *Розсіяні зоряні скупчення* мають кілька тисяч об'єктів (найяскравіші з них *Плеяди (Стожари)* (рис. 14.2) та *Гіади* видно неозброєним оком у сузір'ї *Тельця*). У зоряні асоціації входять відносно молоді зорі, які мають спільне походження.

Галактику часто зображують як зоряну систему у вигляді велетенського млинця, у якому зорі рухаються в одній площині. Насправді Галактика має сферичну форму з діаметром майже 300 000 св. років, але більшість зір великої світності розміщуються приблизно в одній площині, тому їх видно на небі як туманну світлу смугу, яку в Україні називають *Чумацький Шлях*. Назва *Галактика* прийшла з Давньої Греції і в перекладі означає *Молочний Шлях* (див. §1). Зверніть увагу, що всі яскраві зорі (сузір'я *Оріон, Лебідь, Ліра, Орел*) розташовуються у смузі Молочного Шляху. У цій площині розташовується значна частина газопилових туманностей (рис. 15.2), з яких утворюються нові покоління зір і планет. Усі ці об'єкти формують так звану *плоску складову Галактики*, до якої входить і Сонячна система (рис. 15.3).

Старі зорі малої світності, які входять у кулясті скупчення, належать до *сферичної складової Галактики*. За хімічним складом

Наша Галактика

Кількість зір	$4 \cdot 10^{11}$
Маса	$7 \cdot 10^{11} M_{\odot}$
Діаметр диска, 3 $\cdot 10^5$ св. років:	
Відстань Сонця до центра	30 000 св. років
Галактичний рік	$2,5 \cdot 10^8$ років

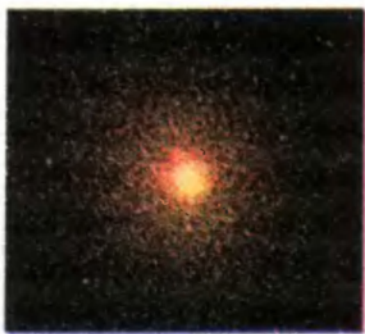


Рис. 15.1. Кулясте зоряне скупчення M13 у сузір'ї *Геркулес*: відстань — 16 000 св. років, діаметр — 75 св. років, кількість зір — 10^6



Рис. 15.2. Газопилова туманність Трифід у сузір'ї Стрільця



Рис. 15.3. Будова Галактики. У площині Галактики існують газопилові туманності, у яких народжуються молоді зорі та планетні системи

зорі кулястих скупчень містять у сотні разів менше важких хімічних елементів, ніж Сонце, бо це зорі першого покоління, які сформувалися разом з утворенням Галактики ще 10—15 млрд років тому. Зародження молодих зір і планетних систем зараз відбувається тільки у площині Галактики, де газопилові туманності утворюються після вибуху Нових та Наднових зір.

2 Центр Галактики

Центр Галактики розташований у напрямку сузір'я Стрільця, але ця область захована від нас величезними хмарами пилу, який поглинає випромінювання у видимій частині спектра (рис. 15.4). У центрі Галактики розміщене ядро діаметром 1000—2000 пк. Існує гіпотеза, що у ядрі Галактики розташовується чорна діра з масою у мільйони разів більшою, ніж маса Сонця. У центрі Галактики, поблизу ядра, існує своєрідна опуклість — округлий виступ, де концентруються зорі й хмари гарячого газу, які розміщуються від нас на відстані майже 10000 пк. Ці хмари оточують центр Галактики щільним покривалом, тому за допомогою оптичних телескопів ми не можемо безпосередньо спостерігати її ядро. Тільки за допомогою радіотелескопів та телескопів інфрачервоного і рентгенівського діапазонів зареєстровано інтенсивне випромінювання центра (ядра) Галактики.

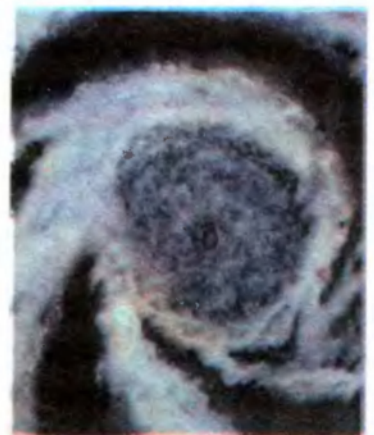


Рис. 15.4. Центр Галактики, який видно в напрямку сузір'я Стрільця

3

Обертання зір у Галактиці

Сонце розташоване поблизу площини Галактики на відстані 25 000 св. років від її ядра. Вектор швидкості Сонця відносно найближчих зір спрямований до сузір'я *Геркулес*. Разом з усіма сусідніми зорями Сонце обертається навколо ядра Галактики зі швидкістю 250 км/с. Період обертання Сонця навколо ядра називається *галактичним роком*, який дорівнює 250 000 000 земних років. Аналіз швидкості обертання зір свідчить про суттєву відміну між поведінкою об'єктів у *сферичній* та *плоскій складових* Галактики. Якщо зорі плоскої складової обертаються навколо центра Галактики поблизу однієї площини, то зорі сферичної складової об'єднані у величезні *кулясті скупчення*, що обертаються навколо центра по витягнутих орбітах у різних площинах. До того ж, період обертання цих скупчень показує, що значна маса Галактики розподілена саме у сферичній складовій. Це можуть бути об'єкти малої маси, які не випромінюють енергію у видимій частині спектра, або чорні діри малої маси (рис. 15.5).

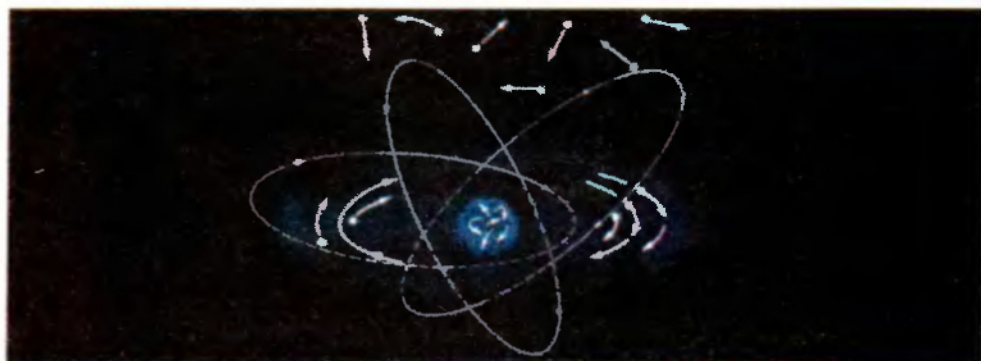


Рис. 15.5. Обертання зір у Галактиці

Однією з таємниць Галактики є так звані *спіральні рукави*, які зароджуються десь біля її центра. Сонце розташовується на периферії одного з таких рукавів, що закручений у площині галактичного диска. Астрономи вважають, що спіральні рукави виникають як спіральні хвилі густини, які створюються під час стиснення хмар міжзоряного газу на початковому етапі формування зір

Галактичний рік — період обертання Сонця навколо ядра Галактики. Триває 250 млн земних років

Спіральні рукави виникають у деяких галактиках як дивні хвилі густини, де формуються нові покоління зір

(див. § 14). У свою чергу, при виникненні зір у міжзоряних хмарах газу та пилу виникають ударні хвилі, що призводить до утворення молодих зір. Коли масивні зорі спалахують як Наднові, то теж утворюються нові туманності, й нові ударні хвилі поширюються у міжзоряному просторі. Тобто формування однієї групи зір забезпечує створення механізму для утворення нового покоління зір. Цей процес інколи називають *формуванням зір за допомогою саморозмноження*. Такий перебіг подій може формувати спіральні хвилі густини не тільки в нашій Галактиці, але й в інших спіральних галактиках.

4 Найближчі сусіди Галактики

Спостерігаючи інші галактики, астрономи звернули увагу на те, що не всі вони мають спіральну структуру. За зовнішнім виглядом існують три типи галактик — *спіральні*, *еліптичні* та *неправильні*. Наша Галактика, так само як і галактика в сузір'ї Андромеди *M31*, належить до спіральних. Вони мають схожий вигляд, майже однакові розміри і приблизно однакову кількість зір. Галактика *M31* розташована на відстані 2 млн св. років від Землі — це найдавший об'єкт у Всесвіті, який ще можна спостерігати неозброєним оком (рис. 15.6). Найближчі до нас галактики, Велику та Малу Магелланові Хмари (ВМХ, ММХ), можна побачити на небі Південної півкулі.

Найближчі галактики

Назва	Відстань, св. рік	Видима зоряна величина
ВМХ	$1,6 \cdot 10^5$	+0,6 ^m
ММХ	$1,8 \cdot 10^5$	+2,8 ^m
М 31	$2,3 \cdot 10^6$	+4,3 ^m
М 32	$2 \cdot 10^6$	+9,1 ^m
М 33	$2 \cdot 10^6$	+6,2 ^m



Рис. 15.6. Галактику *M31* у сузір'ї Андромеди видно неозброєним оком — вона розташовується на відстані 2,3 млн св. років

У спіральних рукавах галактик зараз відбувається інтенсивне народження молодих зір та формування планетних систем, у той час як в еліптичних галактиках більше старих жовтих та червоних зір. Можливо, що в еліптичних галактиках процес утворення зір уже закінчився.

5 Розподіл галактик у Всесвіті

Спостерігаючи гравітаційну взаємодію планет і зір, астрономи звернули увагу на своєрідну ієрархічну структуру руху космічних тіл:

1. *Планети та їхні супутники*, що обертаються навколо своєї зорі.
2. *Зоряні скупчення*, які налічують тисячі й навіть мільйони об'єктів.
3. *Галактики* об'єднують у спільне гравітаційне поле сотні мільярдів зір, які обертаються навколо одного ядра.
4. *Скупчення галактик*, які налічують мільйони об'єктів.

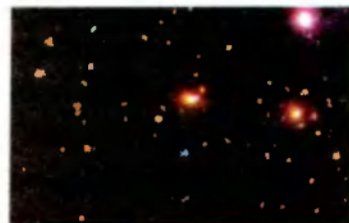


Рис. 15.7. Скупчення галактик у сузір'ї Волосся Вероніки

Велика стіна

Величезні скупчення галактик у напрямку сузір'їв Діви і Волосся Вероніки

Наша Галактика й галактика *M31* входять до *Місцевої групи* галактик. Найбільші скупчення галактик спостерігаються у сузір'ях *Діви* та *Волосся Вероніки* (рис. 15.7). У цьому напрямку астрономи відкрили своєрідну *Велику стіну*, де на відстані 500 млн св. років виявляється значне збільшення кількості галактик у порівнянні з іншими напрямками.

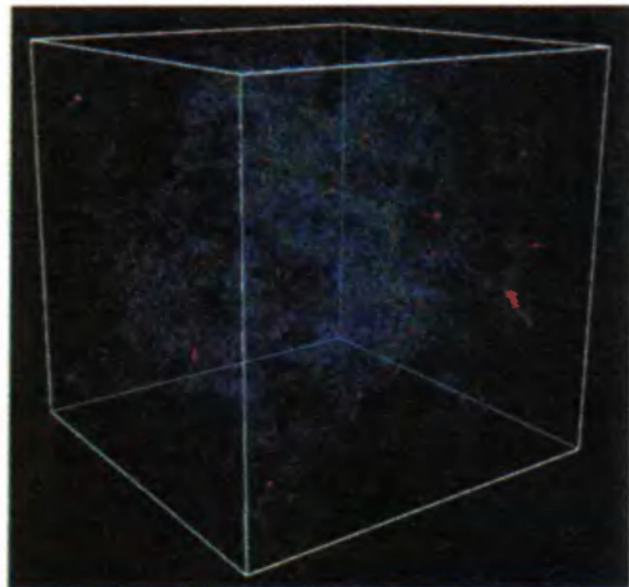
Окремі галактики взаємодіють між собою, навіть відбуваються їхні зіткнення, коли одна галактика поглинає іншу,— спостерігається своєрідний *галактичний «канібалізм»* (рис. 15.8). На останній, четвертій, ступені ієрархічної структури скупчення галактик майже не взаємодіють між собою, тому не виявлено якогось спільного центра, навколо якого могли б обертатися мільйони галактик.

Ще однією характерною рисою розподілу галактик у просторі є те, що вони розміщені у Всесвіті у великому масштабі не хаотично, а утворюють дуже дивні структури, які нагадують величезні сітки з волокон. Ці волокна оточують гігантські, відносно пусті області — *порожнечі*. Деякі порожнечі мають діаметр 300 млн св. років — на сьогодні це найбільші відомі утворення у Всесвіті. Імовірнішим поясненням цієї волокнистої структури Всесвіту є те, що галактики у просторі розташовані на поверхні величезних бульбашок, а порожнечі є їхньою внутрішньою областю. З поверхні Землі нам тільки здається, що галактики розташовані подібно до намиста, яке нанизане на волокнах, бо ми їх бачимо на обідках величезних космічних бульбашок (рис. 15.9). Найбільшим із таких космічних волокон у структурі галактик і є Велика Стіна завдовжки 600 млн св. років і завширшки 200 млн св. років. Просторова модель Всесвіту нагадує шматок пемзи, який у цілому має однорідну структуру, але окремі об'єкти мають порожнини.

Рис. 15.8. Зіткнення галактик



Рис. 15.9. Волокниста структура Всесвіту. Галактики розташовані на поверхні величезних бульбашок, а ми їх бачимо у вигляді намиста



6 Закон Габбла

У 1929 р. американський астроном *Е. Габбл* досліджував спектри галактик і звернув увагу на те, що лінії поглинання у всіх спектрах зміщені в червоний бік. Згідно з ефектом Доплера, це свідчить про те, що всі галактики від нас віддаляються. Крім того, за допомогою величини зміщення спектральних ліній можна визначити швидкість, з якою галактики віддаляються. Виявилось, що швидкість, з якою «тікають» від нас інші галактики, збільшується прямо пропорційно відстані до цих галактик (*закон Габбла*): $V = Hr$, де V — швидкість галактики, H — стала Габбла, r — відстань до галактики в мегапарсеках. За останніми вимірами $H \approx 70$ км/(с·Мпк).

Розлітання галактик — дивний процес розширення Всесвіту, який супроводжується збільшенням відстаней між галактиками

Стала Габбла
 $H \approx 70$ км/(с·Мпк)
 Швидкість розлітання галактик збільшується на 70 км/с на кожний мільйон парсеків



Для допитливих

Згідно із законом Габбла, якщо відоме зміщення спектральних ліній, то можна визначити швидкість галактики, а отже, і відстань до неї. Найвіддаленіший об'єкт, який удалося зареєструвати, розташований на відстані 14 млрд св. років і має швидкість 280 000 км/с. Тобто ми його бачимо в той час, коли ще не було не тільки нашої Землі та Сонця, але не існувало навіть нашої Галактики. На перший погляд здається, що наша Галактика розташовується в центрі цього розширення, але виявляється, що ніякого центра у Всесвіті не існує. Мешканець будь-якої іншої галактики буде спостерігати таке саме розширення, тому він може вважати, що його галактика теж розташована в центрі Всесвіту.

7 Моделі Всесвіту

Для побудови моделі Всесвіту необхідно дати відповідь на таке запитання: «Чи має Всесвіт якусь межу у просторі?». Нескінченний і безмежний у просторі та часі Всесвіт привертає до себе увагу тим, що він не має країв і містить нескінченну кількість зір та галактик. Але в такому вічному та безмежному Всесвіті виникають суперечності, які в астрономії називають космологічними парадоксами. Існують три космологічні парадокси: *фотометричний*, *гравітаційний* та «теплої смерті» Всесвіту.

Космологічні парадокси — суперечності, які виникають у вічному та безмежному Всесвіті

Ми розглянемо тільки *фотометричний парадокс*, який був сформульований у 1744 р. швейцарським астрономом Ж. Шезо та доповнений німецьким астрономом І. Ольберсом у 1826 р. Коротко суть цього парадокса можна виразити в такому запитанні: «Якщо Всесвіт нескінченний, то чому вночі темно?». Здається, що на це запитання зможе відповісти кожний учень, адже зміну дня і ночі



Рис. 15.10. Коло може служити моделлю безмежного одновимірного світу, який має скінченну довжину. У такому просторі можна зробити навколосвітню мандрівку й повернутися на місце старту



Рис. 15.11. Сфера може бути моделлю двовимірного безмежного світу, який має скінченну площу. У такому просторі теж можна здійснити кругосвітню подорож — так Магеллан довів, що поверхня Землі не має межі

вивчають у початковій школі. Але треба пам'ятати: над нічною поверхнею Землі світить безліч зір безмежного Всесвіту, які випромінюють нескінченну кількість енергії, тому освітлення від зір і галактик має бути не меншим за освітлення, яке створює Сонце. Але з власного досвіду ми бачимо, що вночі небо набагато темніше, ніж удень. Математики запропонували таку модель Всесвіту, у якій можна спростувати фотометричний парадокс. *Всесвіт може бути безмежним, але скінченним.* В одновимірному просторі такий *безмежний скінченний світ* — це звичайне коло або будь-яка інша замкнена крива (рис. 15.10). *Зачинений двовимірний простір* — *поверхня сфери*, яка не має межі, але площа поверхні сфери є скінченною величиною (рис. 15.11).

Ми живемо у тривимірному просторі, і важко уявити собі такий закритий Всесвіт, який не має межі, але має скінченний об'єм і, отже, обмежену кількість зір і галактик. У такому Всесвіті немає центра, всі точки в ньому рівноправні й у всіх напрямках простір однорідний. На практиці важко перевірити, у якому просторі мешкають якісь істоти, і дізнатися, чи є простір скінченним. Якщо простір закритий, то мандрівник, подорожуючи в одному напрямку, може зробити кругосвітню мандрівку й повернутися в точку старту. В історії *земної цивілізації* першу таку подорож здійснив Магеллан (1480—1521), який довів, що поверхня Землі є закритим двовимірним простором.

У тривимірному Всесвіті космонавти ніколи не зможуть завершити таку навколосвітню мандрівку, тому перевірку можна зробити тільки за допомогою теоретичних міркувань, які ми розглянемо в наступному параграфі.



Висновки

Всесвіт має складну комірчасту структуру, у якій відбувається гравітаційна взаємодія всіх космічних тіл. Навколо зір обертаються інші зорі й планети. Крім того, зорі утворюють величезні скупчення, які налічують сотні тисяч і мільйони об'єктів. У спільному полі тяжіння галактик розташовуються уже сотні мільярдів зір, які обертаються навколо спільного центра. Галактики теж утворюють окремі скупчення, які розміщені у великому масштабі не хаотично, а утворюють дуже дивні структури, що нагадують величезні сітки з волокон. Ми живемо у Всесвіті, який розширюється у безмежному просторі.



Тести

- Слово *галактика* в перекладі з грецької мови означає:
А. Чумацький Шлях. **Б.** Сріблястий шлях. **В.** Чорний шлях. **Г.** Велика дорога.
Д. Молочний Шлях.
- Що розташоване в центрі Галактики?
А. Зоряне скупчення. **Б.** Чорна діра. **В.** Червоний гігант. **Г.** Білий карлик.
Д. Чорна хмара.
- Галактичний рік визначає:
А. Період обертання Галактики навколо осі. **Б.** Період обертання Сонця навколо центра Галактики. **В.** Відстань, яку пролітає світло до галактики в Андромеді. **Г.** Період обертання Галактики навколо центра світу. **Д.** Період обертання зір сферичної складової навколо центра Галактики.
- Термін *Велика стіна* в астрономії означає:
А. Зародження нових зір і планетних систем. **Б.** Величезне скупчення галактик у напрямку сузір'їв Діви і Волосся Вероніки. **В.** Оборонні споруди, які створили галактичні цивілізації. **Г.** Скупчення газу і пилу в міжгалактичному просторі. **Д.** Скупчення невідомої темної речовини, яка поглинає світло далеких галактик.
- Згідно із законом Габбла, всі галактики розлітаються в різних напрямках. Що розташоване у центрі цього розширення?
А. Земля. **Б.** Наша Галактика. **В.** Галактика М31 у сузір'ї Андромеди. **Г.** Скупчення галактик у сузір'ї Діви. **Д.** Центра не існує, бо в безмежному Всесвіті відсутні центр та околиці.
- Які зорі входять у плоску складову Галактики?
- Які структури мають галактики?
- Як за допомогою закону Габбла можна виміряти відстань до галактик?
- Чи можуть відбуватися зіткнення галактик?
- Обчисліть, з якою швидкістю віддаляється від нас галактика, якщо світло від неї летить до Землі $4 \cdot 10^8$ р.



Диспути на запропоновані теми

- Спробуйте пояснити фотометричний парадокс безмежного і нескінченного Всесвіту (парадокс Ольберса): «Якщо Всесвіт нескінченний, то чому вночі темно?».



Завдання для спостережень

- Визначте, через які сузір'я проходить Молочний Шлях.
- Відшукайте, у якому напрямку розташований центр Галактики. Коли сходить і заходить центр Галактики на день вашого народження?
- Знайдіть на небі Туманність Андромеди (галактику у сузір'ї Андромеди). У яку пору року цю галактику видно всю ніч?



Ключові поняття і терміни:

Велика Стіна, галактичне ядро, галактичний рік, зоряні скупчення, розлітання галактик, спіральні галактики, стала Габбла.

§ 16. Еволюція Всесвіту

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося про Великий Вибух, з якого почалося розширення Всесвіту;
- побачимо, чи можуть існувати паралельні світи;
- довідаємося про можливі сценарії еволюції Всесвіту в майбутньому.

1

Великий Вибух та вік Всесвіту

Астрономічні дослідження, що проводились у ХХ ст., допомогли астрономам збагнути розлітання галактик, яке свідчить про те, що сам Всесвіт не залишається сталим у часі — він змінює свої параметри. Якщо відстань між галактиками зараз збільшується, то раніше вони розташовувались ближче одна до одної. За допомогою сталої Габбла можна підрахувати, коли всі галактики до початку розширення могли перебувати в одній точці. Моментом початку розширення Всесвіту є *Великий Вибух*, який пов'язаний із віком T Всесвіту: $T=1/H$.

За сучасними даними стала Габбла $H \approx 70$ км/(с·Мпк), тобто Великий Вибух міг відбутися приблизно *15 млрд років тому*. Якщо врахувати, що вік нашої Галактики не може бути більшим за вік найстаріших кулястих зоряних скупчень, що існують уже понад 13 млрд років, то цю цифру можна також вважати за нижню межу віку нашого Всесвіту.

Великий Вибух — процес, що відбувся під час зародження Всесвіту, коли почалося загадкове розширення космічного простору й утворення елементарних частинок, атомів і великих тіл — планет, зір, галактик

На перший погляд здається, що для побудови теорії еволюції Всесвіту велике значення має визначення місця Великого Вибуху. Якби Великий Вибух був процесом, який нагадує вибух бомби, то можна було б визначити місце цієї події. Насправді розширення Всесвіту включає не тільки розлітання самих галактик відносно космічного простору, але й *зміну параметрів* самого Всесвіту. Іншими словами, галактики не летять відносно решти Всесвіту, бо сам Всесвіт теж розширюється. Таким чином, конкретного місця, де стався Великий Вибух, у Всесвіті не існує, так само, як немає центра, від якого віддаляються галактики.

2

Головні ери в історії Всесвіту

Всесвіт на початку існування мав настільки маленькі розміри, що тоді не було ні галактик, ні зір і навіть ще не існували елементарні частинки. Густина та температура новонародженого Всесвіту

досягали таких фантастичних значень, що вчені навіть не можуть визначити, у якому стані при цьому перебувала матерія. Цей початковий момент народження Всесвіту називають **сингулярністю** (від лат. — *єдиний*). Потім густина і температура Всесвіту почали знижуватись і стали утворюватися елементарні частинки, атоми і галактики.

Усю історію нашого Всесвіту можна розділити на чотири ери — *адронна, лептонна, випромінювання та речовини* (див. таблицю).

Сингулярність — початковий момент при зародженні Всесвіту, коли густина і температура матерії сягали надзвичайно великих значень

Ера Всесвіту	Вік Всесвіту, років	Фази еволюції	Температура, К	Густина, кг/м ³
Речовини	$1,5 \cdot 10^{10}$	Сучасна епоха	2,7	$5 \cdot 10^{-27}$
	$1,2 \cdot 10^{10}$	Виникнення на Землі життя		
	10^{10}	Формування Сонячної системи		
	$6 \cdot 10^9$	Утворення перших зір		
	$5 \cdot 10^9$	Утворення нашої Галактики		10^{-26}
	10^9	Квасари		
	$3 \cdot 10^8$	Поява хмар водню та гелію		
	10^8	Утворюються атоми Гідрогену та Гелію		10^{-13}
	$3 \cdot 10^5$	Формування речовини. Всесвіт стає нейтральним і темним	3	10^{-10}
Випромінювання	300 с	Кінець ери випромінювання	10	
	10 с	Утворюються ядра Дейтерію та Гелію	10^4	10^{16}
Лептонна	10^{-4} с	Електрони і позитрони в стані теплової рівноваги з випромінюванням	10^{10}	
Адронна	10^{-7} с	Розділення електромагнітної та слабкої взаємодії	10^{15}	
	10^{-10} с	Утворення нейтронів і протонів	10^{27}	
	10^{-32} с	Відділення сильної взаємодії		
	10^{-43} с	Відділення сил гравітації	10^{32}	10^{95}
Сингулярність	0	Усі чотири фундаментальні сили об'єднані в єдину. Розміри Всесвіту наближуються до нуля		



Для допитливих

Із філософської точки зору між елементарними частинками та електромагнітними хвилями немає суттєвої різниці, бо все суще в природі є матерією. Але з фізичної точки зору принципова різниця між цими видами матерії полягає в тому, що швидкість елементарних частинок (електронів, протонів, нейтронів), з яких утворені зорі, планети і, нарешті, ми з вами, ніколи не може досягти швидкості світла, у той час як кванти електромагнітних хвиль ніколи не можуть мати швидкість меншу, ніж швидкість світла.

3 Реліктове фонове випромінювання

Ті кванти електромагнітного випромінювання, що відірвалися від елементарних частинок в еру випромінювання, доходять до нас з усіх боків і відповідають електромагнітному випромінюванню чорного тіла з температурою 2,7 К (рис. 16.1). На початку існування кванти мали велику енергію, тому випромінювання відбувалося у високочастотній частині спектра електромагнітних хвиль у *гамма-діапазоні*. Із часом гамма-кванти втрачали енергію, тому довжина електромагнітних хвиль збільшувалася, і через 10^5 років після Великого Вибуху максимум випромінювання припадав уже на видиму частину спектра — тоді *молодий Всесвіт* справді мав вигляд яскравої вогняної кулі й був подібний до вибуху ядерної бомби. Через 10 млн років максимум випромінювання вже розташовувався в *інфрачервоній* частині спектра, а через 14 млрд років середня температура Всесвіту зменшилася до 2,7 К, тому за-

Реліктове випромінювання — кванти світла, що утворилися 15 млрд років тому. Вони відділилися від елементарних частинок і почали самостійне поширення у Всесвіті. За допомогою цього випромінювання виміряли середню температуру Всесвіту 2,7 К

раз максимум випромінювання розташовується в *радіодіапазоні* на хвилі завдовжки 1 мм. Таке випромінювання надходить до Землі звідусіль, його інтенсивність і частота не залежать від напрямку, і це свідчить про те, що середня температура Всесвіту повсюди однакова. Цікаво, що передбачив існування гарячого раннього Всесвіту ще 60 років тому уродженець міста Одеси Г. Гамов (США), але зареєстрували ці реліктові електромагнітні хвилі тільки в 1965 р.

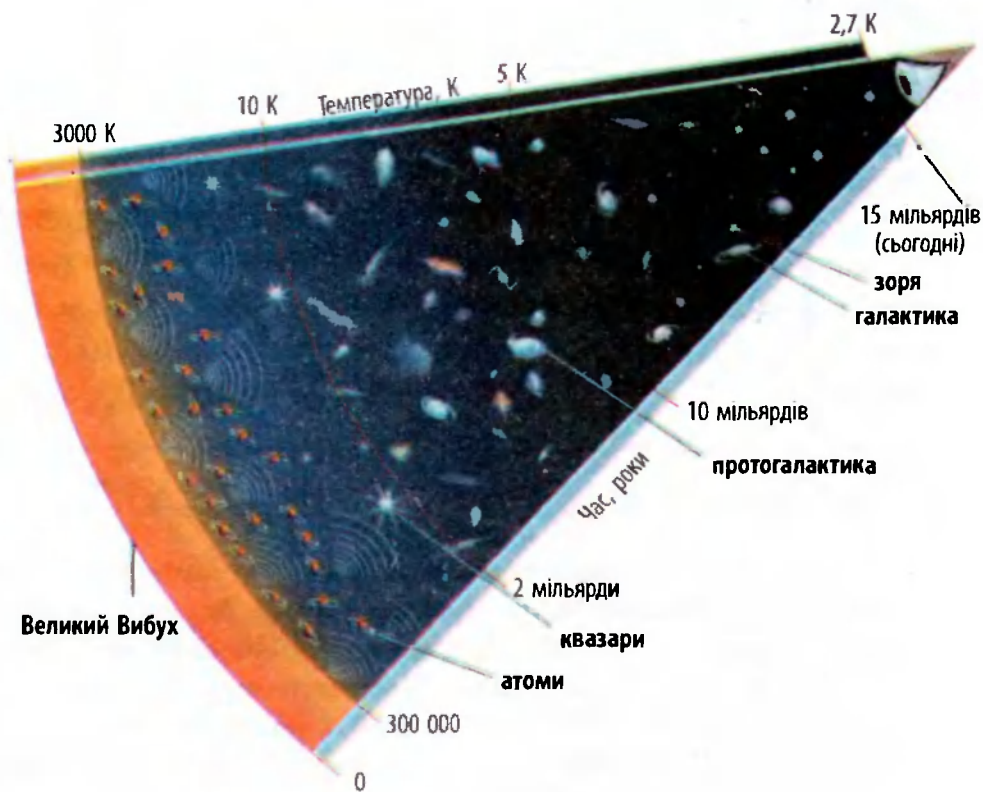


Рис. 16.1. Чим далі від Землі розміщується космічний об'єкт, тим молодшим ми його бачимо, бо світло від нього досягає поверхні Землі через мільярди років. На межі видимої частини Всесвіту з відстані 10 млрд св. років надходить випромінювання, яке утворилося за часів Великого Вибуху. На відстані 5 млрд св. років ми бачимо квазари, з яких пізніше формуються галактики

4 Майбутнє Всесвіту

Гравітаційна взаємодія речовини в майбутньому може зменшити швидкість розширення Всесвіту. Виявляється, якщо середня густина Всесвіту має критичне значення $5 \cdot 10^{-27}$ кг/м³, а стала Габбла $H \approx 70$ км/(с·Мпк), розширення може відбуватися вічно. Розрахунки показують, що майбутня доля нашого Всесвіту залежить від значення справжньої середньої густини щодо критичної густини ρ_0 . Можуть бути три сценарії майбутнього розвитку подій:

- 1) $\rho < \rho_0$; 2) $\rho > \rho_0$; 3) $\rho = \rho_0$.

Розгляньмо ці моделі можливої еволюції нашого світу:

1. Якщо середня густина Всесвіту $\rho < \rho_0$, то галактики будуть розлітатися вічно, і в майбутньому температура фонового випромінювання поступово буде знижуватись, наближуючись до абсолютного нуля, а максимум випромінювання з часом буде зміщуватись у сантиметровий і метровий діапазони електромагнітних хвиль (рис. 16.2). Такий Всесвіт називають відкритим, він не має межі у просторі й може існувати вічно, поступово перетворюючись на ніщо.

2. Якщо в космосі виявиться значна прихована маса і середня густина буде $\rho > \rho_0$, тоді розширення Всесвіту через деякий час припиниться. Такий Всесвіт називають закритим — він не має межі у просторі, але має *початок і кінець у часі* (рис. 16.3).

Через кілька мільярдів років розлітання галактик може зупинитися, а потім почнеться стиснення Всесвіту, бо гравітаційна сила змусить галактики зближуватись. Зближення галактик призведе до тра-

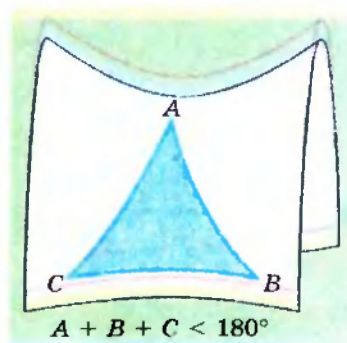


Рис. 16.2. У відкритому Всесвіті справедлива неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику менша від 180°

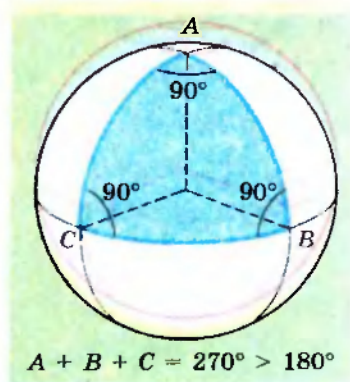


Рис. 16.3. Для закритого Всесвіту є правильною неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику більша за 180°



Рис. 16.4. Еволюція закритого Всесвіту. Такий світ збільшується до певних максимальних розмірів, після чого галактики почнуть зближуватись. Початок і кінець такого Всесвіту мають нескінченно велику температуру і густину

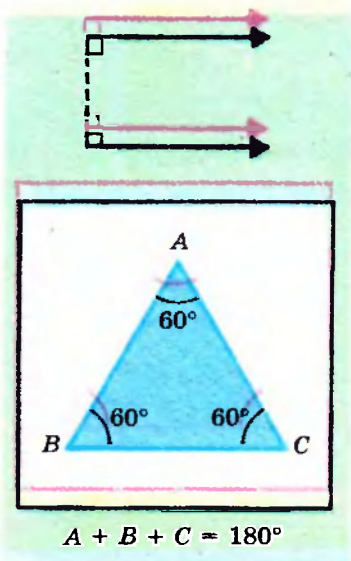


Рис. 16.5. У геометрії Евкліда паралельні прямі не перетинаються, а сума кутів у трикутнику дорівнює 180°

гічних наслідків для живих організмів, бо енергія фонового випромінювання і температура Всесвіту будуть зростати (рис. 16.4). Небо почне світитися спочатку червоним кольором, а потім стане синім. Температура зросте настільки, що всі живі істоти загинуть, потім зникнуть зорі, планети, елементарні частинки, і Всесвіт знову перетвориться на речовину з надзвичайно великою густиною.

3. Існує також імовірність того, що середня густина Всесвіту дорівнює критичній густині $\rho = \rho_0$. У цьому випадку безмежний та нескінченний Всесвіт має нульову кривизну, і для нього справедлива геометрія Евкліда (рис. 16.5). Галактики будуть розлітатися вічно, температура Всесвіту буде вічно наближуватися до абсолютного нуля... Цей сценарій еволюції цікавий ще й тим, що при ньому загальна енергія Всесвіту залишається рівною нулю: $E_k + E_n = 0$. Тобто якщо вважати потенціальну енергію тяжіння негативною, а кінетичну енергію руху — позитивною, то Всесвіт міг виникнути з нічого у фізичному вакуумі як дивовижне збурення, тому з часом він теж може перетворитися на ніщо.



Для допитливих

Сучасні спостереження підтверджують існування у Всесвіті прихованої маси (так звана темна матерія), яка зосереджена в тілах, що випромінюють незначну енергію у вигляді електромагнітних хвиль — чорні діри, пульсари, нейтринне випромінювання, гравітаційні хвилі тощо. Астрономи, які займаються проблемами космології, запропонували гіпотезу щодо існування нового класу елементарних частинок, яким дали таку умовну назву — *Слабко Взаємодіючі Масивні Частинки* (СВМЧ). Якщо ці гіпотези про приховану масу підтвердяться, то середня густина Всесвіту може бути більша за критичну, і майбутня еволюція Всесвіту відбуватиметься за сценарієм, який викладено у п. 2 (рис. 16.3, 16.4)). Такий Всесвіт нагадує казкову пtiцю Фенікс, яка періодично спалюється, а потім із попелу відроджується молодою.

Останні дослідження руху зір у галактиках підтверджують гіпотезу про існування класу елементарних частинок із прихованою масою, які отримали назву *темна матерія*. Крім того виявлено, що в міжгалактичному просторі існують сильні поля невідомої природи, які астрономи назвали *темна енергія*. Новітні гіпотези припускають, що в наш час за допомогою телескопів ми спостерігаємо тільки 5% матерії Всесвіту, а 95% припадає на загадкові поля темної енергії та темної матерії, яка не випромінює електромагнітні хвилі.



Висновки

Еволюція Всесвіту почалася з Великого Вибуху надзвичайно щільної матерії 13—20 млрд років тому, коли сталося загадкове розширення космічного простору. Про це свідчить розлітання галактик, яке триває до цього часу, і вміст Гелію (25%) та Гідрогену (75%) у речовині. Надзвичайно високу температуру молодого Всесвіту підтверджує реліктове електромагнітне випромінювання.

Майбутнє Всесвіту залежить від середньої густини речовини, яка взаємодіє згідно із законом всесвітнього тяжіння. Можливо, що Всесвіт є відкритим і нескінченним, і його розширення буде тривати вічно. Але якщо середня густина речовини у Всесвіті більша ніж деяка критична величина, то такий Всесвіт може періодично розширюватися, а потім стискатися.



Тести

- Що означає в астрономії термін *Великий Вибух*?
А. Вибух нової зорі. **Б.** Вибух ядра галактики. **В.** Зіткнення галактик. **Г.** Момент, коли почалося розширення космічного простору. **Д.** Момент, коли утворилися галактики.
- Коли стався Великий Вибух?
А. 10 років тому. **Б.** 2003 роки тому. **В.** 1 000 000 років до нашої ери. **Г.** 1 млрд років до нашої ери. **Д.** 15 000 000 000 років до нашої ери.
- Коли утворилася Сонячна система?
А. 6000 років до н. е. **Б.** 100 000 років до н. е. **В.** 1 000 000 років до н. е. **Г.** 5 млрд років до н. е. **Д.** 15 млрд років до н. е.
- У якому місці космосу стався Великий Вибух?
А. У центрі Всесвіту. **Б.** У ядрі нашої Галактики. **В.** У скупченні галактик у сузір'ї Діви. **Г.** Скрізь, бо галактики не летять відносно решти Всесвіту, адже сам простір теж розширюється. **Д.** В іншому вимірі за межами нашого Всесвіту.
- Чому дорівнює середня температура Всесвіту?
А. 0°C. **Б.** 0 К. **В.** -270°C. **Г.** 2,7 К. **Д.** -300°C. **Е.** 300 К.
- Яка доля закритого Всесвіту?
- Що чекає в майбутньому відкритий Всесвіт?
- З якої події почалося розширення Всесвіту?
- Про що свідчить реліктове випромінювання Всесвіту?
- Галактика перебуває на відстані 100 млн пк. Обчисліть, скільки років летить світло від неї до Землі.
- З якою швидкістю віддаляється від нас галактика, яка розташовується на відстані 10^9 св. років від Землі?



Завдання для спостережень

- Чи можна за допомогою шкільного телескопа побачити, що галактики від нас віддаляються?



Ключові поняття і терміни:

Великий Вибух, відкритий Всесвіт, закритий Всесвіт, паралельні світи, пульсуючий Всесвіт, реліктове фонове випромінювання, сингулярність.

§ 17. Життя у Всесвіті

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося про те, чому у Всесвіті з'являються живі істоти, які хочуть збагнути сенс свого існування;
- з'ясуємо, чи можуть існувати цивілізації за межами Сонячної системи;
- довідаємося, як можна обмінюватись інформацією з інопланетними цивілізаціями.

1 Антропний принцип

Життя є однією з великих таємниць Всесвіту. Ми бачимо на Землі різноманітні живі організми, але нічого не знаємо про інші

форми життя на чужих планетах. Усі живі істоти народжують дітей, а потім рано чи пізно вмирають, тобто перетворюються на неживу матерію. Але на Землі ще ніхто не спостерігав безпосереднє зародження живих біологічних клітин із неживих хімічних сполук. Із цього приводу англійський біолог Ф. Крік висловився так: «Ми не бачимо шляху від первісного бульйону до природного відбору. Можна дійти висновку, що походження життя — чудо, але це свідчить лише про наше незнання».

Астрономічні спостереження показують, що параметри орбіти Землі, її маса, радіус і хімічний склад найбільш сприятливі для існування життя. Для цього також потрібне стабільне Сонце, яке протягом кількох мільярдів років майже не змінювало своєї світності. Навіть розширення Всесвіту теж сприяє існуванню життя, бо у фазі стиснення смертельне короткохвильове фонове випромінювання могло б знищити все живе (див. § 16). Виникає таке враження, що все суще в космосі існує для того, щоб на Землі жили розумні люди. Таким чином була сформульована філософська основа космології — антропний принцип (від грец. антропос — *людина*): «Ми спостерігаємо Всесвіт таким, яким ми його бачимо, бо ми існуємо». Тобто, може десь у космосі існують світи з іншими параметрами, але там немає розумних істот, які могли б описати своє буття і передати цю інформацію з минулого в майбутнє.

«Вважати Землю єдиним заселеним світом було б так само безглуздо, як стверджувати, що на величезному засіяному полі міг би вирости лише один колосок»

*Митридор
(III ст. до н. е.)*

Антропний принцип. Ми спостерігаємо Всесвіт таким, яким ми його бачимо, бо ми існуємо

Відкрита система обмінюється з навколишнім середовищем енергією та інформацією

2 Життя як відкрита система, яка зберігає та передає інформацію з минулого в майбутнє

Загальні характеристики живих істот можна описати за допомогою деяких термінів теорії складних систем, поведінку та еволюцію яких вивчає нова наука *синергетика*. Усі живі істоти за допомогою генів створюють величезний об'єм інформації, яка зберігається і передається нащадкам (рис. 17.1). Об'єм інформації, який зберігає тільки одна клітина живого організму, оцінюється в 10^{22} — 10^{23} біт. Для порівняння нагадаємо, що об'єм інформації, яку зберігають сучасні комп'ютерні диски, у мільярди разів менший.

Біологічна еволюція живих організмів відбувається у напрямку збільшення об'єму інформації, який передається нащадкам. Наприклад, загальна маса усіх живих істот 100 млн років тому була не менша, ніж маса сучасних живих істот, але об'єм нової інформації, якою володіє наша цивілізація, у мільярди разів більший, ніж інформація, що зберігалася у велетенських тілах динозаврів.

Гігантський стрибок у збільшенні потоку інформації відбувся 100 000 років тому з появою розумної людини — *Homo sapiens*. Біологи доводять, що тоді на Землі паралельно існували два види розумних людей — *кроманьйонці* та *неандертальці*. Хоча неандертальці були фізично сильними та могутніми, але під час льодовикового періоду вони загинули. Вижили кроманьйонці, які навчилися не тільки добувати та зберігати вогонь, а й передавати свої знання нащадкам, тобто передавати інформацію з минулого в майбутнє не тільки за допомогою генів. Майже всі тварини для обміну інформацією користуються звуками, але тільки розумна людина для збереження інформації почала застосовувати різноманітні знаки і символи, які з часом перетворилися на писемність.

Завдяки комп'ютерам на сучасному етапі розвитку нашої цивілізації теж спостерігається значне збільшення потоку інформації, якою володіє людство. За допомогою АМС ми почали збирати інформацію на далеких планетах та приступили до безпосередніх пошуків позаземних форм життя.

Імовірність існування життя на інших тілах Сонячної системи досить мала (див. § 7—11), тому пошуки позаземних цивілізацій зараз ведуться поблизу інших зір. Недавно виявлено понад тисячу темних

Синергетика — наука, що вивчає закони та еволюцію складних систем

Живий організм — складна відкрита система з хімічних і біологічних сполук, яка має високу ступінь упорядкованості та зберігає величезний об'єм інформації про себе і навколишній світ

Об'єм інформації одної клітини живої істоти 10^{22} — 10^{23} біт, людини — 10^{25} біт



Рис. 17.1. Ланцюг ДНК, за допомогою якого записується і зберігається інформація про живий організм

супутників зір, що свідчить про існування інших планетних систем, де можуть бути досі невідомі цивілізації.

3 Проблеми контактів із позаземними цивілізаціями

Контакти між цивілізаціями перш за все означають обмін інформацією. Якщо у Всесвіті існують інші цивілізації і вони мають певний обсяг інформації щодо своєї частини Галактики, то обмін інформацією між ними може привести до загального зростання інформації, тому такий процес, згідно з теорією біологічної еволюції, можна вважати прогресивним.

Контакти з іншими цивілізаціями можуть бути трьох типів:

1. Обмін інформацією за допомогою електромагнітних хвиль або іншого випромінювання, яке може бути носієм інформації (рис. 17.2).
2. Обмін інформацією за допомогою автоматичних систем, керувати якими будуть комп'ютери і роботи.
3. Зустріч живих представників інопланетних цивілізацій.



Рис. 17.2. Радіотелескоп, за допомогою якого можна приймати радіосигнали від позаземних цивілізацій



Рис. 17.3. Перша спроба встановити контакт другого типу. На золотій пластинці викарбувані фігури людей і координати Землі в Галактиці. До найближчої зорі АМС «Піонер» (США) буде летіти 10^5 років

На даному етапі розвитку земної цивілізації ми можемо здійснити контакти першого типу — сучасні радіотелескопи спроможні передавати та приймати інформацію від цивілізації нашого інтелектуального рівня з відстані 1000 св. років. На такій відстані існують мільйони зір, тому відшукати відповідний об'єкт для спостереження дуже складно. У 1967 р. вперше зареєстрували періодичні сигнали, які надходили з міжзоряного простору, їх назвали **пульсарами**. Аналіз сигналів показав, що пульсари ніякого відношення до інопланетних цивілізацій не мають, бо періодичні сигнали випромінюють нейтронні зорі (див. §14).

Від Землі поширюється своєрідна інтелектуальна хвиля, яку випромінюють земні радіостанції. Якщо врахувати, що перші радіостанції почали передавати інформацію у космос 100 років тому, то ці «розумні» сигнали поширилися тільки на відстань 100 св. років від Землі. Якщо на такій відстані розташовується цивілізація нашого інтелектуального рівня, що отримала наші сигнали, то відповідь дійде до нас не раніше ніж через 200 років. Тобто встановлення контактів між цивілізаціями за допомогою електромагнітних хвиль може відбуватися досить тривалий час.

Налагодження контактів другого типу за допомогою автоматичних систем теж вимагає тривалого часу. Наприклад, космічні апарати «Піонер-10, 11» і «Вояджер-1, 2» через мільйони років вийдуть за межі Сонячної системи і будуть самостійно обертатися навколо центра Галактики. Не виключена можливість, що ці апарати стануть супутниками якоїсь зорі. Якщо АМС не згорять болідом в атмосфері планети, то інопланетяни зможуть прочитати інформацію, яку несуть ці апарати (рис. 17.3).

4 Можливі наслідки контактів із чужими цивілізаціями

Зараз створена міжнародна організація *SETI* (англ. *Search of Extra Terrestrial Intelligence* — пошуки позаземного розуму), яка розробила широку програму пошуків життя у Всесвіті. Виникає питання: для чого ми ведемо пошуки інопланетних цивілізацій? Чи може контакт із позаземним розумом принести нам якусь додаткову інформацію і допоможе вижити людству в цьому світі?

Справа в тому, що наша цивілізація зараз перебуває у своєрідній ізоляції, бо Земля за багатьма параметрами є також закритою системою. Згідно із законами еволюції складних систем у закритій системі зростає безлад і знищується інформація, тому закрита система приречена на смерть. Прикладом такої своєрідної деградації закритої системи є звичайні теплові процеси — в ізольованій колбі вирівнюються температура та густина.

Цікаво, що цей закон зростання безладу в закритій системі діє і в людському суспільстві, тільки в цьому випадку мірилом служить не температура, а інформація. Людина є істотою суспільною, і вона може залишатись людиною тільки спілкуючись з іншими людьми.

Виникають і застереження щодо можливих наслідків контактів із цивілізацією, яка перебуває на вищому ступені розвитку. Якщо чужа цивілізація за інтелектом набагато випередила землян, то вона може вже здійснювати міжзор'яні перельоти. Тобто контакти третього типу можуть відбутися і на Землі, якщо до нас прилетять чужі космічні кораблі. У цьому випадку виникне головна проблема: чи захочуть розумні істоти з інших світів спілкуватися з нами, адже між нами і ними може бути інтелектуальна «прірва». Контакти між цивілізаціями можуть призвести до конфліктів — своєрідних «зор'яних війн», і ми маємо бути готовими до цього.

Контакти третього типу — безпосередня зустріч землян з інопланетянами, яка може трапитися на будь-якій планеті або в космічному просторі

Пам'ятайте! Загальна інформація двох розумних людей після їхнього спілкування зростає тільки у випадку, якщо вони мають різну інформацію. Зростання інтелекту нашої цивілізації полягає в тому, що люди не є копіями своїх батьків, так само як і кожна нація та держава роблять свій внесок у зростання могутності людства

5 Прогнози еволюції земної цивілізації

Час існування окремої цивілізації теж впливає на визначення загальної кількості цивілізацій у Галактиці. Наприклад, у Середньовіччі, коли середня тривалість життя людини була 20—30 років, кількість населення Землі не перевищувала 100 млн осіб, і тільки в кінці XX ст., коли значно зріс середній вік людей, населення Землі сягнуло за 6 млрд. Скільки часу може існувати окрема цивілізація, ми не знаємо, бо спостерігаємо тільки за розвитком людства. Існують кілька наукових оцінок тривалості життя цивілізації. За так званою песимістичною точкою зору середня тривалість існування окремої ізольованої цивілізації не

Інтернет

Дозволяє нам значно збільшити об'єм нових знань і отримати інформацію не тільки з будь-якої бібліотеки на Землі, але й побачити те, що відбувається у космосі на інших планетах.

перевищує 10000 років. Відповідно до цієї шкали земна цивілізація наближується до смерті, бо людство зіткнулося з цілим рядом проблем, які можуть призвести до катастрофічних наслідків.

Учені, які мають іншу, не таку безнадійну точку зору, вважають, що всі ці проблеми в майбутньому можуть бути розв'язані, тому оптимістична оцінка тривалості існування нашої цивілізації — 100000 років. Тобто за цією шкалою наша цивілізація тільки народжується, і в майбутньому нас чекає розквіт, освоєння міжзоряного простору та зустрічі з інопланетними цивілізаціями. Для цієї мети в наших школах і вивчають астрономію — науку про таємничий і дивовижний космос.

Основні причини, які можуть викликати загибель нашої цивілізації:

1. Екологічна катастрофа, яка може виникнути внаслідок забруднення навколишнього середовища промисловими відходами наших підприємств.
2. Зміна клімату на Землі через збільшення кількості вуглекислого газу в атмосфері, збільшення парникового ефекту та підвищення температури.
3. Збільшення озонних дір в атмосфері може викликати підвищення частки ультрафіолетового випромінювання Сонця, яке досягає поверхні Землі, внаслідок чого можуть загинути флора і фауна нашої планети (окрім живих організмів у воді та під поверхнею Землі).
4. Катастрофічне зіткнення з астероїдом або кометою може призвести до різкого зниження температури та виникнення нового льодовикового періоду.
5. Цивілізація може закінчити життя самогубством через атомну війну. Події останніх років показують, що така загроза існує, поки атомна зброя поширюється серед держав, які не спроможні її належним чином контролювати.
6. Інтелектуальна деградація людства.



Висновки

Життя — це складна відкрита система хімічних і біологічних сполук із високим ступенем упорядкованості, яка зберігає величезний об'єм інформації про себе і навколишній світ. Земля за багатьма параметрами є закритою системою, тому проблема виживання людства пов'язана з освоєнням космосу. Наша цивілізація зробила перші кроки в цьому напрямку — ми почали дослідження Сонячної системи. Але в людства можуть виникнути проблеми під час установлення контактів із чужими цивілізаціями, які перебувають на вищому, у порівнянні з нами, ступені інтелекту.



Тести

1. Синергетика — це нова наука, що вивчає:
А. Космічне право. **Б.** Еволюцію складних систем. **В.** Світову економіку. **Д.** Світову екологію. **Е.** Екологію космосу.
2. Контакти з інопланетними цивілізаціями визначають:
А. Зоряні війни з чужими цивілізаціями. **Б.** Обмін інформацією. **В.** Спортивні змагання з інопланетянами. **Г.** Торгівлю з інопланетянами. **Д.** Передачу інформації інопланетянами.
3. Як розшифровується аббревіатура НЛО?
А. Нелітаючі легкі об'єкти. **Б.** Непізнані легкі об'єкти. **В.** Непізнані літаючі об'єкти. **Г.** Нові літаючі об'єкти. **Д.** Наднові літаючі об'єкти.
4. Над якою проблемою працює міжнародна організація SETI?
А. Пошуки життя у Всесвіті. **Б.** Пошуки життя за межами Всесвіту. **В.** Пошуки радіосигналів від інших цивілізацій. **Г.** Пошуки інопланетних космічних кораблів. **Д.** Пошуки марсіян.
5. Яку роль відіграють космічні катастрофи в еволюції життя на Землі?
6. Які існують підстави для пошуків життя за межами Сонячної системи?
7. Скільки часу сучасні космічні кораблі повинні летіти до найближчої зорі?
8. Чи можна за допомогою сучасних радіотелескопів установити контакт із позаземними цивілізаціями?
9. Що означає вислів *звичайне життя*? Які інші форми життя могли б існувати у Всесвіті?
10. Космічний корабель стартував із поверхні Землі з третьою космічною швидкістю (див. § 5). Обчисліть, скільки часу буде тривати політ до межі Сонячної системи, що розміщується на відстані 100 000 а. о. від Сонця. (Вказівка: можна вважати, що корабель летить по величезному еліпсу, коли в перигелії відстань до Сонця становить 1 а. о., а в афелії — 100 000 а. о.)



Диспути на запропоновані теми

11. Які ідеї для здійснення міжзоряних перельотів ви можете запропонувати?
12. Чи можуть бути НЛО космічними апаратами чужих цивілізацій?
13. Яка ваша думка щодо можливості існування комп'ютерної цивілізації?



Завдання для спостережень

14. Часто з'являються повідомлення про непізнані літаючі об'єкти (НЛО) на доказ відвідування Землі космічними кораблями чужих цивілізацій. Якщо ви колись спостерігали незвичайне небесне явище, яке не було схожим на відомі космічні світила (зорі, планети, комети, боліди і т. д.), то опишіть його. Укажіть дату і час його спостереження, яскравість у порівнянні із зорями або планетами, швидкість переміщення по небосхилу.



Ключові поняття і терміни:

Антропний принцип, контакти між цивілізаціями, космічна еволюція, синергетика, смерть цивілізації.

Приклади розв'язання задач з астрономії

- § 1. Зоря Вега розташована на відстані 26,4 св. року від Землі. Скільки років летіла б до неї ракета з постійною швидкістю 30 км/с?

Дано:
 $D = 26,4$ св. року
 $c = 300\,000$ км/с
 $V = 30$ км/с
 $t = ?$

Розв'язання:

$$t = \frac{cD}{V} = 264\,000 \text{ років.}$$

Швидкість ракети в 10000 разів менша, ніж швидкість світла, тому космонавти будуть летіти до Веги у 10000 разів довше.

- § 2. Опівдні ваша тінь у два рази менша, ніж ваш зріст. Визначте висоту Сонця над горизонтом.

Дано:
 $H = 2L$
 $h = ?$

Розв'язання:

Висота Сонця h вимірюється кутом між площиною горизонту та напрямком на світило. З прямокутного трикутника, де катетами є L (довжина тіні) та H (ваш зріст), знаходимо

$$h = \arctg(H/L) = \arctg 2 = 63^\circ 26'.$$

- § 3. На скільки відрізняється місцевий час у Сімферополі від київського часу?

Дано:
 $\lambda_k = 30^\circ = 2 \text{ год } 00 \text{ хв}$
 $\lambda_c = 34^\circ 06' = 2 \text{ год } 16 \text{ хв}$
 $\Delta T = ?$

Розв'язання:

$$\text{Взимку } \Delta T = T_c - T_k = \lambda_c - \lambda_k = 16 \text{ хв.}$$

Тобто взимку місцевий час у Сімферополі випереджає київський час. Весною стрілки всіх годинників у Європі переводять на 1 год вперед, тому київський час випереджає на 44 хв місцевий час у Сімферополі.

- § 4. Астероїд Амур рухається по еліпсу з ексцентриситетом 0,43. Чи може цей астероїд зіткнутися із Землею, якщо його період обертання навколо Сонця дорівнює 2,66 року?

Дано:
 $T = 2,66$ року
 $e = 0,43$
 $r_{\min} = ?$

Розв'язання:

Астероїд може зустрітися із Землею, якщо він перетнется з орбітою Землі, тобто якщо відстань у перигелії $r_{\min} < 1$ а. о.

1. За допомогою третього закону Кеплера визначаємо велику піввісь орбіти астероїда:

$$a_1 = a_2 (T_1/T_2)^{2/3},$$

де $a_2 = 1$ а. о. — велика піввісь орбіти Землі; $T_2 = 1$ рік — період обертання Землі навколо Сонця.

$$a_1 = T_1^{2/3} = T^{2/3} = 1,92 \text{ а. о.}$$

2.

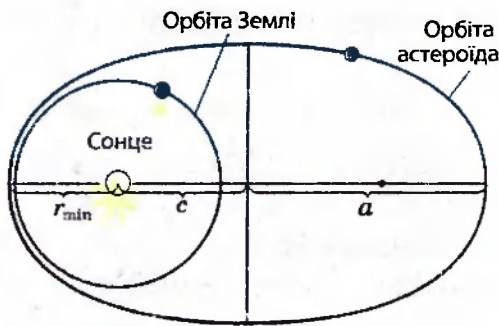


Рис. П.1.

$$a = c + r_{\min};$$

$$c = ea;$$

$$r_{\min} = a(1 - e);$$

$$r_{\min} = 1,09 \text{ а. о.}$$

Відповідь. Астероїд Амур не перетне орбіту Землі, тому не може зіткнутися із Землею.

- § 5. На якій висоті над поверхнею Землі має обертатися геостационарний супутник, який висить над однією точкою Землі?

Дано:

$$T = 1 \text{ доба}$$

$$H = ?$$

1.

За допомогою третього закону Кеплера визначаємо велику піввісь орбіти супутника:

Розв'язання:

$$a_1 = a_2 (T_1/T_2)^{2/3},$$

де $a_2 = 380\,000$ км — велика піввісь орбіти Місяця; $T_1 = 1$ доба — період обертання супутника навколо Землі; $T_2 = 27,3$ доби — період обертання Місяця навколо Землі.

$$a_1 = 41\,900 \text{ км.}$$

$$2. \quad H = a_1 - R_{\oplus} = 35\,500 \text{ км.}$$

Відповідь. Геостационарні супутники обертаються із заходу на схід у площині екватора на висоті 35 500 км.

- § 6. Чи можуть космонавти з поверхні Місяця неозброєним оком побачити Чорне море?

Дано:

$$D = 1000 \text{ км}$$

$$L = 380\,000 \text{ км}$$

$$\alpha = ?$$

Розв'язання:

Визначаємо кут, під яким із Місяця видно Чорне море. З прямокутного трикутника, у якому катетами є відстань до Місяця і діаметр Чорного моря, визначаємо кут:

$$\alpha = \arctg(D/L) \approx 9'.$$

Відповідь. Якщо в Україні день, то з Місяця Чорне море можна побачити, бо його кутовий діаметр більший від роздільної здатності ока.

§ 8. На поверхні якої планети земної групи вага космонавтів буде найменшою?

Розв'язання:

$$P = mg; \quad g = GM/R^2,$$

де G — гравітаційна стала; M — маса планети, R — радіус планети. Найменша вага буде на поверхні тієї планети, де менше прискорення вільного падіння. З формули $g = GM/R^2$ визначаємо, що на Меркурії $g = 3,78 \text{ м/с}^2$, на Венері $g = 8,6 \text{ м/с}^2$, на Марсі $g = 3,72 \text{ м/с}^2$, на Землі $g = 9,78 \text{ м/с}^2$.

Відповідь. Вага буде найменшою на Марсі — у 2,6 разу меншою, ніж на Землі.

§ 12. Коли, взимку чи влітку, у вікно вашої квартири опівдні потрапляє більше сонячної енергії? Розгляньте випадки: А. Вікно виходить на південь; Б. Вікно виходить на схід.

Розв'язання:

А. Кількість сонячної енергії, яку отримує одиниця поверхні за одиницю часу, можна обчислити за допомогою такої формули:

$$E = q \cos i,$$

де q — сонячна стала; i — кут падіння сонячних променів.

Стіна розташована перпендикулярно до горизонту, тому взимку кут падіння сонячних променів буде меншим. Отже, як це не дивно, взимку у вікно вашої квартири від Сонця надходить більше енергії, ніж улітку.

Б. Якщо вікно виходить на схід, то сонячні промені опівдні ніколи не освітлюють вашу кімнату.

§ 13. Визначте радіус зорі Вега, яка випромінює у 55 разів більше енергії, ніж Сонце. Температура поверхні становить 11000 К. Який вигляд мала б ця зоря на нашому небі, якби вона світила на місці Сонця?

Дано:

$$L = 55$$

$$T = 11000 \text{ К}$$

$$R = ?$$

Розв'язання:

Радіус зорі визначають за допомогою формули (13.11):

$$\frac{R}{R_{\odot}} = \frac{T_{\odot}^2}{T^2} \sqrt{L},$$

де $R_{\odot} = 695\,202 \text{ км}$ — радіус Сонця; $T_{\odot} = 6000 \text{ }^{\circ}\text{С}$ — температура поверхні Сонця.

$$\frac{T_{\odot}^2}{T^2} \sqrt{L} \approx 2; \quad R = R_{\odot} \approx 1\,400\,000 \text{ км}$$

Відповідь. Зоря Вега має радіус у 2 рази більший, ніж у Сонця, тому на нашому небі вона мала б вигляд синього диска з кутовим діаметром 1° . Якби Вега світила замість Сонця, то Земля отримувала б у 55 разів більше енергії, ніж тепер, і температура на її поверхні була б вищою за $1000 \text{ }^{\circ}\text{С}$. Таким чином, умови на нашій планеті стали б непридатними для будь-яких форм життя.

Лабораторна робота № 1

Визначення географічної широти на місцевості за допомогою Полярної зорі

Мета: навчитись орієнтуватися на місцевості за допомогою Полярної зорі.

Обладнання: транспортир, штатив, нитка, висок-тягарець.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Для орієнтування на поверхні Землі застосовують горизонтальну систему координат, у якій основною площиною є математичний горизонт та прямовисна лінія. Прямовисну лінію OZ (див. рис. 2.4) визначають за допомогою звичайного виска-тягарця, який підвішують на нитці. Математичний горизонт є площиною, яку проводять перпендикулярно до прямовисної лінії та через око спостерігача.

Площина небесного меридіана (див. рис. 2.5) збігається з географічним меридіаном на поверхні Землі та перетинає горизонт у точках N (північ) і S (південь), а точки перетину небесного екватора та горизонту — E (схід) та W (захід). Лінія NS перетину площин меридіана та горизонту називається полуденною лінією.

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Знайдіть на небі за допомогою карти зоряного неба Полярну зорю в сузір'ї Малої Ведмедиці (див. рис. 2.8).
2. Прикріпіть на штативі транспортир із виском (рис. Л.1.1).
3. Спрямуйте транспортир на Полярну зорю таким чином, щоб ваше око було на одній прямій з лінійкою транспортира та зорею. Площина транспортира при цьому буде розташована в площині меридіана.
4. Виміряйте кут φ між позначкою 90° на транспортирі та ниткою виска, який дорівнює географічній широті місця спостереження.
5. Позначте на поверхні Землі напрям полуденної лінії.

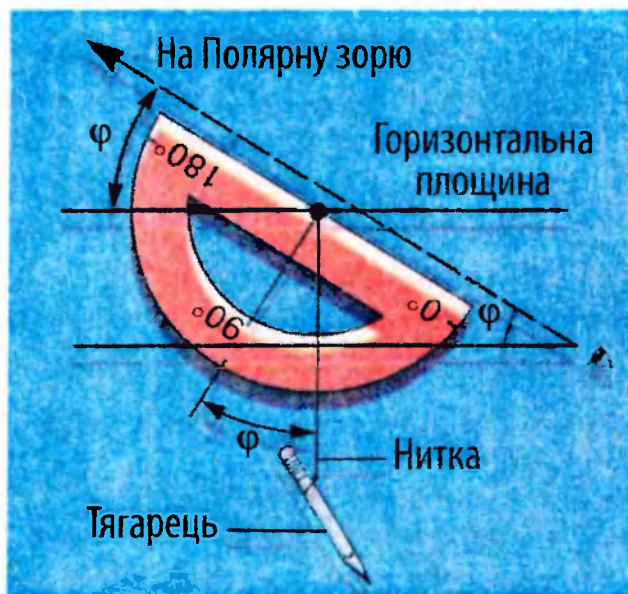


Рис. Л.1.1. Визначення географічної широти за допомогою Полярної зорі. Кут між площиною горизонту та напрямком на полюс світу дорівнює географічній широті місця спостереження

6. Визначте географічну довготу λ_k та широту φ_k вашого населеного пункту за допомогою карти або дод. 5.
7. Результати запишіть у таблицю.

Географічні координати населеного пункту на карті		Географічна широта місця спостереження φ
Широта φ_k	Довгота λ_k	

8. Порівняйте φ_k і φ .
9. Зробіть висновок.

Лабораторна робота № 2

Визначення географічної довготи за допомогою сонячного годинника

Увага: під час виконання цієї роботи не можна дивитися на Сонце без спеціального світлофільтра!

- Мета:** навчитися орієнтуватися на місцевості за допомогою сонячного годинника.
- Обладнання:** папір, ножиці, клей.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

При вимірюванні часу збереглися дві системи відліку — зоряний час і сонячний час (§ 3). У повсякденному житті ми використовуємо тільки сонячний час, який можна визначити за допомогою сонячного годинника — звичайної палички, тінь від якої визначає місцевий час. Місцевий полудень — 12 година за місцевим часом — настає під час верхньої кульмінації Сонця, коли тінь від палички найкоротша.

Різниця географічних довгот місця спостереження λ_m та Києва λ_k визначається різницею між місцевим часом T_m та київським часом T_k :

$$\Delta t = T_m - T_k = \lambda_m - \lambda_k. \quad (1)$$

Увага! Весною, в останню неділю березня, всі годинники в Європі переводять на одну годину вперед, тому влітку київський час буде випереджати місцевий час усіх міст України.

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Зробіть сонячний годинник. Для цього перенесіть його викрійку (рис. Л.2.1) на аркуш паперу, розріжте окремі смуги і склейте їх, сполучаючи відповідні букви на них, як показано на рис. Л.2.2.

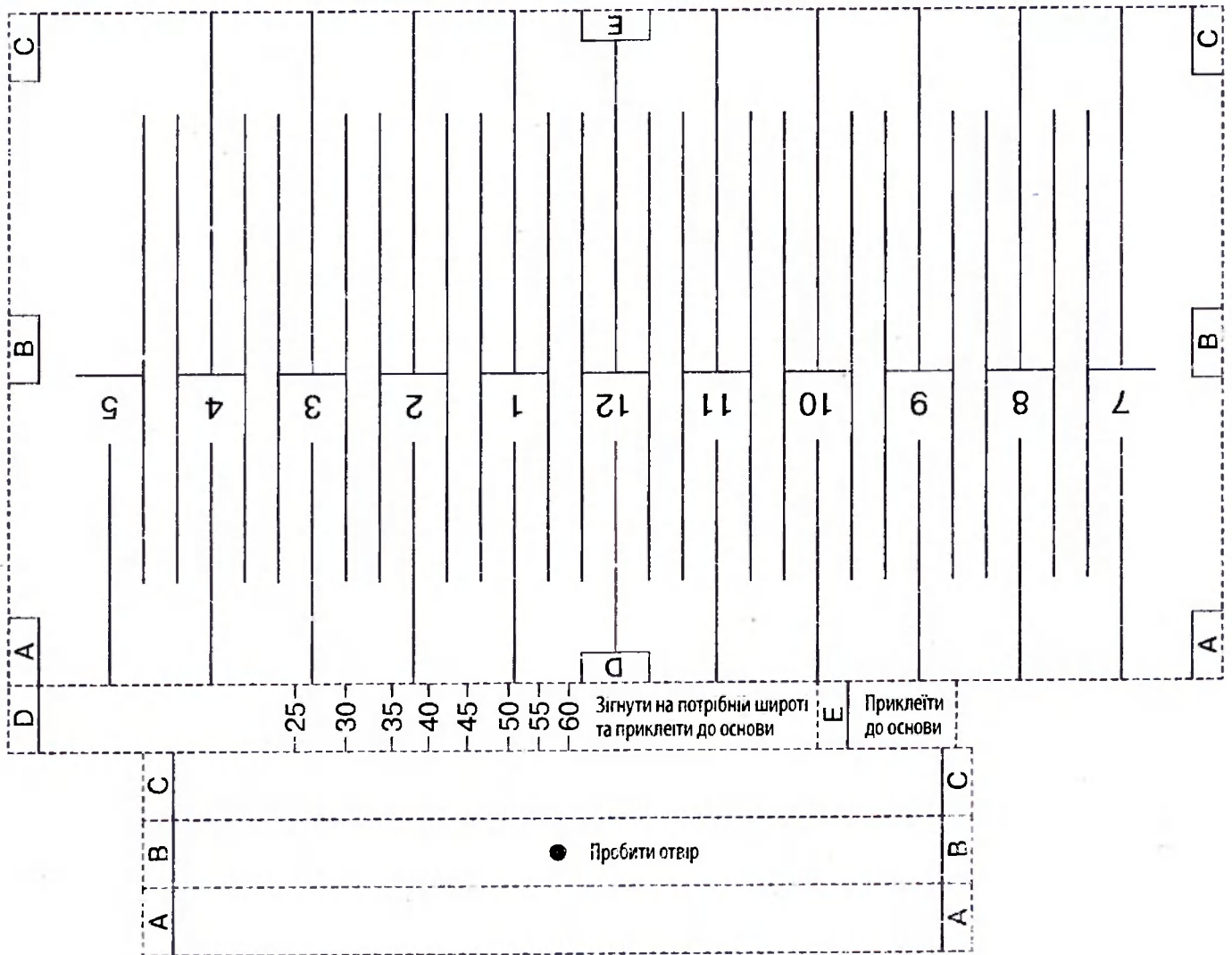


Рис. Л.2.1. Частина сонячного годинника. Пунктиром показано лінії, по яких треба розрізати викрійку

2. Установіть годинник у напрямку на південь так, щоб у момент кульмінації Сонця «зайчик» від дірочки показував 12 годину. Це буде відповідати 12 год за місцевим часом (T_m).
3. Обчисліть $\Delta t = T_m - T_K$.
4. Знайдіть довготу місця спостереження λ_m за формулою (1).
5. Результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю:

Час		Δt	Довгота	
київський T_K	місцевий T_m		Києва λ_K	місця спостереження λ_m

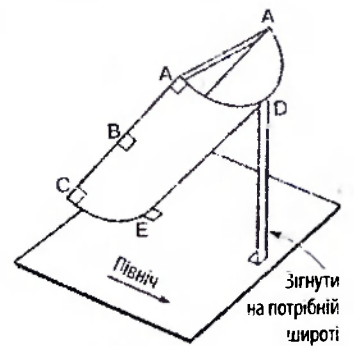


Рис. Л.2.2. Готовий сонячний годинник

6. Знайдіть географічну довготу місця спостереження λ вашого населеного пункту за допомогою географічної карти або дод. 5.
7. Порівняйте λ і λ_m .
8. Зробіть висновок.

Лабораторна робота № 3

Сонячне світло — джерело енергії *

Увага: під час виконання цієї роботи не можна дивитися на Сонце без спеціального світлофільтра!

Мета: виміряти кількість сонячної енергії, яку отримує певна ділянка поверхні Землі протягом певного часу.

Обладнання: олівець, лінійка.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Кількість енергії, яку отримує поверхня Землі від Сонця, залежить від кута падіння сонячних променів i :

$$E = q \cos i, \quad (1)$$

де $q \approx 1,4$ кВт/м² — сонячна стала, або кількість енергії, яку отримує одиниця поверхні Землі, якщо сонячні промені падають перпендикулярно до поверхні, тобто при $i=0^\circ$ (див. § 12). На широті 50° (Харків, Київ, Львів) кількість енергії, що отримує поверхня за довгий літній день, досягає 7 (кВт · год)/м² = $25,2 \cdot 10^6$ Дж/м², що більше навіть від тієї сонячної енергії, яку отримує поверхня на екваторі, де цілий рік тривалість дня складає 12 годин.

Для визначення кількості енергії, яку отримує певна ділянка площею S за проміжок часу t , будемо вважати, що кут падіння сонячних променів i за цей час залишається сталим:

$$E = qSt \cos i. \quad (2)$$

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Виміряйте довжину олівця H та тіні L від сонячного світла. Для цього установіть олівець перпендикулярно до площини стола. Знайдіть кут падіння i сонячних променів за формулою:

$$i = \arctg(H/L).$$

2. Визначте площу шкільного подвір'я S .
3. Обчисліть за допомогою формули (2), яку енергію отримує від Сонця шкільне подвір'я протягом 1 год.
4. Результати запишіть у таблицю:

H , м	L , м	i , °	S , м ²	E , кВт·год

5. Визначте, скільки часу зможе світитися електрична лампа потужністю 100 Вт, якщо на її роботу буде витрачено 50% одержаної сонячної енергії.
6. Зробіть висновок.

* Цю роботу можна виконати двічі за рік — узимку та восени або весною.

Додатки

1. ГРЕЦЬКИЙ АЛФАВІТ

Α, α — альфа	Ι, ι — йота	Ρ, ρ — ро
Β, β — бета	Κ, κ — каппа	Σ, ζ, σ — сігма
Γ, γ — гамма	Λ, λ — лямбда	Τ, τ — тау
Δ, δ — дельта	Μ, μ — мю	Υ, υ — іпсилон
Ε, ε — епсилон	Ν, ν — ню	Φ, φ — фі
Ζ, ζ — дзета	Ξ, ξ — ксі	Χ, χ — хі
Η, η — ета	Ο, ο — омікрон	Ψ, ψ — пси
Θ, θ — тета	Π, π — пі	Ω, ω — омега

2. АСТРОНОМІЧНІ ЗНАКИ І СИМВОЛИ

Символи		Знаки		Позначки	
Земля	⊕	Овен	♈	Градус дуги	1° = 60'
Сонце	☉	Телець	♉	Мінута дуги	1' = 60"
Місяць	☾	Близнята	♊	Секунда дуги	1"
Меркурій	♁	Рак	♋	Година часу	1 ^h = 60 ^m
Венера	♀	Лев	♌	Хвилина часу	1 ^m = 60 ^s
Марс	♂	Діва	♍	Секунда часу	1 ^s
Юпітер	♃	Терези	♎	Доба	1 ^d = 24 ^h
Сатурн	♄	Скорпіон	♏	Рік	1 ^a = 365 ^d 5 ^h 48 ^m 46 ^s
Уран	♅	Стрілець	♐	Схилення	δ
Нептун	♆	Козоріг	♑	Пряме сходження	α
Плутон	♇	Водолій	♒	Географічна широта	φ
Зоря	*	Риби	♓	Географічна довгота	λ

3. ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНЕЙ

А. На Землі	Б. У космосі
1 метр ≈ 1/40 000 000 довжина меридіана	1 а. о. ≈ 1,496 · 10 ¹¹ м
1 англійська миля = 1609 м	1 парсек ≈ 206 265 а. о. ≈ 3 · 10 ¹⁶ м
1 морська миля = 1852 м	1 св. рік ≈ 9,46 · 10 ¹⁵ м
1 верста = 500 сажнів = 1066 м	
1 сажень = 3 аршини = 2,13 м	
1 фут = 12 дюймів ≈ 30,48 см	

4. ДЕЯКІ ФІЗИЧНІ ТА АСТРОНОМІЧНІ ВЕЛИЧИНИ

Гравітаційна стала	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Швидкість світла у вакуумі	$c = 2,997925 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Стала Планка	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Маса протона	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1836 m_e$
Маса нейтрона	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса електрона	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Стала Авогадро	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}$
Універсальна газова стала	$8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$
Стала Больцмана	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Стала Стефана-Больцмана	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$
1 тропічний рік (сек)	$31556925,9747 = 3,16 \cdot 10^7$
1 астрономічна одиниця	$a. o. = 149\,600\,000 \text{ км}$
1 світловий рік	$1 \text{ св. р.} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м}$
1 парсек	$1 \text{ пк} = 3,09 \cdot 10^{16} \text{ м}$
Діаметр Галактики	$200\,000 \text{ св. р.}$
Відстань до галактики М31 (Андромеда)	$2,3 \text{ млн св. р.} \sim 10^{22} \text{ м}$
Стала Габбла	$70 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$

5. ГЕОГРАФІЧНІ КООРДИНАТИ МІСТ УКРАЇНИ

№ п/п	Місто	Широта	Довгота		Різниця між місцевим та київським часом	
			градуси	години	взимку	влітку
1	Вінниця	49° 14'	28° 30'	1 год 54 хв	-0 год 06 хв	-1 год 06 хв
2	Дніпропетровськ	48° 30'	35° 05'	2 год 20 хв	+0 год 20 хв	-0 год 40 хв
3	Донецьк	47° 59'	37° 45'	2 год 31 хв	+0 год 31 хв	-0 год 29 хв
4	Житомир	50° 16'	28° 40'	1 год 55 хв	-0 год 05 хв	-1 год 05 хв
5	Запоріжжя	47° 58'	35° 15'	2 год 21 хв	+0 год 21 хв	-0 год 39 хв
6	Івано-Франківськ	48° 56'	24° 45'	1 год 39 хв	-0 год 21 хв	-1 год 21 хв
7	Київ	50° 27'	30° 30'	2 год 02 хв	+0 год 02 хв	-0 год 58 хв
8	Кіровоград	48° 30'	32° 15'	2 год 09 хв	+0 год 09 хв	-0 год 51 хв
9	Луганськ	48° 35'	39° 15'	2 год 37 хв	+0 год 37 хв	-0 год 23 хв
10	Луцьк	50° 45'	25° 15'	1 год 41 хв	-0 год 19 хв	-1 год 19 хв
11	Львів	49° 51'	24° 02'	1 год 36 хв	-0 год 24 хв	-1 год 24 хв
12	Миколаїв	46° 58'	32° 00'	2 год 08 хв	+0 год 08 хв	-0 год 52 хв
13	Одеса	46° 28'	30° 45'	2 год 03 хв	+0 год 03 хв	-0 год 57 хв
14	Полтава	49° 36'	34° 34'	2 год 18 хв	+0 год 18 хв	-0 год 42 хв
15	Рівне	50° 35'	26° 00'	1 год 44 хв	-0 год 16 хв	-1 год 16 хв
16	Сімферополь	44° 58'	34° 06'	2 год 16 хв	+0 год 16 хв	-0 год 44 хв
17	Суми	50° 53'	34° 45'	2 год 19 хв	+0 год 19 хв	-0 год 41 хв
18	Тернопіль	49° 34'	25° 30'	1 год 42 хв	-0 год 18 хв	-1 год 18 хв
19	Ужгород	48° 38'	22° 15'	1 год 29 хв	-0 год 31 хв	-1 год 31 хв
20	Харків	50° 00'	36° 13'	2 год 25 хв	+0 год 25 хв	-0 год 35 хв
21	Херсон	46° 38'	32° 30'	2 год 10 хв	+0 год 10 хв	-0 год 50 хв
22	Хмельницький	49° 24'	27° 00'	1 год 48 хв	-0 год 12 хв	-1 год 12 хв
23	Черкаси	49° 27'	32° 00'	2 год 08 хв	+0 год 08 хв	-0 год 52 хв
24	Чернівці	48° 17'	25° 57'	1 год 44 хв	-0 год 16 хв	-1 год 16 хв
25	Чернігів	51° 29'	31° 18'	2 год 05 хв	+0 год 05 хв	-0 год 55 хв

6. ДАТИ НОВОГО МІСЯЦЯ (2001—2057 рр.)

Рік \ Місяць			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2001	2020	2039	25	23	25	23	23	21	21	19	18	17	16	15
2002	2021	2040	13	12	14	12	12	10	10	8	7	6	5	4
2003	2022	2041	2	1	3	2	1, 31	29	29	27	26	25	24	23
2004	2023	2042	21	20	21	20	20	18	18	16	15	14	13	12
2005	2024	2043	10	9	10	9	9	7	7	5	4	3	2	1, 31
2006	2025	2044	29	28	29	28	28	26	26	24	23	22	21	20
2007	2026	2045	19	17	19	17	17	15	15	13	12	11	10	9
2008	2027	2046	8	6	7	6	6	4	4	2	1	1, 30	29	28
2009	2028	2047	26	25	26	25	25	23	23	21	20	19	18	17
2010	2029	2048	15	14	15	14	14	12	12	10	9	8	7	6
2011	2030	2049	4	3	4	3	3	2	1, 31	28	27	26	25	24
2012	2031	2050	23	22	23	21	21	19	19	17	16	15	14	13
2013	2032	2051	11	10	11	10	10	8	8	6	5	4	3	3
2014	2033	2052	1, 31	—	1, 31	29	29	27	27	25	24	23	22	22
2015	2034	2053	20	19	20	18	18	16	16	14	13	12	11	11
2016	2035	2054	10	8	9	7	7	5	5	5	2	1, 31	29	29
2017	2036	2055	28	26	28	26	26	24	23	22	21	20	19	18
2018	2037	2056	17	15	17	16	15	13	13	11	10	9	8	7
2019	2038	2057	6	4	6	5	4	3	2	1, 31	29	28	27	26

7. ЗАТЕМНЕННЯ СОНЦЯ,
ЯКІ МОЖНА СПОСТЕРІГАТИ В УКРАЇНІ (2011—2187 рр.)

Дата	Час макс.	Фаза Київ	Вид	Місце повної фази	Дата	Час макс.	Фаза Київ	Вид	Місце повної фази
04.01.2011	10-49	0.81	Ч.	—	21.06.2039	21-22	0.92	К.	Європа
20.03.2015	12-07	0.62	П.	Арктика	11.06.2048	17-00	0.90	К.	Європа
21.06.2020	8-51	0.04	К.	Азія	14.11.2050	16-20	0.70	Ч.	—
10.06.2021	14-14	0.13	К.	Арктика	12.09.2053	11-45	0.40	П.	Азія
25.10.2022	12-35	0.62	Ч.	—	05.11.2059	9-58	0.50	К.	Африка
29.03.2025	14-38	0.01	Ч.	—	30.04.2060	13-49	0.57	П.	Азія
12.08.2026	21-03	0.86	П.	Азія	20.04.2061	5-35	0.97	П.	Одеса, Крим
02.08.2027	12-33	0.37	П.	Африка	06.07.2187	10-44	0.98	П.	Харків, Черкаси

П — повне затемнення, К — кільцевидне затемнення, Ч — часткове затемнення.
Час максимальної фази затемнення подано за київським часом.

8. ЗАТЕМНЕННЯ МІСЯЦЯ, ЯКІ МОЖНА ПОБАЧИТИ
В УКРАЇНІ (2011—2062 рр.)

Дата	Час	Фаза	Дата	Час	Фаза	Дата	Час	Фаза
15.06.11	23-13	повне	19.08.35	4-08	0.10	12.02.55	0-42	повне
10.12.11	16-30	повне	12.02.36	00-13	повне	17.06.57	5.25	0.76
25.04.13	23-09	0,01	07.08.36	5-50	повне	11.12.57	2-52	0.92
28.09.15	5-46	повне	06.06.39	21-54	0.84	06.06.58	22-12	повне
07.08.17	21-19	0,25	30.11.39	18-55	0.94	30.11.58	5-14	повне
27.07.18	23-22	повне	18.11.40	21-02	повне	05.04.61	0-54	повне
21.01.19	7-10	повне	16.05.41	3-42	0.05	25.03.62	5-34	повне
17.07.19	00-31	0,65	08.11.41	6-30	0.17	18.09.62	21-29	повне

9. НАЙЯСКРАВІШІ ЗОРІ

№ п/п	Назва	Сузір'я	m	Відстань пк	Світність $L = E/E_{\odot}$	Температура К	Радіус R/R_{\odot}
1	Сіріус	α Вел. Пес	-1,46	2,7	22	11 000	1,3
2	Канопус	α Кіль	-0,75	55,0	20 000	7 500	85,0
3	Арктур	α Волопас	-0,05	11.1	113	5 000	14,0
4	Рігель	α Кентавр	-0,01	1,3	1,4	5 800	1,2
5	Вега	α Ліра	+0,03	8,1	55	11 000	2,0
6	Капелла	α Візничий	+0,08	13,7	151	5 600	13,0
7	Рігель	β Оріон	+0,13	250,0	50 000	12 000	52,0
8	Проціон	α Мал. Пес	+0,37	3,5	7,6	7 000	2,0
9	Бетельгейзе	α Оріон	+0,47	150,0	13 000	3 000	426,0
10	Ахернар	α Ерідан	+0,51	40,0	870	15 000	4,0
11	Гадар	β Кентавр	+0,63	150,0	10 000	20 000	8,0
12	Альтаір	α Орел	+0,76	5.1	11,3	9 000	1,4
13	Альдебаран	α Телець	+0,86	20,0	160	4 500	21,0
14	Антарес	α Скорпіон	+0,91	130,0	6 300	3 000	300,0
15	Спіка	α Діва	+0,91	80,0	2 400	25 000	2,6
16	Поллукс	β Близнята	+1,14	11,0	37	5 000	4,5
17	Фомальгаут	α Півд. Риба	+1,19	7.7	17	10 000	1,4
18	Денеб	α Лебідь	+1,25	500,0	70 000	10 000	90,0
19	Регул	α Лев	+1,35	27,0	200	13 000	2,8
20	Кастор	α Близнята	+1,58	16,0	50	11 000	2

10. АСТРОБЛЕМИ

Давні геологічні структури, які пов'язані з падінням великих метеоритів

Назва	Адреса	Діам., км	Вік
Садбері (<i>Sudbury</i>)	Канада, Онтаріо	200	1,8 млрд р.
Вредефорт (<i>Vredefort Ring</i>)	Півд. Африка	200	2 млрд р.
Попигайська	Північний Сибір, Росія	100	
Бовтиська	с. Бовтишка, Черкаська обл.	31	65 ± 1,2 млн р.
Оболонська	с. Оболонь, Семенівський р-н, Полт. обл.	20	169 ± 7 млн р.
Тернівська	с. Веселі Терни, Кіровоградська обл.	15	280 ± 10 млн р.
Іллінецька	м. Іллінці, Вінницька обл.	6,5	400 ± 30 млн р.
Білилівська	с. Білилівка, Житомирська обл.	5,5	165 ± 6 млн р.
Ротмистрівська	с. Ротмистрівка, Черкаська обл.	2,2	130 ± 10 млн р.
Зеленогайська	с. Зелений Гай, Кіровоградська обл.	0,8	60 млн р.
Зеленогайська	с. Зелений Гай, Кіровоградська обл.	0,7	60 млн р.

11. АСТРОНОМІЧНІ ОБСЕРВАТОРІЇ УКРАЇНИ І СВІТУ

Назва	Місто	Країна	Рік заснування
Головна астрономічна обсерваторія НАНУ http://www.mao.kiev.ua	Київ	Україна	1944
Київська астрономічна обсерваторія http://www.observ.univ.kiev.ua	Київ	Україна	1845
Кримська астрофізична обсерваторія http://www.crao.crimea.ua	Научний	Україна	1908
Львівська астрономічна обсерваторія http://astro.franko.lviv.ua	Львів	Україна	1769
Миколаївська астрономічна обсерваторія http://www.mao.nikolaev.ua	Миколаїв	Україна	1821
Одеська астрономічна обсерваторія http://www.astro-observatory.odessa.ua	Одеса	Україна	1871
Полтавська гравіметрична обсерваторія rgo@poltava.ukrtel.net	Полтава	Україна	1926
Ужгородська лабораторія космічних досліджень http://www.univ.uzhgorod.ua	Ужгород	Україна	1957
Харківська астрономічна обсерваторія. Із 2002 р. Інститут астрономії http://astron.kharkov.ua	Харків	Україна	1806
Харківський інститут радіоастрономії http://www.nbu.gov.ua/institutions/rai	Харків	Україна	1985

Назва	Місто	Країна	Рік заснування
Паризька астрономічна обсерваторія http://www.obspm.fr	Париж	Франція	1671
Гринвіцька астрономічна обсерваторія http://www.nmm.ac.uk	Лондон	Англія	1675
Вільнюська астрономічна обсерваторія http://www.astro.ff.vu.lt	Вільнюс	Литва	1753
Краківська астрономічна обсерваторія http://www.oa.uj.edu.pl	Краків	Польща	1795
Пулковська астрономічна обсерваторія http://www.gao.spb.ru	С.-Петербурґ	Росія	1839
Ондржейовська астрономічна обсерваторія http://www.expts.cz/ondreiovobservatory	Прага	Чехія	1898
Маунт-Вільсон обсерваторія http://www.mtwilson.edu	Каліфорнія	США	1904
Астрофізична обсерваторія у Вікторії http://www.nrc-cnrc.gc.ca	Бр. Колумбія	Канада	1910
Абастуманська астрономічна обсерваторія http://www.genao.org	Абастумані	Грузія	1932
Бюроканська астрономічна обсерваторія http://www.aras.am/bao.html	Бюрокан	Вірменія	1946
Спеціальна астрофізична обсерваторія http://www.sao.ru	Півн. Кавказ	Росія	1966
Астрономічна обсерваторія Мауна-Кеа http://www.ifa.hawaii.edu/mko	Гавайї	США	1970
Американська астрономічна обсерваторія http://www.lco.cl	Лас-Кампанес	Чілі	1976
Європейська астрономічна обсерваторія http://www.eso.org	Ла-Сілла	Чілі	1976
Шемахинська астрономічна обсерваторія http://www.shao.az	Шемаха	Азербайджан	1960
Науковий інститут космічного телескопа Габбла (http://www.stsci.edu/hst/)		США	2010

12. ХРОНОЛОГІЯ КОСМІЧНИХ ПОДІЙ

15 000 000 000 р. до н. е. зародження Всесвіту — Великий Вибух.

5 000 000 000 р. до н. е. зародження Сонячної системи.

4 500 000 000 р. до н. е. утворення Землі.

3 500 000 000 р. до н. е. початок архейської ери в шкалі геологічного літочислення.

1 900 000 000 р. до н. е. на Землі з'явилися перші водорості.

500 000 000 р. до н. е. початок палеозойської ери — з'явилися перші спорові рослини.

400 000 000 р. до н. е. на Землі виникли перші риби.

230 000 000 р. до н. е. початок мезозойської ери — з'явилися хвойні рослини.

200 000 000 р. до н. е. початок юрського періоду — виникли перші плазуни і птахи.

- 67000000 р. до н. е. початок кайнозойської ери — з'явилися квіткові рослини і ссавці.
- 65000000 р. до н. е. катастрофічне зіткнення Землі з астероїдом, коли загинули динозаври.
- 4000000 р. до н. е. з'явилися австралопітеки — людиноподібні мавпи, прародичі людини.
- 2000000 р. до н. е. початок антропогенного періоду — виникли розумні люди.
- 200000 р. до н. е. з'явилися неандертальці — підвид людини розумної.
- 40000 р. до н. е. з'явилися кроманьйонці — можливі предки європеїдної раси.
- 5509 р. до н. е. 1 вересня початок ери літочислення від «створення світу» за календарем Візантії.
- 5508 р. до н. е. 1 березня початок літочислення від «створення світу» за календарем Русі.
- 4713 р. до н. е. 1 вересня початок відліку літочислення юліанського періоду.
- 4200 р. до н. е. у Єгипті створено сонячний календар, що ґрунтувався на тропічному році.
- 3761 р. до н. е. 7 жовтня початок літочислення від «створення світу» за єврейським календарем.
- 2100 р. до н. е. перші згадки про метеорити в давньоєгипетському папірусі.
- 2000 р. до н. е. збудовано Стоунгендж — давня астрономічна обсерваторія в Англії.
- 600 р. до н. е. у Вавилоні створили сонячний годинник.
- 555 р. до н. е. Піфагор уперше визначив параметри земної кулі і ввів слово *космос* для позначення Всесвіту.
- 433 р. до н. е. Метон обчислив цикл для відліку тропічного року та синодичного місяця.
- 350 р. до н. е. Євдокс уперше створив карту зоряного неба, на якій є екліптика і зодіак.
- 330 р. до н. е. Арістотель сформулював будову геоцентричної системи світу.
- 250 р. до н. е. Архімед створив астраріум — годинник, що відтворює видимий на небі рух Сонця і планет.
- 240 р. до н. е. Ератосфен уперше виміряв дугу меридіана для визначення радіуса Землі.
- 222 р. до н. е. Арістарх Самоський висунув ідею про геліоцентричну систему світу.
- 125 р. до н. е. Гіппарх склав каталог зір і позначив їх яскравість зоряними величинами.
- 46 р. до н. е. римський імператор Юлій Цезар увів календар, який на його честь назвали юліанським.
- 140 р. н. е. К. Птоломей написав книгу «Велика математична побудова астрономії» (Мегісте).
- 525 р. Діонісій Малий запровадив літочислення від втілення (народження) Ісуса Христа.
- 622 р. 16 липня початок ісламської ери літочислення — ера гіджра.
- 988 р. князь Володимир запровадив у Русі юліанський календар.
- 1054 р. спалах Наднової в сузір'ї Тельця, про яку є згадки в літописах Русі.
- 1091 р. перші згадки про політ боліда в літописах Русі.
- 1330 р. Вільям Оккам сформулював принцип, який відомий як «Бритва Оккама».
- 1483 р. надруковано першу книгу з астрономії українського автора Юрія Дрогобича (Котермака).

- 1543 р. Миколай Копернік сформулював засади геліоцентричної системи світу.
- 1546 р. Тіхо Браге довів, що комети розташовуються далі, ніж Місяць.
- 1582 р. запроваджено Григоріанський календар (новий стиль) у деяких країнах Європи.
- 1600 р. Джордано Бруно був спалений на вогнищі інквізиції за ідею життя у космосі.
- 1609 р. Галілео Галілей провів перші спостереження Місяця та планет за допомогою телескопа.
- 1609 р. Йоганн Кеплер сформулював закони руху планет — 1-й та 2-й закони Кеплера.
- 1644 р. Рене Декарт висунув першу гіпотезу про утворення Сонячної системи.
- 1647 р. Ян Гевелій склав першу детальну карту Місяця.
- 1659 р. відкрито кільце Сатурна.
- 1676 р. Рене Рьомер за допомогою супутників Юпітера вперше визначив швидкість світла.
- 1687 р. Ісаак Ньютон сформулював закон всесвітнього тяжіння.
- 1728 р. Джеймс Бредлей визначив швидкість світла за допомогою аберації світла від зір.
- 1740 р. Едмонд Галлей передбачив повернення у 1758 р. комети, яку пізніше назвали на його честь.
- 1761 р. Михайло Ломоносов (Росія) відкрив атмосферу Венери під час її проходження по диску Сонця.
- 1766 р. Йоганн Тіціус відкрив закон планетних відстаней, який назвали правилом Бодде-Тіціуса.
- 1772 р. Петр Паллас у Сибіру знайшов метеорит масою близько 500 кг.
- 1781 р. Вільям Гершель відкрив Уран.
- 1782 р. Джон Гудрайк висунув припущення, що зоря Алголь (β Пресея) є подвійною зоряною системою.
- 1783 р. Вільям Гершель відкрив рух Сонця в напрямку сузір'я Геркулес.
- 1801 р. Джузеппе Піацці відкрив перший астероїд — Цереру.
- 1814 р. Йозеф Фраунгофер виявив численні лінії поглинання у спектрі Сонця.
- 1826 р. Генріх Ольберс сформулював фотометричний парадокс — парадокс Ольберса.
- 1839 р. Василь Струве в Пулковській обсерваторії (Росія) одним із перших виміряв паралакс Веги (α Ліри)
- 1842 р. Христіан Допплер довів існування ефекту зміни довжини хвилі в акустиці й оптиці.
- 1846 р. Йоганн Галле відкрив планету Нептун на основі обчислень Адамса та Левер'є.
- 1848 р. Вільям Томсон (лорд Кельвін) увів абсолютну шкалу температур.
- 1851 р. Жан Фуко за допомогою маятника довів обертання Землі навколо осі.
- 1852 р. Рудольф Вольф увів індекс сонячної активності, який називають числом Вольфа.
- 1859 р. Норман Погсон увів коефіцієнт для визначення зоряних величин — формулу Погсона.
- 1860 р. Джеймс Максвелл створив теорію електромагнітного поля.
- 1864 р. Едуард Рош довів наявність нижньої межі для орбіти природного супутника планети — межа Роша.

- 1865 р. Г. Ріхтер висунув гіпотезу про занесення на Землю життя з космосу — панспермія.
- 1865 р. Рудольф Клаузіус сформулював парадокс «теплової смерті Всесвіту».
- 1871 р. Джон Релей опублікував працю про поляризацію світла та пояснив блакитний колір неба.
- 1877 р. Асаф Холл відкрив Фобос і Демос — супутники Марса.
- 1881 р. Джованні Скіапареллі відкрив на Марсі «канали».
- 1884 р. Гринвіцький меридіан за міжнародною угодою прийнято за початковий.
- 1900 р. Макс Планк відкрив енергію кванта та закон випромінювання чорного тіла.
- 1902 р. Костянтин Ціолковський (Росія) вивів формулу для визначення швидкості ракети.
- 1908 р. упав Тунгуський метеорит (Сибір, Росія).
- 1913 р. Генрі Рессел побудував діаграму *спектр—світність* зір.
- 1917 р. Альберт Айштайн згідно із загальною теорією відносності побудував статичну модель Всесвіту.
- 1919 р. Гуго Зелігер сформулював гравітаційний парадокс нескінченного Всесвіту.
- 1919 р. створено Міжнародний Астрономічний Союз (МАС).
- 1922 р. Олександр Фрідман (РСФСР) побудував нестатичну модель Всесвіту.
- 1925 р. запроваджено Всесвітній час для обчислення астрономічних ефемерид.
- 1925 р. Джордж Хейл відкрив 22-річну періодичність активності Сонця.
- 1929 р. Юрій Кондратюк (СРСР) опублікував книгу «Завоювання міжпланетних просторів».
- 1929 р. Едвін Габбл відкрив розбігання галактик.
- 1930 р. Клайд Томбо відкрив Плутон.
- 1931 р. Карл Янський відкрив радіовипромінювання Молочного Шляху.
- 1932 р. Лев Ландау (СРСР) теоретично довів можливість існування нейтронних зір.
- 1934 р. Франк Дайсон запропонував для енергозбереження створити сферу навколо Сонця.
- 1946 р. Джордж Гамов запропонував гарячу модель Всесвіту.
- 1950 р. у Парижі заснована Міжнародна Федерація Астронавтики.
- 1950 р. Ян Оорт висунув гіпотезу про існування «хмари комет» за орбітою Плутона.
- 1957 р. початок космічної ери: в СРСР створено перший у світі штучний супутник Землі.
- 1958 р. створено НАСА (Національне Космічне Агентство, США).
- 1958 р. Ван Аллен виявив радіаційні пояси навколо Землі.
- 1959 р. АМС «Луна-1» (СРСР) стала першою штучною планетою Сонячної системи.
- 1959 р. АМС «Луна-3» (СРСР) уперше у світі сфотографувала зворотний бік Місяця.
- 1961 р. Юрій Гагарін (СРСР) уперше у світі облетів Землю на космічному кораблі «Восток».
- 1963 р. створено СЕТІ (SETI) — організацію для пошуків життя у Всесвіті.
- 1963 р. відкриті квазари — позагалактичні джерела радіовипромінювання.
- 1965 р. Арно Пензіас і Роберт Вілсон відкрили реліктове випромінювання.

- 1966 р. АМС «Луна-9» (СРСР) здійснила першу у світі м'яку посадку на поверхню Місяця.
- 1967 р. АМС «Венера-4» (СРСР) досягла атмосфери Венери.
- 1967 р. відкриті пульсари (нейтронні зорі).
- 1969 р. на Місяць зробив посадку пілотований космічний корабель «Аполлон-11» (США).
- 1969 р. в Австралії впав метеорит Марчесон, у якому знайшли залишки ДНК.
- 1970 р. АМС «Луна-16» (СРСР) в автоматичному режимі доставила на Землю ґрунт із Місяця.
- 1970 р. АМС «Венера-7» (СРСР) зробила м'яку посадку на поверхню Венери.
- 1972 р. старт АМС «Піонер-10» (США) — перший політ за межі Сонячної системи.
- 1972 р. запроваджено міжнародний атомний час — ТАІ.
- 1974 р. Перша спроба відіслати повідомлення інопланетянам радіотелескопом Аресібо (США).
- 1975 р. АМС «Венера-9, 10» (СРСР) отримали телевізійне зображення поверхні Венери.
- 1975 р. створено Європейське космічне агентство — ESA.
- 1976 р. АМС «Вікінг-1,2» (США) передали телевізійні зображення поверхні Марса.
- 1976 р. Андрій Северний (СРСР) відкрив коливання сонячної фотосфери з періодом 160 хв.
- 1977 р. старт апаратів «Вояджер» (США), які полетять до зір із посланням до інопланетян.
- 1977 р. відкрито кільце Урана під час затемнення планетою слабкої зорі.
- 1981 р. у США змонтовано радіоінтерферометр «Дуже велика антена» з 27 антен діаметром 25 м.
- 1984 р. відкрито кільце Нептуна під час покриття планетою слабких зір.
- 1985 р. у Харкові створено радіоастрономічний інститут (РІ НАНУ).
- 1986 р. АМС «Вега-1,2» (СРСР) уперше було одержано зображення ядра комети Галлея.
- 1987 р. спалах Наднової в сусідній галактиці *Магелланова Хмара*, яку було видно неозброєним оком.
- 1991 р. заснована Українська астрономічна асоціація.
- 1992 р. створено Національне космічне агентство України.
- 1993 р. створено УРАН — Український радіоінтерферометр НАНУ.
- 1993 р. створено Союз наукових товариств Росії — СНТР.
- 1993 р. змонтованого найбільший у світі телескоп-рефлектор із діаметром дзеркала 10 м (Гавайї, США).
- 1994 р. падіння на Юпітер комети Шумейкера-Леві.
- 1995 р. виведено на орбіту перший український штучний супутник Землі «Січ».
- 2012 р. АМС «Вояджер-1» пролетить геліопаузу — межу міжзоряної та сонячної плазми.
- 13333 р. Північний полюс світу внаслідок прецесії опиниться поблизу зорі Вега в сузір'ї Ліра.

Відповіді до письмових вправ та вказівки до розв'язання

- 1.11. 500 с; 4 год 30 хв; 1,5 року.
- 3.11. $h = \operatorname{arctg}(H/L)$, де H — висота палички; L — довжина тіні.
- 3.12. У Львові, тому що Львів розташований на заході України.
- 4.11. *Вказівка.* Використовуючи третій закон Кеплера, визначаємо піввісь орбіти астероїда: $a = 2,8$ а. о. Астероїд може зіткнутися з планетою, бо в перигелії він наближується до Сонця $r_{\min} = 0,8$ а. о. і перетинає орбіту Землі.
- 4.12. Така комета може існувати, бо її період обертання навколо Сонця та велика піввісь орбіти відповідають третьому закону Кеплера.
- 4.13. $P = mg$; $g = GM/R^2$; $R = GmM/R^2$, де m — маса космонавта; M — маса планети; R — радіус планети; G — гравітаційна стала.
- 5.8. 7746 м/с.
- 5.9. Із формули (5.3) $a \approx 5000$ км $< R_{\oplus}$, тому такий супутник існувати не може.
- 6.9. 4,8 млрд км ≈ 32 а. о. *Вказівка.* Треба визначити, з якої відстані кутовий діаметр Сонця буде менший від $1'$: $\alpha = \arcsin(D/r)$, де D — лінійний діаметр Сонця; r — відстань.
- 6.10. Можна побачити, бо кутовий діаметр великих кратерів більший $1'$.
- 8.12. На Меркурії $P \approx 0,38P_{\oplus}$, на Марсі $P \approx 0,37P_{\oplus}$; На Венері $P \approx 0,9P_{\oplus}$.
- 8.13. 0,52 а. о.; 2,52 а. о.
- 9.9. $\approx 4,2$ а. о.; $\approx 6,2$ а. о.
- 10.10. *Вказівка.* $P = mg$, де g — прискорення вільного падіння, яке визначаємо за допомогою закону всесвітнього тяжіння: $g = (4/3)\pi GR\rho$, де G — гравітаційна стала; R, ρ — відповідно радіус та густина супутника.
- 10.11. На поверхні Іо $P \approx 0,18P_{\oplus}$.
- 11.13. $P \approx 0,0008P_{\oplus}$.
- 12.11. *Вказівка.* Якщо дах має чорний колір і його площина розташована паралельно горизонту, то $Q = qSt \cos i$, де q — сонячна стала; i — кут падіння сонячних променів; S — площа даху; t — час. Для визначення кута падіння i можна використати відповідь вправи 3.6: $i = 90^\circ - h$.
- 13.11. $r = 8,33$ пк = 27,1 св. р.
- 14.12. $1,9 \cdot 10^9$ г/см³.
- 14.13. $2,2 \cdot 10^{-8}$ г/см³.
- 15.10. 8600 км/с. *Вказівка.* Використовуйте закон Габбла, для цього відстань необхідно виразити у парсеках.
- 16.10. 326 000 000 років.
- 16.11. 21 000 км/с.
- 17.10. ≈ 16 000 000 років.

Предметний покажчик

А
Абсолютна зоряна величина 104
Антропний принцип 132
Апогей 41
Астероїд 9, 86
Астрономи 89
Астрологія 11
Астрометрія 11
Астрономічна одиниця 9, 10, 33
Астрономія 5, 13
Астрофізика 11, 46
Атмосфера Сонця 98
Афелій 32

Б
Болід 89

В
Великий Вибух 126
Венера 9, 67
Верхня кульмінація 17
Видима зоряна величина 49
Високосний рік 27
Відкрита система 132
Всесвіт 5, 10, 123
Всесвітнього тяжіння закон 7, 35

Г
Габбла закон 123
Галактики 9, 118, 121
— Велика стіна 122
— галактичний рік 120
— розлітання галактик 123
— складові галактик 118, 120
— спіральні рукави 120
— типи галактик 121
Галілеєві супутники 81

Геліоцентрична система світу 7
Географічний полюс 15
Геостаціонарний супутник 41
Геоцентрична система світу 6
Головна послідовність зір 107, 108
Горизонт 16
Гринвіч 15

Д
Діаграма
Герцшпрунга—Рессела (спектр—світність) 107
Доба 21

Е
Екліптика 24
Електронно-оптичний перетворювач 51
Екологічна катастрофа 58
Елонгація 31

З
Затемнення Місяця 59
Затемнення Сонця 59
Збільшення телескопа 50
Збурення 36
Земля 9, 57

— атмосфера 57
— будова 58
— магнітне поле 58
Земний екватор 15
Зеніт 16
Зодіак 23
Зорі 5, 102
— білий карлик 107
— змінна зоря 111
— Наднова 112
— Нейтронна 114

— Нова 112
— протозоря 110
— цефеїда 115
— червоний гігант 107
— червоний карлик 107
— червоний надгігант 108
Зоряні асоціації 118
Зоряна величина 103
Зоряні скупчення 118
Зоряний час 21

К
Календар 28
— григоріанський 28
— юліанський 27, 28
Квазари 10, 127
Кеплера закони 32, 33, 34
Кільця планет 82, 83
Коло схилення 18
Комета 9, 91
Контакти між цивілізаціями 135
Конфігурації планет 30
Корпускулярне випромінювання 100
Космічні швидкості 111
Космологія 11, 126
Космологічні парадокси 123
Космонавтика 8, 39
Космос 5
Кульмінація 17
Кулясті скупчення 120

Л
Лінія зміни дат 23

М
Магнітна буря 100
Марс 9, 69
Межа Роша 82
Меркурій 65
Метеор 89

- Метеорит 89
 Метеорна частина 89
 Місяць 59
 — вузли місячної орбіти 60
 — фази 59, 60
 — фізичні умови 60, 61
 Моделі Всесвіту 123
 Молочний Шлях 10, 118
- Н**
 Надир 16
 Небесна механіка 11, 12
 Небесна сфера 14
 Небесні координати 18
 Небесний екватор 15
 Небесний меридіан 16
 Нептун 9, 78
 Нижнє сполучення 31
- О**
 Обрій 16
- П**
 Парніковий ефект 57
 Паралакс горизонтальний 37
 Паралакс річний 102
 Парсек 103
 Перигей 41
 Перигелій 32
 Період обертання планет
 — сидеричний 31
 — синодичний 31
 Північний полярний ряд 104
 Планети 6, 56
 — гіганти 56, 74
 — земної групи 56, 65
 — карлики 9, 86, 93
 Планетарна туманність 9, 93
 Пляма сонячна 99
 Плутон 93
 Полюс світу 15
 Пояс астероїдів 87, 93
 Пояс Койпера 87, 94
 Пояси радіації 57
 Прецесія 6, 25
 Припливні сили 83
 Простий рік 27
 Протистояння 30, 31
 Протуберанці 100
 Пряме сходження 18
- Прямовисна лінія 16
 Пульсар 114, 134
- Р**
 Радіус зорі 106, 107
 Радіус небесної сфери 114
 Реголіт 62
 Реліктове випромінювання 128
 Роздільна здатність ока 48
 Розлітання галактик 123
- С**
 Сарос 60
 Сатурн 9, 76
 Світловий рік 9, 10
 Світність
 — зорі 104, 105
 — Сонця 96
 Сингулярність 127
 Синергетика 133
 Сонце 96
 — активність 99
 — будова 97, 98
 — фізичні характеристики 96
 Сонцестояння 26
 Сонячна стала 26
 Сонячний вітер 98
 Сонячна доба 21
 Сонячний час 21
 Спектр 8
 Спектральні класи 105
 Спектральні спостереження 105
 Сполучення 31
 Стала Габбла 123
 Ступінь ризику 88
 Сузір'я 6, 14
 Супутники планет 9, 80—84
 Схилення 18
- Т**
 Телескоп 49
 — радіоінтерферометр 51
 — радіотелескоп 51
 — рефлектор 49, 50
 — рефрактор 49, 50
 Темна енергія 130
- Темна матерія 130
 Теорія відносності 8, 126
 Теорія еволюції Всесвіту 8, 127
 Точка весняного рівнодення 18, 25
 Тропічний рік 27
 Тропосфера 57
- У**
 Уран 9, 77
 Уявна небесна сфера 15
- Ф**
 Фотопомножувач 51
 Фраунгоферові лінії 8
- Х**
 Хмара Оорта 92
 Хромосфера 98
 Хромосферний спалах 100
- Ц**
 Церера 86, 94
- Ч**
 Час 22
 — всесвітній 22, 23
 — київський 23
 — літній 23
 — місцевий 23
 — поясний 22, 23
 Чорна діра 114
 Чорне тіло 47, 105
 Чутливість ока 49
- Ш**
 Швидкість
 — колова 40
 — перша космічна 40
 — друга космічна 42
 — третя космічна 42
 Широта географічна 14
 Штучний супутник Землі 8, 41
- Ю**
 Юпітер 9, 75
- Я**
 Ядро галактики 119
 Ядро комети 92

Зміст

Передмова	3	5 Друга і третя космічні швидкості.....	42
§ 1. Що вивчає астрономія?		6 Практичне використання космонавтики	43
1 Предмет астрономії.....	5	§ 6. Методи астрофізичних досліджень	
2 Коротка історія астрономії ...	6	1 Що вивчає астрофізика?	46
3 Наша космічна адреса	9	2 Чорне тіло	47
4 Основні розділи астрономії ..	11	3 Астрономічні спостереження неозброєним оком.....	48
§ 2. Основи практичної астрономії		4 Телескопи.....	49
1 Небесна сфера	14	5 Електронні прилади для реєстрації випромінювання космічних світил	51
2 Точки та лінії небесної сфери.....	15	6 Радіотелескопи	51
3 Орієнтування на місцевості..	16	7 Вивчення Всесвіту за допомогою космічних апаратів	53
4 Екваторіальна система небесних координат і карти зоряного неба.....	18	§ 7. Земля і Місяць	
§ 3. Вимірювання часу та календар		1 Планети земної групи та планети-гіганти	56
1 Вимірювання часу	21	2 Земля — найчарівніша планета Сонячної системи... ..	57
2 Сонячний час та зодіак	23	3 Екологічна система Землі ...	58
3 Зміна пір року на Землі	25	4 Місяць	59
4 Календарі.....	27	5 Фізичні умови на Місяці....	60
§ 4. Закони руху планет		6 Дослідження Місяця	62
1 Конфігурації планет.....	30	§ 8. Планети земної групи	
2 Сидеричний і синодичний періоди обертання планет ...	31	1 Загальна характеристика планет земної групи.....	65
3 Закони Кеплера.....	32	2 Меркурій	65
4 Закон всесвітнього тяжіння ..	35	3 Венера	67
5 Визначення відстаней до планет	36	4 Марс	69
§ 5. Основи космонавтики		§ 9. Планети-гіганти	
1 Зародження космонавтики ..	39	1 Загальна характеристика планет-гігантів	74
2 Колова швидкість.....	40		
3 Рух космічних апаратів по еліптичних орбітах	41		
4 Період обертання космічного апарата.....	41		

2 Юпітер	75	§ 15. Будова Всесвіту	
3 Сатурн	76	1 Будова Галактики.....	118
4 Уран	77	2 Центр Галактики	119
5 Нептун	78	3 Обертання зір у Галактиці ..	120
§ 10. Супутники планет		4 Найближчі сусіди Галактики	121
1 Супутники Марса	80	5 Розподіл галактик у Всесвіті	121
2 Супутники Юпітера	81	6 Закон Габбла.....	123
3 «Сім'я» Сатурна	82	7 Моделі Всесвіту.....	123
4 Кільця Сатурна.....	82	§ 16. Еволюція Всесвіту	
5 Супутники Урана	83	1 Великий Вибух та вік Всесвіту	126
6 Супутники Нептуна	84	2 Головні ери в історії Всесвіту.....	126
§ 11. Малі тіла Сонячної системи		3 Реліктове фонове випромінювання	128
1 Астероїди.....	86	4 Майбутнє Всесвіту	129
2 Таємниці астероїдів	87	§ 17. Життя у Всесвіті	
3 небезпечні астероїди	88	1 Антропний принцип.....	132
4 Метеори та метеорити	89	2 Життя як відкрита система, яка зберігає та передає інформацію з минулого в майбутнє.....	133
5 Загадка Тунгуського метеорита.....	90	3 Проблеми контактів із позаземними цивілізаціями.....	134
6 Комети	91	4 Можливі наслідки контактів із чужими цивілізаціями...	135
7 Планети-карлики	93	5 Прогнози еволюції земної цивілізації.....	136
§ 12. Сонце — наша зоря		Приклади розв'язання задач з астрономії.....	138
1 Фізичні характеристики Сонця	96	Лабораторні роботи.....	141
2 Будова Сонця	97	Додатки	145
3 Сонячна активність	99	Відповіді до письмових вправ та вказівки до розв'язання....	155
4 Вплив сонячної активності на Землю	100	Предметний покажчик.....	156
§ 13. Фізичні характеристики зір			
1 Вимірювання відстаней до зір	102		
2 Видимі зоряні величини ...	103		
3 Абсолютні зоряні величини і світність зорі.....	104		
4 Колір і температура зір....	105		
5 Радіуси зір.....	106		
6 Діаграма спектр—світність ..	107		
§ 14. Еволюція зір			
1 Зародження зір.....	110		
2 Зоря в стані гравітаційної рівноваги	111		
3 Змінні зорі.....	111		
4 Нові та Наднові зорі	112		
5 Пульсари і нейтронні зорі..	114		
6 Чорні діри	114		
7 Еволюція Сонця	115		