

ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**

Микола Пришляк, Ольга Кравцова



Інтернет-  
підтримка

# Астрономія

## Профільний рівень

За навчальною програмою авторського колективу  
під керівництвом Яцківа Я. С.

# 11



Микола Пришляк, Ольга Кравцова

# Астрономія

Профільний рівень

За навчальною програмою авторського колективу  
під керівництвом Яцківа Я. С.

Підручник для 11 класу  
закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України

Харків  
Видавництво «Ранок»  
2019

УДК 52:37.016(075.3)  
П 75

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України**  
(наказ Міністерства освіти і науки України від 12.04.2019 № 472)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

**Пришляк М. П.**

П 75      Астрономія (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Яцківа Я. С.) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / М. П. Пришляк, О. М. Кравцова. — Харків: Вид-во «Ранок», 2019.—160 с. : іл.

ISBN 678-617-09-5239-4

УДК 52:37.016(075.3)



**Інтернет-підтримка**  
Електронні матеріали  
до підручника розміщено на сайті  
[interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua)

ISBN 678-617-09-5239-4

© Пришляк М. П., Кравцова О. М., 2019  
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2019

## Шановне учнівство!

Ви починаєте вивчення однієї з найдавніших 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 мандрі 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» 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:

- 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 розділів додаються контрольні запитання, теми для дискусій і завдання для спостережень.

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.

Працюючи за матеріалом підручника, ви отримаєте можливість самостійно перевіряти набуті знання та закріплювати практичні навички. Окрім того, рубрика «Дізнайтеся більше» познайомить вас із цікавими фактами, які стосуються теми й підвищать інтерес до вивчення предмета. Посилання на електронні матеріали розміщено на сторінках підручника спеціальною позначкою *i*.

#### Умовні позначення

-  Контрольні запитання
-  Тема для дискусії
-  Завдання для спостереження
-  Для допитливих
-  Завдання для самостійної роботи
-  Практична робота
-  Дізнайся більше

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



# Вступ

## Предмет астрономії та його особливості

**Завдання астрономії на різних історичних етапах.** Розвиток астрономічної науки пройшов довгий шлях від вірувань у небесні надзвичайні сили і Землю, як центр Всесвіту, до запуску в космос людей і автоматичних станцій для дослідження не тільки навколосезного простору, а й інших планет Сонячної системи.

Основні причини, що обумовили і стимулювали зародження й розвиток астрономії:

- практичні потреби, пов'язані з землеробством, мисливством, орієнтуванням у просторі;
- накопичення астрономічних знань для розвитку астрології (необґрунтоване з позицій сучасної науки намагання за положенням планет на небі передбачати хід подій на Землі (погоду та урожай, мир або війну для держави, долю правителя, а згодом — і кожної людини);
- найголовнішою причиною для розвитку астрономії було нестримне бажання людської думки проникнути в суть речей, усвідомити справжнє положення Землі й людини у Всесвіті, пізнати закони, за якими рухаються світила.

**Галузі 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 досліджень.

**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 фізичні явища й хімічні процеси, які відбуваються в небесних тілах, їхніх системах та в космічному просторі.

**Космологія** — розділ астрономії, що вивчає походження, будову та еволюцію Всесвіту як єдиного цілого.

**Об'єкти дослідження в астрономії.** Астрономія — наука про Всесвіт, що вивчає походження, будову, рух та розвиток небесних тіл і створених ними систем. Всесвіт у широкому розумінні цього слова — все суще, що розташоване на Землі та за її межами.

У наш час відомо, що у Всесвіті крім зір існує ще багато інших космічних тіл та їхніх комплексів — планет, астероїдів, комет, галактик, туманностей та ін. Тому астрономи вивчають всі об'єкти, які перебувають у космічному просторі та їхню взаємодію між





Галактика «Колесо огляду».  
Знімок телескопу «Габбл»

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, і 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 з космосу до поверхні Землі, а й проводять експерименти у навколишньому та далекому космічному просторі.

Важливими завданнями астрономії стали пояснення і прогнозування астрономічних явищ, таких як сонячні й місячні затемнення, поява комет, проходження повз Землю астероїдів та великих метеорних тіл.

Щоб краще пізнати еволюцію Землі, астрономія займається вивченням фізичних процесів, що відбуваються в надрах та атмосферах відомих нам планет. Дослідження небесних тіл дозволяє відповісти на питання щодо стійкості Сонячної системи, вірогідності небезпеки зіткнення нашої планети з космічними тілами.

Актуальними у наш час лишаються проблеми відкриття нових об'єктів Сонячної системи, дослідження процесів, які відбуваються на Сонці, тому що від їх пізнання залежить існування усього живого на Землі. Вивчення еволюції далеких зір та порівняння їх із Сонцем допомагають ученим визначити етапи його розвитку.

Серед найближчих перспектив у галузі астрономії пріоритетними об'єктами для досліджень обрані Місяць, Сонце та Марс. Зокрема програма НАСА планує невдовзі здійснити першу в світі експедицію з астронавтами на Червону планету. Інша міжнародна космічна програма пов'язана з освоєнням супутника Землі й зведенням на ньому станції для астрономічних спостережень. Це відкритє перед ученими нові можливості дослідження космічного простору.

**Зв'язок астрономії з іншими науками.** Астрономічні методи мають надзвичайно велике значення не тільки в космонавтиці, а й для навігації у мореплаванні та авіації. Під час складання географічних і топографічних карт, календарів для народного господарства, обчислення настання морських припливів і відпливів, визначення сили тяжіння в різних точках земної поверхні з метою виявлення покладів корисних копалин також використовують астрономічні дані. Тобто значення астрономії в житті сучасного суспільства неможливо переоцінити.

Астрономія споріднена з іншими науками — фізикою, хімією, математикою, біологією, філософією, тому що на Землі й у космосі діють одні й ті самі закони природи.



Галактика NGC 4036,  
схожа на Молочний Шлях.  
Знімок телескопу «Габбл»



## Для допитливих

Астрономічні дослідження в Україні мають давні традиції. За часів Княжої доби осередками таких досліджень були монастирі. Саме в давніх літописах можна знайти свідчення про спостереження космічних явищ. Так, у Лаврентіївському літописі 1064 р. вперше було зафіксовано сонячне затемнення. Старовинні тексти також розповідають про подібні природні явища, що сталися 1091 р., 1115 р. Цікаво, що такі відомості виявилися цінними не лише в галузі астрономії, а й історії, оскільки дозволяють з великою точністю встановлювати дату визначної події, з якою літописці неодмінно пов'язували настання затемнення.

**Найвидатніші астрономи.** Найвидатніші вчені, що зробили суттєвий внесок у становлення астрономії: Микола Коперник (1473–1543) «зрушив Землю, зупинивши Сонце», Йоган Кеплер (1571–1630) встановив закони руху планет, Галілео Галілей (1564–1642) відкрив чотири супутники Юпітера, фази Венери та ін. Ці відкриття утверджували геліоцентричну модель світу Коперника. Ісаак Ньютон (1643–1724), узагальнивши закони Кеплера про рух планет, відкрив закон всесвітнього тяжіння і заклав основи небесної механіки. Вільям Гершель (1738–1822) створив модель нашої Галактики — велетенської, але скінченних розмірів системи зір. Йозеф Фраунгофер (1787–1826) вперше використав спектральний аналіз в астрономії. Едвін Габбл (1889–1953) довів, що за межами нашої Галактики є незліченне число інших таких же зоряних систем і що цей світ галактик розширюється. Альберт Айнштайн (1879–1955) створив теорію відносності, яка стала фундаментом космології.



Українські науковці зробили вагомий внесок у розвиток вітчизняної та світової астрономії.

Знайдіть в мережі Інтернет та інших джерелах відомості про розвиток астрономічної науки в Україні та підготуйте повідомлення або презентацію.

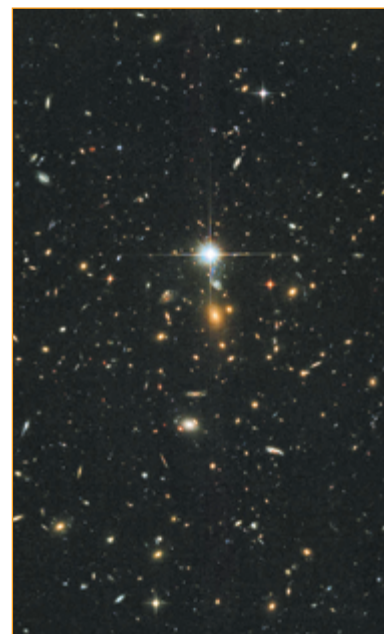
## Астрономічні знання і розвиток цивілізації

У будь-які часи астрономія здійснювала великий вплив на практичну діяльність людини, але головне її значення полягає у формуванні наукового світогляду.

Найголовнішим стимулом для розвитку астрономії стало бажання людей осягнути сутність речей, усвідомити справжнє положення Землі у Всесвіті, пізнати таємничі закони космосу. Протягом усього свого існування ця наука задовольняла потреби людства в поясненні походження й розвитку навколишнього світу, пошуку істини. Відіграючи величезну світоглядну роль, астрономія завжди посідала чільне місце в духовному житті особистості й суспільства.



Зустріч двох галактик.  
Знімок телескопу «Габбл»



Скупчення галактик.  
Знімок телескопу «Габбл»





В астрономії кожен об'єкт існує у власних просторі й часі, що створюють його специфіку. У загальному розумінні простір — це форма сталості, збереження об'єкта та його змісту, а час — форма розвитку об'єкта, внутрішня міра буття та самознищення. Простір і час доповнюють один одного, і чим складніший об'єкт, тим складнішими є ці форми.

Пізнання особливостей простору і часу є історичним процесом, що відбувається на основі практичної діяльності людей, їхнього досвіду.

Сучасна астрономія, залишаючись фундаментальною наукою, має величезне прикладне значення і безпосередньо пов'язана з науково-технічним прогресом людства. Вивчення різноманітних небесних тіл, які можуть перебувати в умовах дуже високих і дуже низьких температур, густин і тиску, збагачує важливими даними «земні» науки — фізику, хімію та ін. Закони небесної механіки покладено в основу теорії руху космічних апаратів, а практичну космонавтику уявити без астрономії взагалі неможливо. Дослідження Місяця і планет дозволяють значно краще вивчати нашу Землю.

Крім того, астрономія є однією з найголовніших наук, завдяки яким створюється наукова картина світу — система уявлень про найзагальніші закони будови і розвитку Всесвіту та його окремих частин.



**Дізнайтеся більше про історію розвитку астрономії.**



**Контрольні запитання**

1. Що вивчає астрономія?
2. Як ви вважаєте, чому астрономія є однією з найдавніших наук?
3. Назвіть відомих вам астрономів минулих часів.
4. Назвіть тіла, що утворюють Сонячну систему.
5. Астрономія має прикладне значення. Проілюструйте прикладами це твердження.
6. Встановіть відмінності між астрономією та астрофізикою.
7. Які причини обумовили зародження і розвиток астрономії? Проаналізуйте їх.
8. Яке значення має астрономія у формуванні наукової картини світу? Поясніть.

# ЗОРЯНЕ НЕБО ТА РУХИ СВІТИЛ

## Тема. Зоряне небо

**Небесні світила і небесна сфера.** Під час спостережень за зорями нам здається, що всі небесні світила розташовані на деякій уявній сферичній поверхні неба й однаково віддалені від спостерігача. Насправді вони розташовані на різних відстанях від Землі. Тому уявну поверхню небосхилу почали називати **небесною сферою**.

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

За межами Сонячної системи, на відстані понад 100 000 а. о., починається зона тяжіння інших зір. Неозброєним оком на небі можна побачити близько 6000 зір, які утворюють сузір'я. 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**.

Деякі відомі сузір'я містять добре помітні фігури, складені яскравими зорями, які легко впізнати. Наприклад, Велика Ведмедиця (контур ковша), Оріон (фігура мисливця), Лев (контур лежачого лева), Скорпіон. Інші сузір'я не мають таких визначених контурів і містять менш яскраві зорі. Розподіл зір між сузір'ями довільний, і різні культури виділяють на небі різні сузір'я. Однак декілька найпомітніших контурів, складених яскравими зорями, виділяються більшістю культур, хоча зазвичай вони отримують різні назви. Таким є сузір'я Оріон (рис. 1.1).

**Як сузір'я отримали свої назви.** Нині Міжнародна асоціація астрономів визначає 88 сузір'їв, що розподілені у північній та південній півсферах. Але історія визначення та упорядкування сузір'їв налічує тисячоліття.

Давні спостерігачі бачили на зоряному небі окремі поєднання зір і візуально об'єднували їх у різноманітні фігури. Для того щоб було легше орієнтуватися за зоряним небом, групам зір (сузір'ям) люди почали давати назви тварин, птахів, різних предметів, а згодом — імена міфічних героїв та істот.

У III ст. до н.е. давньогрецькі астрономи вперше звели назви сузір'їв північної півсфери в єдину систему, основою якої була міфологія. Згодом ці назви перейняла європейська наука. Тож, усі сузір'я, що містять яскраві зорі та є видимими в середніх широтах північної півсфери Землі, й понині зберегли імена героїв античних

**Небесна сфера** — це уявна сфера довільного радіуса, центр якої в залежності від завдання, що вирішується, поєднується з тією чи іншою точкою простору. Центр небесної сфери може бути обраний в місці спостереження (око спостерігача), у центрі Землі або будь-якій точці простору

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



Рис. 1.1. Оріон — найяскравіше сузір'я північної сфери

**Астрономічна одиниця (а. о.)** — середня відстань між центрами Землі та Сонця.  
1 а. о.  $\approx 150 \cdot 10^6$  км

**Світловий рік (св. рік)** — відстань, яку проходить світловий промінь за 1 рік, рухаючись зі швидкістю 300 000 км/с.  
1 св. рік  $\approx 10^{13}$  км



Ян Гевелій



**Для допитливих**

Цікаво, що саме поява на небосхилі певного сузір'я зумовила визначення найулюбленішого для всіх школярів часу — літніх канікул.

У Давньому Римі період найбільшої літньої спеки (з 22 липня до 23 серпня) збігався із початком вранішньої видимості зорі Сіріуса, що звалася Canicula (тобто «маленький собака»). Цей час був обраний римлянами для тривалого відпочинку від праці та навчання.

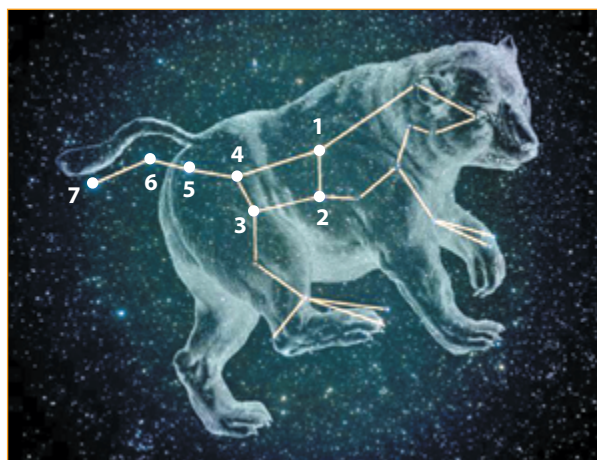


Рис. 1.2. Сузір'я Велика Ведмедиця

1.  $\alpha$  — Дубхе («Ведмідь»);
2.  $\beta$  — Мерак («Поперек»);
3.  $\gamma$  — Фекда («Стегно»);
4.  $\delta$  — Мегрез («Початок хвоста»);
5.  $\epsilon$  — Аліот (скоріше за все перекладається як «курдюк»);
6.  $\zeta$  — Мізар («Стегнова пов'язка»);
7.  $\eta$  — Алькайд / Бенетнаш (означає «Провідник плакальниць»)

**Система, за якою зорям дають назви.**

Багатьом яскравим зорям назви дали ще давньогрецькі та арабські астрономи: Ригель, Альдебаран, Капелла, Альтаїр, Сіріус, Вега та ін. Пізніше яскраві зорі в сузір'ях стали позначати літерами грецького алфавіту, зазвичай у міру зменшення їхнього блиску.

З 1603 р. діє система позначення зір, запропонована німецьким астрономом Йоганном Байєром. У системі Байєра назва зорі складається з двох частин: назви сузір'я, до якого належить зоря, та літери грецького алфавіту. Причому його першою літерою  $\alpha$  позначають найяскравішу зорю в сузір'ї,  $\beta$  — другу за блиском зорю і т. д.

Після винайдення телескопів кількість досліджуваних зір збільшилася. Для їх позначення вже не вистачало літер грецького алфавіту, тому зорі почали позначати латинськими літерами. А коли скінчилися й вони, до системи позначення ввели й цифри (наприклад,  $\beta 1$  Лебідь).

Розгляньте сузір'я Великої Ведмедиці (рис. 1.2), відоме з давніх часів у багатьох народів під різними назвами: Великий Ківш, Коромисло, Плуг, Лось, Візок, Сім Мудреців та ін. Усі зорі цього сузір'я мають власні імена арабського походження.

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

На рис. 1.3 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 відряхувувати 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, адже 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.

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. 1.4). 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.

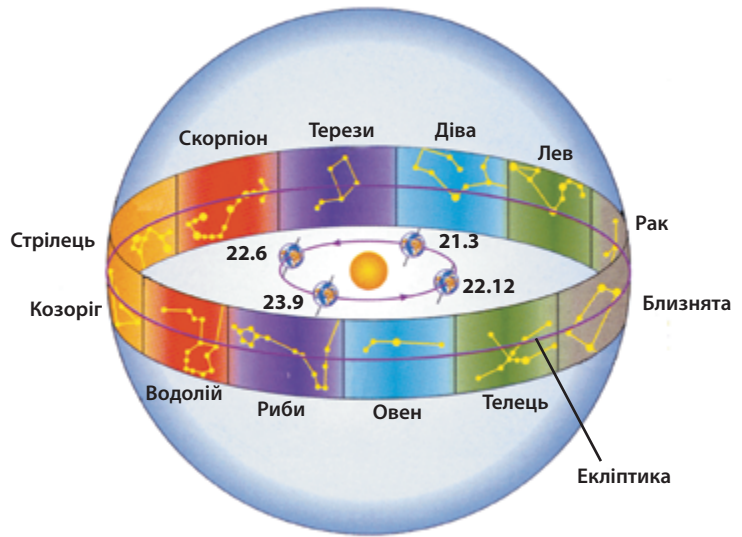


Рис. 1.3. Орбіта Землі та зодіак. Площина, у якій обертається Земля навколо Сонця, залишається сталою відносно зір. Лінія перетину площини орбіти Землі з уявною небесною сферою має назву **екліптика**. 12 сузір'їв, які перетинає екліптика, називають **зодіакальними**

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

**Прецесія** — зміщення осі обертання Землі відносно зір. Вісь Землі описує в космосі конус із періодом 26 000 років



Рис. 1.4. Явище прецесії демонструє дитяча дзига, що обертається навколо власної осі, у той час як її вісь описує конус у просторі

# СУЗІР'Я ПІВНІЧНОЇ ПІВКУЛІ

Унаслідок обертання Землі навколо своєї осі вигляд зоряного неба протягом ночі змінюється, і нам здається, що зорі рухаються відносно горизонту.

**КЕНТАВР**

**ТЕРЕЗИ**

**ЛЕВ**

Регул

**ВЕЛИКА ВЕДМЕДИЦЯ**

Кастор

**БЛИЗНЯТА**

Поллукс

**ОДНОРІГ**

**ОРІОН**

Бетельгейзе

Рігель

Унаслідок руху Землі навколо Сонця зоряне небо в різні пори року виглядає неоднаково.

## СКОРПІОН

Найяскравіші зорі позначаються літерою грецької абетки та назвою сузір'я, до складу якого вони входять, наприклад Альфа Кетавра.

## СТРІЛЕЦЬ

## ГЕРКУЛЕС

Денеб

## ЛЕВІДЬ

## КОЗОРИГ

Денеб

## МАЛА ВЕДМЕДИЦЯ

Полярна зоря

## ПЕГАС

Маркаб

Шеат

Альферац

Альгеніб

## АНДРОМЕДА

Сірах

Мірах

Аламак

Мезартім

Гамаль

## ОВЕН

## ТЕЛЕЦЬ

Альдебаран

Нат

## ПЛЕЯДИ

Деякі з головних сузір'їв (позначені великими літерами) Північної півкулі та деякі з найяскравіших зір (позначені малими літерами).



**Для допитливих**

Здебільшого українські назви сузір'їв є перекладами грецьких або латинських назв. Але щодо окремих сузір'їв вживаються і народні назви. Так, Велика Ведмедиця — це Великий Віз, Мала Ведмедиця — Малий Віз, Кассіопея — Борона, або Пасіка, Дельфін — Криниця, пояс Оріона — Косарі, Орел — Дівчина з відрами, а зоряне скупчення Плеяди — Стожари, Чумацький Шлях.

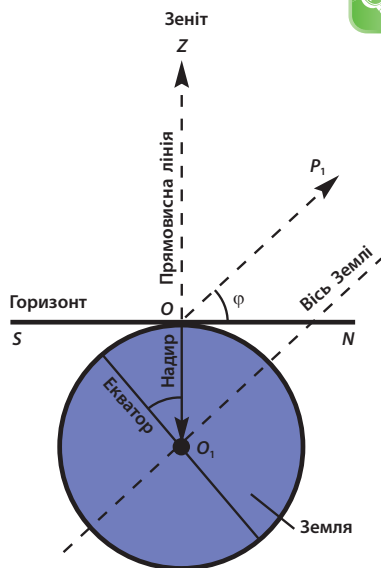


Рис. 1.5. Площина математичного горизонту є перпендикулярною до прямовисної лінії

**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, адже 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  $\varphi$  (рис. 1.5). 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. 1.6).

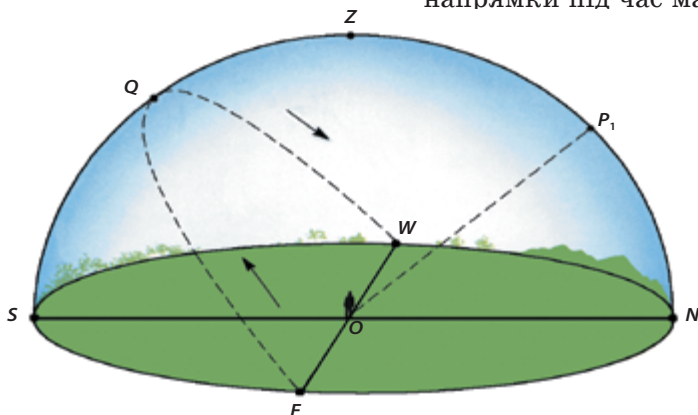


Рис. 1.6. Уночі надійним орієнтиром може бути Полярна зоря  $P_1$ , на яку спрямована вісь обертання Землі. Якщо дивитися на Полярну зорю, то попереду буде напрямком на північ, позаду — південь, праворуч — схід, ліворуч — захід. Точка  $Q$  — кульмінація Сонця

Унаслідок обертання Землі навколо осі площини меридіана та горизонту протягом доби зміщуються у просторі щодо 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. 1.7). Для визначення кульмінації уважно слідкуйте за довжиною тіні: коли Сонце розташоване над точкою півдня, тінь вказує напрямом на північ і має найменшу довжину.

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

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

### Найяскравіші зорі

Назва	Сузір'я	Відстань (св. р.)	Видима зоряна величина ( $m$ )
Сіріус	Великий Пес	8,6	- 1,47
$\alpha$ Кентавра	Кентавр	4,3	- 0,27
Арктур	Волопас	36,7	- 0,04
Вега	Ліра	25	+ 0,03
Капелла	Візничий	42,2	+ 0,08
Рігель	Оріон	870	+ 0,12
Проціон	Малий Пес	11,4	+ 0,38
Бетельгейзе	Оріон	530	+ 0,50
Альгаїр	Орел	16,8	+ 0,75
Альдебаран	Телець	65	+ 0,85
Антарес	Скорпіон	610	+1,09
Поллукс	Близнята	33,7	+ 1,15
Денеб	Лебідь	1550	+ 1,25
Регул	Лев	69	+ 1,35



Рис. 1.7. Опівдні тінь від палички спрямована на північ

### Контрольні запитання

1. Дайте визначення небесної сфери.
2. На яку кількість сузір'їв розділена небесна сфера?
3. Звідки походить слово «зодіак»?
4. Територію скількох сузір'їв проходить Сонце протягом року?
5. Назвіть одиниці вимірювання відстаней в космічному просторі. Дайте визначення.
6. Дайте математичне визначення екліптики.
7. Як визначається точка зеніту?
8. За який час після верхньої кульмінації Сонця за зоряним годинником наступає його нижня кульмінація?
9. Якими були б екліптичні сузір'я, якби площина орбіти Землі змінилась і стала ю перпендикулярною до осі її обертання.

### Практичні роботи

- Спостереження зоряного неба.
- Орієнтування по Сонцю, фазах Місяця, сузір'ях та Полярною зорею на місцевості і за часом.



# Тема. Небесна сфера і добовий рух світил

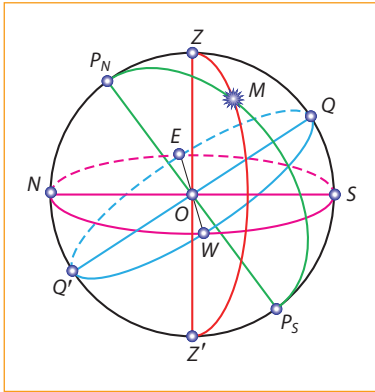


Рис. 1.1. Небесна сфера  
O — центр небесної сфери (місце розташування спостерігача); Q — верхня точка небесного екватора; Q' — нижня точка небесного екватора; M — світило

## 1 Точки і лінії небесної сфери

Поняття *небесна сфера* (рис. 1.1) дає змогу визначити кутові відстані між довільними небесними світилами.

**Прямовисною лінією (ZZ')** називають пряму, яка проходить через центр небесної сфери. Її напрямком задається силою тяжіння Землі в точці спостереження і визначається за допомогою виска-тягарця, підвішеного на нитці. **Зеніт (Z)** — верхня точка перетину прямовисної лінії з небесною сферою, а **надир (Z')** — точка небесної сфери, протилежна зеніту. Площину, яка проходить через центр небесної сфери та є перпендикулярною до прямовисної лінії, називають **площиною математичного (справжнього) горизонту**.

Велике коло небесної сфери, яке проходить через зеніт, світило й надир, називають **колом висоти, або вертикальним колом (ZMZ')**.

**Вісь світу (P<sub>N</sub>P<sub>S</sub>)** — це пряма, що проходить через центр небесної сфери паралельно *осі обертання Землі* й перетинає небесну сферу у двох діаметрально протилежних точках.

Точка перетину осі світу з небесною сферою, поблизу якої розташована Полярна зоря, називається **Північним полюсом світу (P<sub>N</sub>)**, з протилежного боку розташований **Південний полюс світу (P<sub>S</sub>)**.

**Небесний екватор** — велике коло, яке проходить через центр небесної сфери і перпендикулярне до осі світу. Він ділить небесну сферу на **Північну півкулю** з вершиною в Північному полюсі світу та **Південну** — з вершиною в Південному полюсі світу.

**Коло схилень світила (P<sub>N</sub>MP<sub>S</sub>)** — це велике коло небесної сфери, що проходить через полюси світу й саме світило.

Велике коло небесної сфери, яке проходить через точки зеніта, надира та полюси світу, називають **небесним меридіаном**. Він перетинається з математичним горизонтом у двох діаметрально протилежних точках. Точка перетину математичного горизонту й небесного меридіана, найближча до Північного полюса світу, називається **точкою півночі (N)**. Точка перетину математичного горизонту й небесного меридіана, найближча до Південного полюса світу, називається **точкою півдня (S)**. Пряма, що поєднує точки півночі й півдня, називається **полуденною лінією (NS)**. Вона лежить на площині математичного горизонту.

Математичний горизонт з небесним екватором також перетинаються у двох діаметрально протилежних точках — точці **сходу (E)** й точці **заходу (W)**. Якщо спостерігач стоїть в центрі небесної сфери обличчям до точки півночі, праворуч від нього буде розташована точка сходу, а ліворуч — точка заходу.

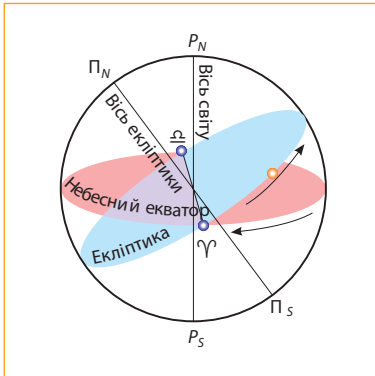


Рис. 1. 2. Екліптика

Точку небесного екватора, через яку Сонце під час свого руху по екліптиці переходить з Південної півкулі неба в Північну, називають **точкою весняного рівнодення**. Точку небесного екватора, через яку Сонце переходить з Північної півкулі небесної сфери у Південну, — **точка осіннього рівнодення**

Видимий річний шлях Сонця серед зір називають **екліптикою** (рис. 1.2). У площині екліптики лежить орбіта Землі, тобто її шлях навколо Сонця. Екліптика перетинає небесний екватор в точках весняного ( $\Upsilon$ , близько 21 березня) й осіннього ( $\Omega$ , близько 23 вересня) рівнодення.



### Контрольні запитання

1. Як називають пряму, що проходить через центр небесної сфери?
2. Чому дні рівнодень мають такі назви?
3. Де розташований центр небесної сфери?
4. Як визначити точку зеніту?



### Визначення відстаней до небесних тіл. Небесні координати

**Визначення відстаней методом горизонтального паралакса.** **Радіолокаційний метод.** Визначення відстаней до тіл Сонячної системи засновано на вимірюванні їх горизонтальних паралаксів. Кут  $p$ , під яким зі світила видний радіус Землі, перпендикулярний до променя зору, називають **горизонтальним паралаксом** (рис. 2. 1). Чим більшою є відстань до світила, тим меншим є кут  $p$ . Припустимо, що потрібно виміряти відстань  $L$  від центра Землі  $O$  до світила  $S$ . За базис беруть радіус Землі  $R_{\oplus}$  і вимірюють кут  $\angle ASO = p$  — горизонтальний паралакс світила, тому що одна сторона прямокутного трикутника — катет  $AS$  є горизонтом для точки  $A$ . З прямокутного трикутника  $OAS$  визначаємо гіпотенузу  $OS$ :

$$OS = L = \frac{R_{\oplus}}{\sin p} \quad (2.2)$$

Для того щоб визначити горизонтальний паралакс світила  $S$ , потрібно двом спостерігачам одночасно з точок  $A$  і  $B$  виміряти небесні координати цього світила. Ці координати, які вимірюють одночасно з двох точок —  $A$  і  $B$ , трохи відрізняться. На основі цієї різниці координат визначають величину горизонтального паралакса.

Чим далі від Землі спостерігається світило, тим менше буде значення паралакса. Наприклад, найбільший горизонтальний паралакс має Місяць, коли він перебуває найближче до Землі:  $p = 1^{\circ}01'$ .

Горизонтальний паралакс планет набагато менший, і він не залишається сталим, адже відстані між Землею та планетами змінюються. Серед планет найбільший паралакс має Венера —  $31''$ , а найменший паралакс  $0,21''$  — Нептун.

Зорі розташовані в мільйони разів далі, ніж Сонце, тому горизонтальні паралакси зір відповідно в мільйони разів менші.

Для визначення відстаней до тіл Сонячної системи користуються найбільш точним методом вимірювання — **радіолокаційним**.

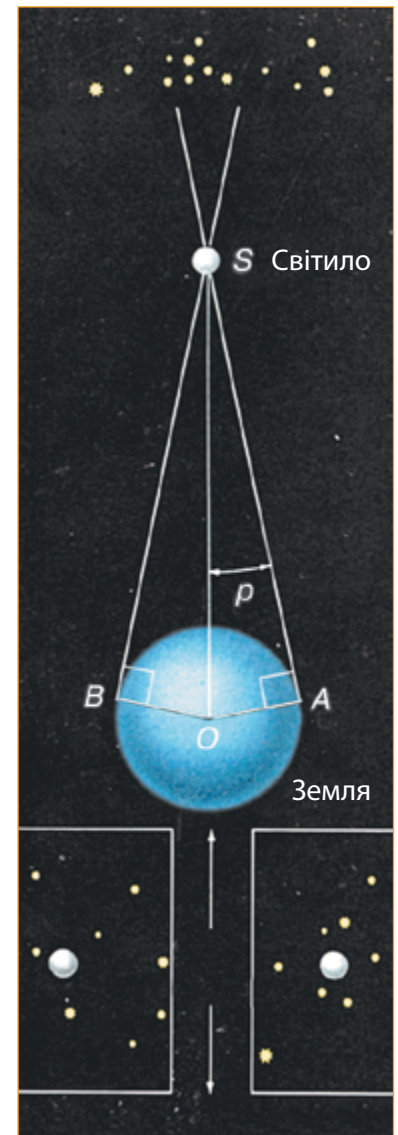


Рис. 2.1. Горизонтальний паралакс  $p$  світила

**Уявна небесна сфера**

довільного радіуса допомагає визначити координати небесних світил

**Небесні координати** — числа, за допомогою яких зазначають положення об'єкта на небесній сфері

Вимірявши час  $t$ , необхідний для того, щоб радіолокаційний імпульс досяг небесного тіла, відбився й повернувся на Землю, обчислюють відстань  $L$  до цього тіла за формулою

$$L = c \frac{t}{2}, \tag{2.3}$$

де  $c$  — швидкість світла  $\approx 3 \cdot 10^8$  м/с.

За допомогою радіолокації визначені найбільш точні значення відстаней до тіл Сонячної системи, уточнені відстані між материками Землі.

**Небесні координати.** В астрономії положення світил на небі визначають за відношенням до точок і кіл небесної сфери. Ці небесні координати подібні до географічних, які використовують для орієнтування на поверхні Землі. Небесні координати відраховують дугами великих кіл або центральними кутами, що охоплюють ці дуги.

На небесній і земній сферах можна провести деякі кола, за допомогою яких визначаються небесні координати світил (2.4а). 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.

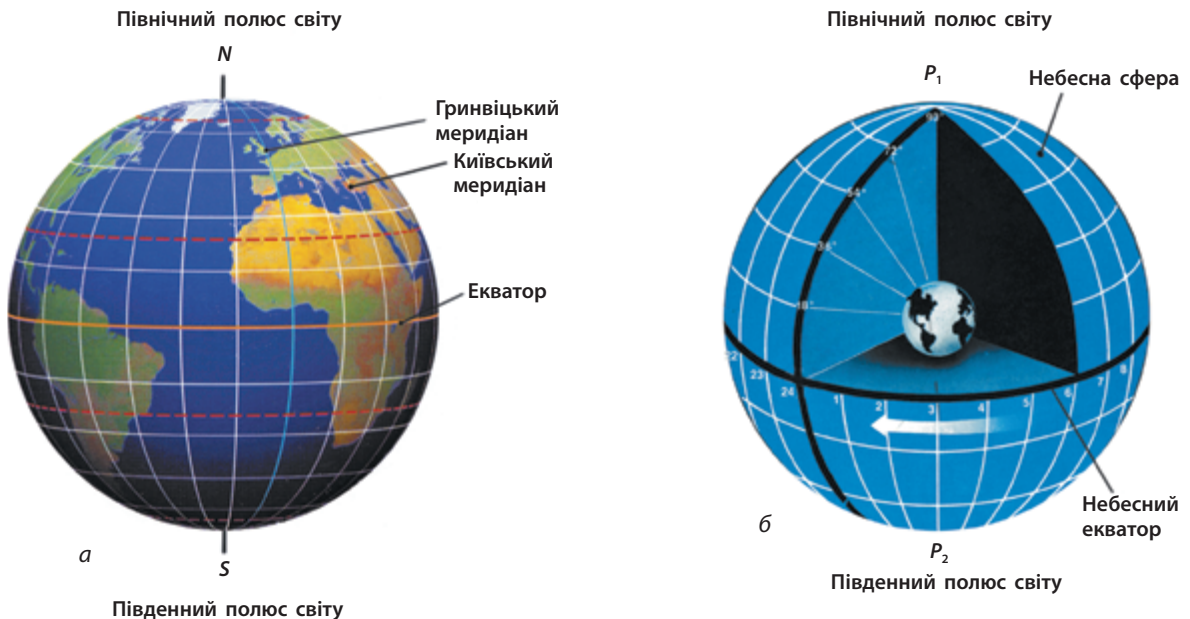


Рис. 2.4. Основні точки і лінії системи координат:  $a$  — земної (географічної),  $b$  — небесної

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 (рис. 2.4б): Північний

полюс  $P_1$  (у сучасну епоху біля Полярної зорі) і Південний полюс (у сузір'ї Октант). Площина земного екватора перетинається з небесною сферою, і в перерізі ми отримуємо небесний екватор. Але існує одна суттєва відмінність між полюсами й 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. Полісів світу як реальних точок у космічному просторі немає, адже радіус небесної сфери є невизначеним, тому ми можемо позначити тільки напрямом, у якому вони спостерігаються.

**Екваторіальна система небесних координат і карти зоряного неба.** Під час укладання зоряних каталогів та зоряних карт за основне коло небесної сфери беруть коло небесного екватора (рис. 2.5). Таку систему координат називають **екваторіальною**. В її основі лежить небесний екватор — проекція земного екватора на небесну сферу.

Основними площинами в цій системі координат є площини небесного екватора та кола схилень. Для визначення екваторіальних небесних координат світила  $M$  проводять коло схилення через полюси світу  $P_N$  і  $P_S$ , яке перетинає небесний екватор у точці  $C$  (рис. 2.6). Перша координата  $\alpha$  має назву *пряме сходження* (*пряме піднесення*) і відлічується по дузі небесного екватора від *точки весняного рівнодення*  $\Upsilon$  проти ходу годинникової стрілки, якщо дивитися з Північного полюса, та вимірюється годинами. Друга координата  $\delta$  — *схилення* визначається дугою кола схилень  $CM$  від екватора до даного світила і вимірюється градусами.

На північ від екватора схилення додатне, на південь — від'ємне. Межі визначення екваторіальних координат такі:  $0 \text{ год} \leq \alpha \leq 24 \text{ год}$ ;  $-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$

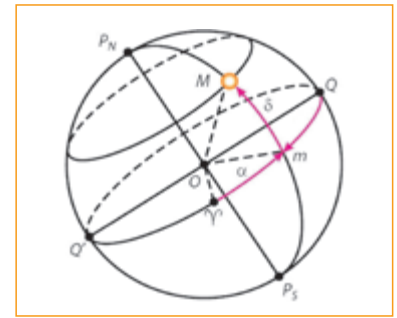


Рис. 2.5. Екваторіальна система небесних координат:  $\delta$  — схилення світила;  $\alpha$  — пряме сходження.

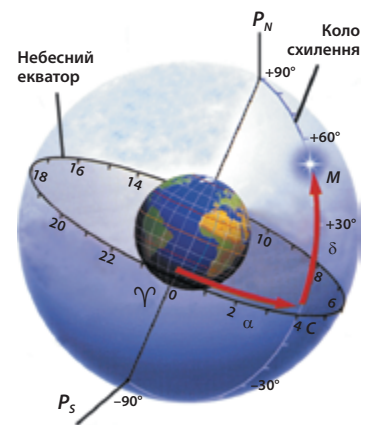


Рис. 2.6. Екваторіальна система небесних координат

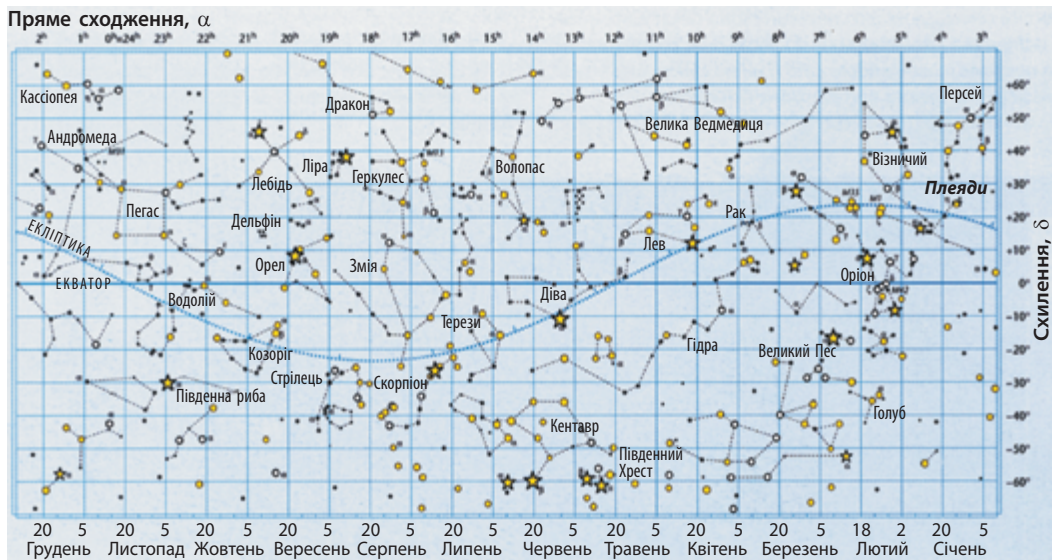


Рис. 2.7. Карта зоряного неба екваторіальної зони. Дати, коли ці сузір'я кульмінують у вечірній час, позначені внизу карти. Відшукайте їх після заходу Сонця в південній частині небосхилу

Карта зоряного неба у формі прямокутника є певною *проекцією небесної сфери на площину, на якій позначені екваторіальні координати  $\alpha$ ,  $\delta$*  (рис. 2.7). Ці координати не залежать від місця спостереження на Землі, тому картою зоряного неба можна користуватись у будь-якій країні.



### Контрольні запитання

1. Як можна визначити відстань до світила, знаючи його горизонтальний паралакс?
2. У чому полягає радіолокаційний метод визначення відстаней до небесних тіл?
3. Опишіть екваторіальну систему координат. Які координати використовують у цій системі?
4. Як можна на Північному полюсі Землі визначити напрямок на південь?
5. За допомогою рухомої карти зоряного неба визначте сузір'я, що ніколи не заходять для спостерігача, який перебуває на території України.
6. Чому в астрономії використовують різні системи координат?



### Тема для дискусії

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 спостереження

Знайдіть Полярну зорю та визначте напрямок меридіана з півночі на південь відносно вашого будинку. Намалуйте схему розташування вашого будинку щодо меридіана та визначте кут між меридіаном і будь-якою стіною вашого будинку.

## Тема. Час та календар

**Типи календарів.** У сучасному календарі усіх європейських країн за основу береться 1 тропічний рік, але при створенні ідеального календаря виникає ускладнення, адже тропічний рік не має цілого числа діб.

Довгий час в Європі користувалися *юліанським календарем*, який був запроваджений ще Юлієм Цезарем у 46 р. до н. е. У цьому календарі тривалість тропічного року була взята за 365 діб 6 год 00 хв 00 с, а для того, щоб рік мав ціле число діб, було прийнято, що кожні три роки поспіль триватимуть по 365 діб, а четвертий рік — 366 діб (високосний рік). Але в середньому кожний календарний рік був довший за тропічний на 11 хв 14 с (365 діб 6 год 00 хв 00 с — 365 діб 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. 1 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 похибка на одну добу він дає приблизно через 33 століття.

2000, 2004, ... 2096,	Три доби відставання за юліанським календарем
2100, 2104, ... 2196,	
2200, 2204, ... 2296,	
2300, 2304, ... 2396,	
2400, 2104, ...	

Рис. 1. Високосні роки за юліанським календарем. Кружечком обведені роки, які за григоріанським календарем не є високосними



**Дізнайтеся про використання різних типів календарів та літочислення у країнах світу.**



**Для допитливих**

Нову реформу календаря було здійснено в 1582 р. за пропозицією Папи Римського Григорія XIII. Для того, щоб виправити накопичену на той час помилку, оголосили, що 1582 р. триватиме тільки 355 діб.

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 діб і ще збережеться в XXI ст. У цивільному житті України новий стиль був запроваджений урядом Центральної Ради в 1918 р.

**Астрономія та визначення 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 тихій річці. За цим принципом в давнину були сконструйовані водяні та

**Прості роки** мають 365 діб.

**Високосний рік** має 366 діб. 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



Рис. 2. Старовинний сонячний годинник

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. 2, 3) і збільшувалась точність вимірювань, деякі одиниці для визначення часу залишилися одними й тими самими — рік і доба, тому що 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 ін. Тому і використовують дві системи відліку часу — зоряний час і сонячний час. Зоряний час переважно використовують астрономи, а в повсякденному житті люди застосовують тільки сонячний час. Проміжок часу, що дорівнює одному періоду обертання Землі навколо власної осі, називають **добою**. Залежно від способу визначення цього періоду в астрономії використовують означення: **справжня сонячна доба**.

Сонячний час у певному місці, або місцевий час, можна визначити за допомогою сонячного годинника — звичайної палички,

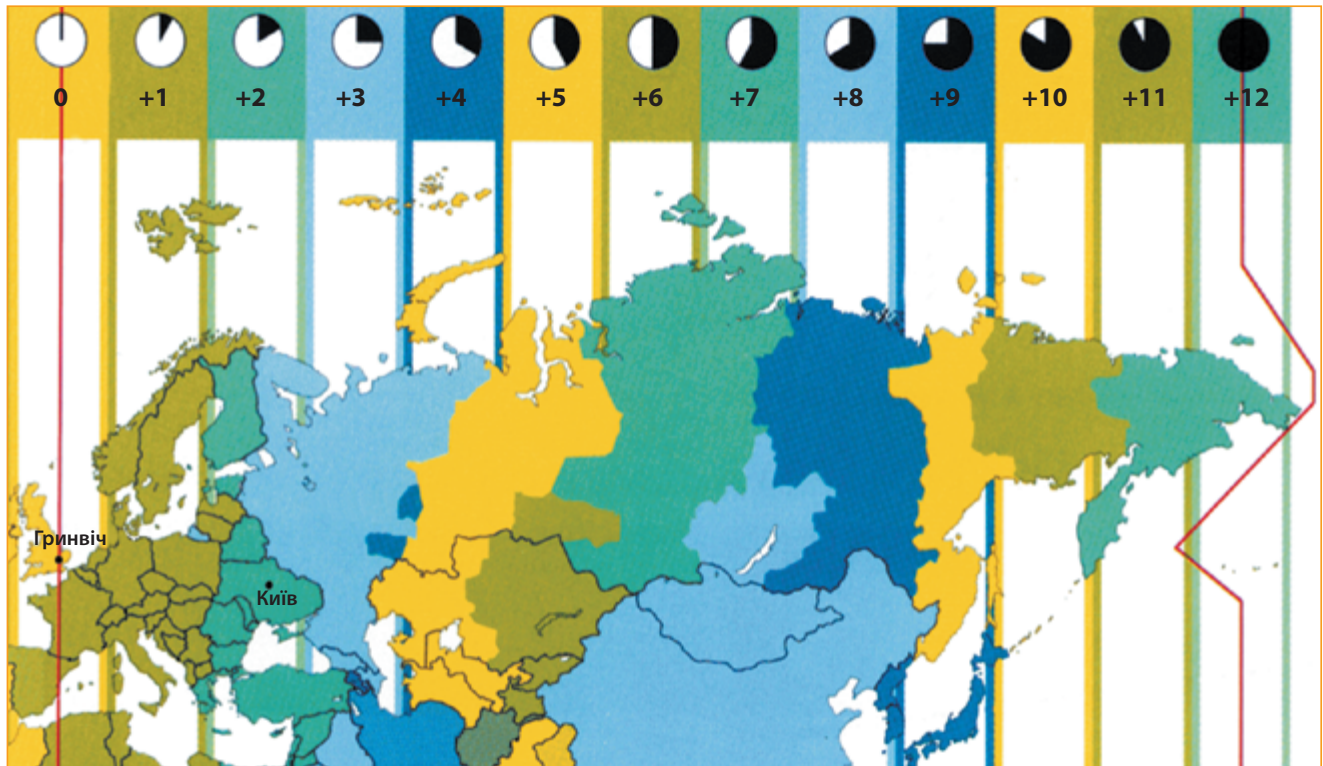


Рис. 4. Годинні пояси. Земля поділена на 24 пояси, у кожному з яких всі годинники показують однаковий час. Переїжджаючи з одного поясу в інший, мандрівники переводять стрілки годинників на ціле число годин

тінь від якої допоможе приблизно виміряти місцевий час. Місцевий полудень — 12 година за місцевим часом — настає о тій порі, коли триває верхня кульмінація Сонця, — тоді тінь від палички найкоротша.

У повсякденному житті користуватись місцевим часом незручно, адже 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 наприкінці 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. 4).

Мандрівники переводять годинники на одну годину тільки у випадку, коли вони перетинають межу відповідного поясу. Нульовий пояс проходить через Гринвіцький меридіан, тому годинники у Великій Британії показують місцевий час Гринвіцького меридіана. Цей час називають **всесвітнім часом** і застосовують в астрономії для визначення моментів різних космічних подій.



### Контрольні запитання

1. Які існують типи календарів? Чим вони відрізняються?
2. Назвіть одиниці вимірювання часу. Чому протягом багатьох років вони залишаються незмінними?
3. Що зумовило заміну юліанського календаря на григоріанський? Чому вони так називаються?
4. У чому полягає відмінність юліанського календаря від григоріанського?
5. Хто вперше запровадив принцип високосного року в календарі?
6. Чому неможливо скласти абсолютно точний календар?



### Практичні роботи

- Визначення максимальної різниці місцевого часу для шкільного подвір'я та класної кімнати.
- Визначення моментів сходу та заходу Сонця для даної місцевості з допомогою Астрономічного календаря.

**Справжня сонячна доба** — проміжок часу між двома послідовними однойменними (верхніми або нижніми) кульмінаціями центра сонячного диска

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

**Поясний час** дорівнює місцевому часу середнього меридіана відповідного поясу

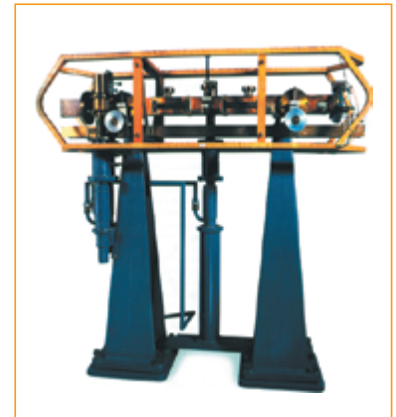


Рис. 3. Перший атомний годинник



## Тема. Закони руху небесних тіл

### 1 Закони Кеплера. Закон всесвітнього тяжіння

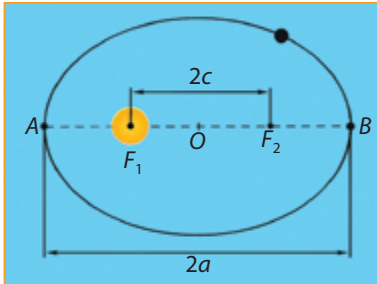


Рис. 1.1. Планети обертаються навколо Сонця по еліпсах.  
 $AF_1 = r_{\min}$  — у перигелії;  
 $BF_1 = r_{\max}$  — в афелії

**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

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

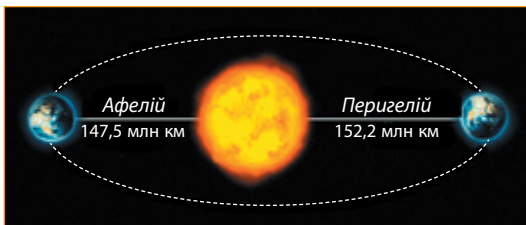


Рис. 1.3. Афелій і перигелій Землі

**Закони Кеплера.** Йоганн Кеплер 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. 1.1).

Головний наслідок першого закону Кеплера: відстань між планетою та Сонцем не залишається сталою і змінюється в межах:

$$r_{\max} \leq r \leq r_{\min} \quad (1.2)$$

Точка А орбіти, де планета наближається на найменшу відстань до Сонця, називається **перигелієм** (від грец. *peri* — поблизу, *gelios* — Сонце), а найвіддаленішу від центра Сонця точку В орбіти планети назвали **афелієм** (від грец. *apo* — далі) (рис. 1.3). Сума відстаней у перигелії та афелії дорівнює великій осі АВ еліпса:

$$r_{\max} + r_{\min} = 2a \quad (1.4)$$

Ступінь витягнутості еліпса характеризується **ексцентриситетом**  $e$  — відношенням відстані між фокусами  $2c$  до довжини великої осі  $2a$ , тобто

$$e = \frac{c}{a}, \quad 0 < e < 1 \quad (1.5)$$

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

Орбіта Марса має більший ексцентриситет, а саме  $0,093$ , тому відстань між Землею і 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, а й лінійна та кутова її 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. 1.6).

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 співвідносяться як куби великих півосей їхніх орбіт.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (1.7)$$

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.

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.

**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, а 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 добутку їхніх мас та обернено пропорційна квадрату відстані між ними* (рис. 1.8).

$$F = G \frac{Mm}{R^2}, \quad (1.9)$$

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

Слід звернути увагу, що формула (1.9) 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. 1.10).

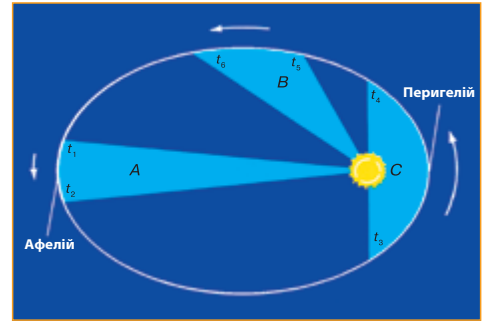


Рис. 1.6. При наближенні до Сонця швидкість планети зростає, а при віддаленні — зменшується. Якщо відрізки часу  $t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = t_6 - t_5$ , то площі  $S_A = S_B = S_C$

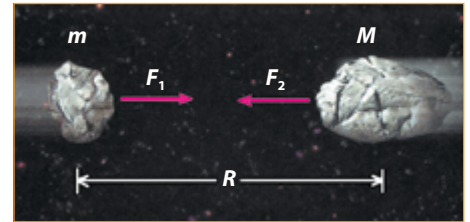


Рис. 1.8. Закон всесвітнього тяжіння

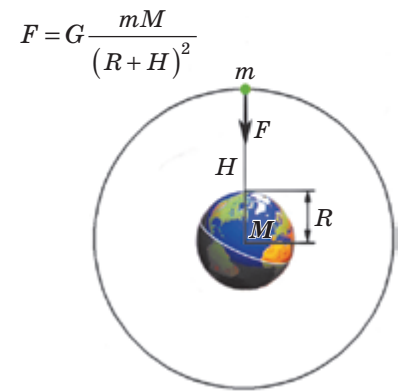
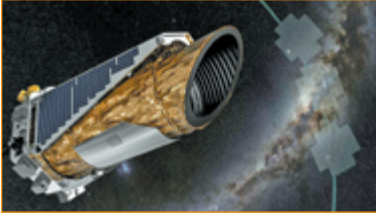


Рис. 1.10. Сила тяжіння, яка діє на космічний корабель, залежить від відстані  $R + H$  між кораблем і центром Землі



### Для допитливих



Телескоп «Кеплер», названий на честь засновника небесної механіки. Апарат використовувався протягом 2009–2018 рр.

Видатний німецький священик й астроном Йоганн Кеплер, який відкрив ключові закони руху планет, чесно пройшов шлях осяяння.

Протягом усього життя Кеплер вірив, що Сонячна система — витвір мистецтва, сповнений містичних явищ. Він не вважав себе астрономом за покликанням, а навпаки — захоплювався теологією і мріяв стати священиком. Свій інтерес до теорії Коперника спочатку пояснював необхідністю дослідити різні думки щодо світобудови перед тим, як дійти власних висновків.

Зрештою природна допитливість й захоплення астрономією спонукали Кеплера до революційних відкриттів — славнозвісних законів.

В епітафії з приводу смерті видатного вченого було написано: «Я використовував для вимірювань небеса. Тепер я маю виміряти тіні Землі. Попри те, що душа моя на небі, тінь мого тіла лежить тут».



### Контрольні запитання

1. Сформулюйте перший закон Кеплера. Що розташоване у фокусі орбіт планет? А супутників?
2. Дайте визначення перигелію та афелію. Якої швидкості набуває планета, проходячи ці точки орбіти?
3. У чому полягає наслідок другого закону Кеплера? У якій півкулі Землі тепла пора року триваліша за холодну?
4. Чому третій закон Кеплера є одним із найважливіших для розвитку космонавтики?
5. У скільки разів афелійна відстань більша перигелійної відстані, якщо ексцентриситет орбіти дорівнює 0,5?
6. Чи змінюється швидкість планети, що рухається по еліптичній орбіті? коловій орбіті?



### Тема для дискусії

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 спостереження

Визначте за допомогою астрономічного календаря, яка планета Сонячної системи розташовується найближче до Землі 10 березня поточного року. У якому сузір'ї її можна побачити сьогодні вночі?

## 2 Колова швидкість. Рух космічних апаратів по еліптичних орбітах. Період обертання космічного апарата. Друга і третя космічні швидкості

**Колова швидкість.** Розглянемо орбіту супутника, який обертається по коловій орбіті на висоті  $H$  над поверхнею Землі (рис. 2.1). 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:

$$V_k = \sqrt{G \frac{M_{\oplus}}{R_{\oplus} + H}}, \quad (2.2)$$

де —  $M_{\oplus} = 6 \cdot 10^{24}$  кг — маса Землі;  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  (Н · м<sub>2</sub>)/кг<sub>2</sub> — стала всесвітнього тяжіння;  $H$  — висота супутника над поверхнею Землі,  $R_{\oplus} = 6,37 \cdot 10^3$  м — радіус Землі.

З формули (2.2) випливає, що найбільше значення колова швидкість має при висоті  $H = 0$ , тобто у тому випадку, коли супутник рухається біля самої поверхні Землі. Така швидкість у космонавтиці називається першою космічною:

$$V_1 = \sqrt{G \frac{M_{\oplus}}{R_{\oplus}}}. \quad (2.3)$$

У реальних умовах жодний супутник не може обертатися навколо Землі по коловій орбіті з першою космічною швидкістю, адже 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.



### Для допитливих

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

**Рух космічних апаратів по еліптичних орбітах.** Якщо величина швидкості супутника буде відрізнятись від колової або вектор швидкості не буде паралельним площині горизонту, тоді космічний апарат (КА) буде обертатися навколо Землі по еліптичній

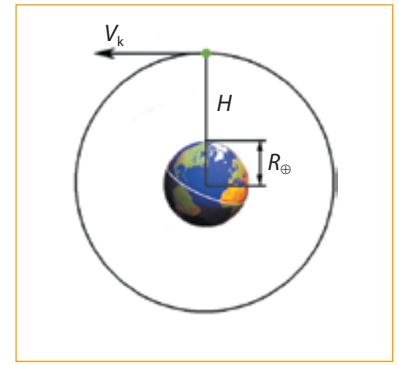


Рис. 2.1. Колова швидкість визначає рух тіла навколо Землі на сталій висоті  $H$  над її поверхнею

### Перша космічна швидкість

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

### Перигей

Точка орбіти КА, яка розташована найближче до Землі

### Апогей

Точка орбіти КА, яка розташована найдалше від Землі

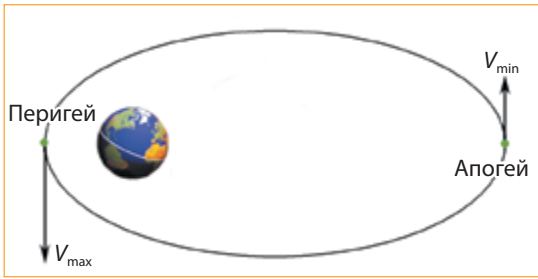


Рис. 2.4. Рух супутника по еліптичній траєкторії схожий на обертання планет у зоні тяжіння Сонця. Зміна швидкості визначається законом збереження енергії: сума кінетичної та потенціальної енергії тіла під час руху по орбіті залишається сталою

траєкторії. Згідно з першим законом Кеплера, в одному з фокусів еліпса повинний міститися центр Землі, тому площина орбіти супутника має перетинати площину екватора або збігатися з нею (рис. 2.4). 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*.

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.

**Період обертання космічного апарата.** Період обертання космічного апарата, який рухається навколо Землі по еліпсу зі змінною швидкістю, можна визначити за допомогою третього закону Кеплера:

$$\frac{T_C^2}{T_M^2} = \frac{a_C^3}{a_M^3}, \quad (2.5)$$

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 (2.5) визначимо:

$$T_C = T_M \sqrt{\frac{a_C^3}{a_M^3}} \quad (2.6)$$

У космонавтиці особливу роль відіграють ШСЗ, які «висять» над однією точкою Землі. Такі супутники називають геостаціонарними, їх використовують для космічного зв'язку (рис. 2.5).



### 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».

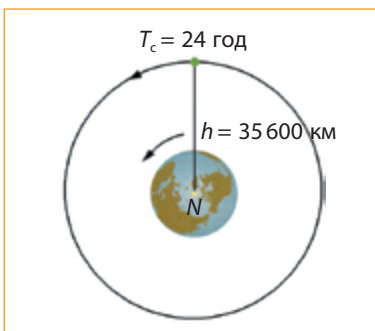


Рис. 2.7. Геостаціонарний супутник обертається на висоті 35 600 км тільки по коловій орбіті в площині екватора з періодом 24 год (N — Північний полюс)

**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  $V_1$  (2.3), то отримаємо співвідношення:

$$V_2 = \sqrt{2} V_1. \quad (2.7)$$

Космічний корабель, який стартує з поверхні Землі з другою космічною швидкістю і рухається по параболічній траєкторії, міг

би полетіти до зір, адже парабола є незамкненою кривою, яка прямує до нескінченності. Але в реальних умовах такий корабель не покине Сонячну систему, оскільки 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 кораблеві 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 міжзор'яні 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.



### 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 менш ніж 2 роки.



### Контрольні запитання

1. Чому жодний супутник не може обертатися навколо Землі по коловій орбіті з першою космічною швидкістю?
2. Чому під час старту космічного корабля виникає перевантаження?
3. Чи виконується у невагомості закон Архімеда?
4. Космічний корабель обертається навколо Землі по коловій орбіті на висоті 200 км. Визначте лінійну швидкість корабля.
5. Чи може космічний корабель зробити за добу 24 оберти навколо Землі?

**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



Марсохід «Спіріт», який провів на поверхні планети 2000 діб



**Микола Павлович Барабашов (1894–1971)** — видатний український астроном, академік АН УРСР. Народився в Харкові в родині професора офтальмології. У 1912 р. закінчив Харківську гімназію №1 і вступив на перший курс фізико-математичного факультету Юрїївського (нині Тартуського, Естонія) університету. З 1914 до 1919 р. майбутній учений навчався на фізико-математичному факультеті Харківського університету, а після закінчення був залишений на кафедрі астрономії. Професорське звання Микола Павлович отримав 1934 р., а ще за два роки йому був присвоєний вчений ступінь доктора фізико-математичних наук без захисту дисертації (за сукупністю робіт).

Протягом багатьох років наукової діяльності вчений став автором близько 600 друкованих праць. Цікаво, що перші дослідження щодо спостережень сонячних плям, Венери й Марса Микола опублікував ще в 15 років. Наукова праця підлітка тоді була прийнята французьким журналом «Астрономія».

Серед відомих досягнень академіка — вагомі відкриття щодо вивчення планет Сонячної системи. Барабашов вивчав поверхню Марса, відкрив «полярні шапки» й кристали льоду в атмосфері Венери, досліджував Сатурн і Юпітер, а також сонячну корону. До речі, саме Микола Павлович спільно з конструктором й оптиком М. Г. Пономарьовим сконструював перший радянський спектрогеліоскоп (пристрій для візуального спостереження Сонця).



І хоча зарубіжні вчені розробляли аналогічні наукові проблеми, результати харківських астрономів часто виявлялися більш точними. Усі ці дослідження стали фундаментом наукової школи планетології, яка й понині успішно розвивається та відома далеко за межами України.

Микола Павлович багато займався викладацькою діяльністю, став засновником Харківського планетарію й одним із авторів першого «Атласу зворотнього боку Місяця».

Пам'ять про академіка увічнена у названих його ім'ям кратеру на Марсі і малої планети №2883 — Барабаш. А від 1992 р. НАН України запровадила премію імені М. П. Барабашова за праці в галузі фізики планет, зір і галактик.

**Сесилія Гелена Пейн-Гапошкіна (1900–1979)** — відома американська астрономка і перша жінка, яка отримала звання професорки й очолювала кафедру в Гарвардському університеті.

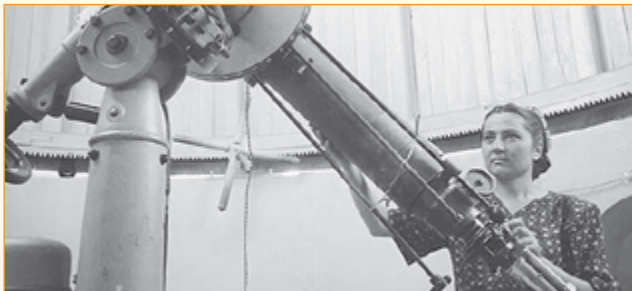
Народилася у Великій Британії в родині історика, викладача Університетського коледжу при Оксфордському університеті. Захоплення астрономією у дівчини виникло у 19 років, коли вона відвідала лекцію професора астрономії Еддінгтона. У 1923 р. Сесилія з відзнакою закінчила Кембридж, але виявилось, що у ньому в ті часи жінкам не видавали дипломи.

Прагнучи продовжувати астрономічну освіту й наукову діяльність, Сесилія переїхала до США й влаштувалася на роботу в обсерваторію Гарвардського університету.

У 1925 р. талановита вчена написала книгу, що мала б приголомшити наукову спільноту. У ній Сесилія Пейн доводила: зорі складаються не з металів (як вважалося на той час), а з водню й гелію. Проте здивувати цією працею світ не судилося. Досвідчений астрофізик Генрі Норріс Рассел запевнив дівчину, що її відкриття суперечать існуючим теоріям, і відмовив представляти книгу загалу. Цікаво, що за чотири роки він видав власну працю, у якій можна було впізнати сміливі ідеї Сесилії, й увійшов в історію як засновник однієї з перших теорій еволюції зір. Книга Сесилії Пейн згодом усе ж таки була надрукована, але невеликим накладом, і за неї вчена отримала науковий ступінь від коледжу Редкліффа.

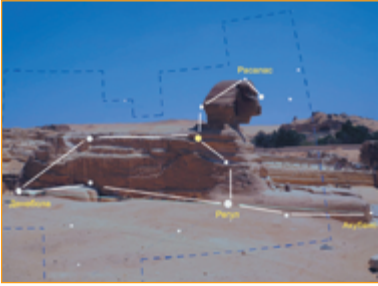
Сесилія продовжила розробляти проблематику зір-гігантів. Для другої книги вона опрацювала стільки даних, що її праця стала фактично енциклопедією з астрофізики. Чимало наступних наукових досягнень в галузі еволюції Всесвіту науковиця зробила разом із чоловіком — Сергієм Гапошкіним. Подружжя отримало багато почесних нагород.

На честь Сесилії Гелени Пейн-Гапошкіної названий відкритий 1974 р. астероїд «2039 Пейн-Гапошкін».





### 3 Видимий рух Сонця. Видимі рухи Місяця та планет



Сузір'я Лева і Великий Сфінкс

**Видимий рух Сонця. Зміна пір року на Землі.** Окрім добового руху Сонця по небу, ми також спостерігаємо його річний рух уздовж екліптики. Її площина збігається з площиною орбіти Землі. Рухаючись разом із Землею по орбіті, ми протягом року спостерігаємо Сонце на тлі одного з дванадцяти сузір'їв, розташованих на лінії екліптики. Ці сузір'я називають **зодіакальними**. Наприклад, у червні Сонце рухається по сузір'ю Близнят, у вересні — Діви, у грудні — Стрільця та ін.

Якщо стежити за Сонцем протягом року, то виявиться, що його рух по екліптиці не є рівномірним (3.1).

Початок відліку спостережуваного руху Сонця припадає на день весняного рівнодення — 21 березня, коли наше Світило перебуває в точці весняного рівнодення  $\Upsilon$ . Переміщуючись по екліптиці, 22 червня Сонце проходить точку літнього сонцестояння —  $\Theta$ , коли тривалість світлового дня в Північній півкулі є максимальною. Потім, 22 вересня, Сонце перетинає точку осіннього рівнодення  $\text{♎}$ . Точку зимового сонцестояння  $\text{♏}$  Сонце проходить 22 грудня, коли тривалість світлового дня є мінімальною.

#### Зодіакальні сузір'я й час перебування у них Сонця

$\text{♈}$  — Овен: 21 березня — 19 квітня.  $\text{♉}$  — Телець: 20 квітня — 20 травня.  $\text{♊}$  — Близнята: 21 травня — 20 червня.  $\text{♋}$  — Рак: 21 червня — 22 липня.  $\text{♌}$  — Лев: 23 липня — 21 серпня.  $\text{♍}$  — Діва: 22 серпня — 21 вересня.  $\text{♎}$  — Терези: 22 вересня — 22 жовтня.  $\text{♏}$  — Скорпіон: 23 жовтня — 21 листопада.  $\text{♐}$  — Стрелець: 22 листопада — 20 грудня.  $\text{♑}$  — Козоріг: 21 грудня — 19 січня.  $\text{♒}$  — Водолій: 20 січня — 18 лютого.  $\text{♓}$  — Риби: 19 лютого — 20 березня.

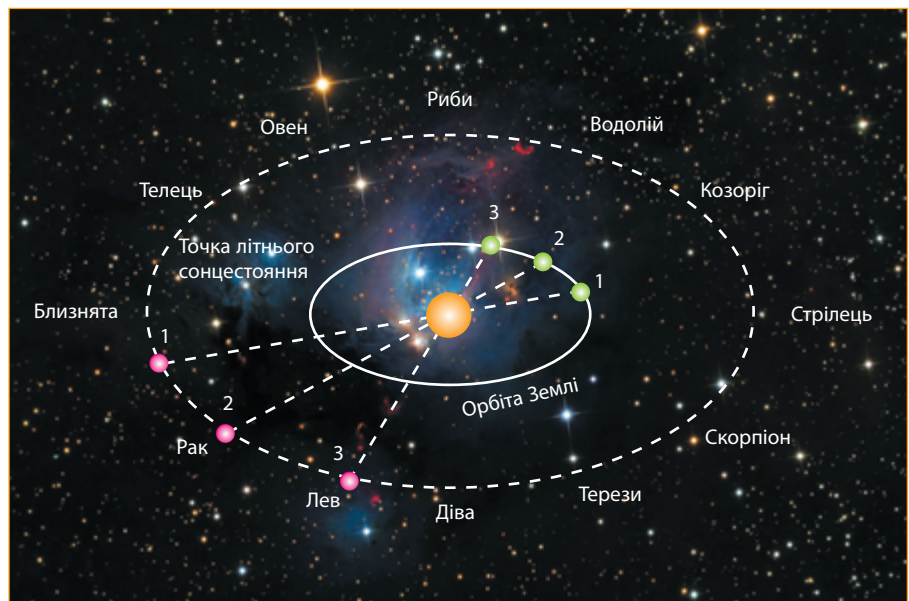


Рис. 3.1. Рух Сонця по екліптиці



**Для допитливих**

Протягом періоду з 21 березня до 22 вересня Сонце долає половину свого річного шляху, тобто  $180^\circ$  екліптичного кола за 186 діб. На другу половину припадає 179 діб. Тобто навесні та влітку рух Сонця відбувається повільніше, ніж восени й узимку.

Найшвидший рух нашого Світила спостерігається протягом 1–5 січня ( $1,017^\circ$  на добу), а найповільніший — протягом 1–5 липня ( $0,95^\circ$  на добу).

Вісь обертання Землі нахилена до площини орбіти під кутом  $66,5^\circ$ , і це призводить до зміни пір року на Землі (рис. 3.2). Якби вісь обертання Землі була перпендикулярною до площини орбіти, то зміна пір року не відбувалася б, адже Сонце протягом року освітлювало б рівномірно Північну та Південну півкулі нашої планети. Дні, коли Сонце однаково освітлює дві півкулі Землі, настають тільки двічі на рік — навесні 20–21 березня і восени 22–23 вересня, коли на всіх материках однаково 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 день починається астрономічна зима. Через півроку 21–22 грудня, навпаки, у Північній півкулі настає астрономічна зима, а в Південній — літо (рис. 3.3).

На широті  $50^\circ$  (Київ, Львів, Харків) тривалість найдовшого дня 22 червня — 16 год 20 хв — у два рази більша за тривалість найкоротшого дня 22 грудня — 8 год.

**Видимі рухи Місяця та планет. Конфігурації планет.** Місяць — природний супутник Землі й найближче до неї небесне тіло. Він рухається навколо нашої планети по еліптичній орбіті у той самий бік, у який Земля обертається навколо своєї осі.

Напрямок руху Місяця — із заходу на схід. Повний оберт по орбіті навколо планети (сидеричний місяць) Місяць здійснює за

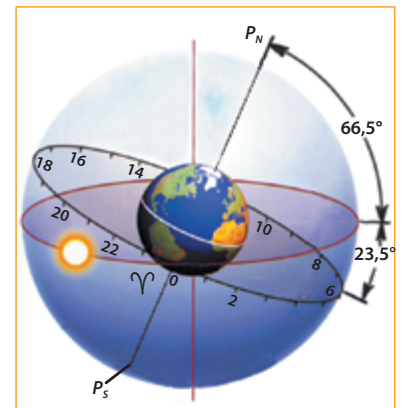


Рис. 3.2. Кут між площинами екватора та екліптики  $23,5^\circ$ , а кут між площиною екліптики та полюсом світу  $66,5^\circ$ . Це є причиною зміни пір року на Землі



Рис. 3.3. 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  $\pm 23,5^\circ$

**Конфігураціями планет** називають характерні взаємні положення планет відносно Землі і Сонця

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

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



Рис. 3. 4. Зміна фаз Місяця  
 1. Новий Місяць (новак).  
 2. Зростаючий серп (молодик).  
 3. Перша чверть;  
 4. Зростаючий Місяць.  
 5. Повний Місяць (повня).  
 6. Спадаючий Місяць.  
 7. Остання чверть.  
 8. Старий Місяць

27,3 доби. Цікаво, що саме за цей час він здійснює один оберт навколо своєї осі. Отже, із Землі ми завжди бачимо лише одну півкулю Місяця, освітлення якої постійно змінюється, проходячи повний цикл фаз.

**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, адже до нас повернена його нічна півкуля (рис. 3.4). Перша чверть настає за тиждень, у цей час до Землі повернені половина денного та половина нічного боку Місяця. Повня настає у той момент, коли Місяць розташований з протилежного боку від Сонця. Остання чверть (або старий Місяць) спостерігається у південно-східній частині небосхилу перед світанком. Від одного молодика до наступного проходить 29,5 земних діб. Цей період місячних фаз називають *синодичним місяцем*.

**Конфігурація 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. На рис. 4.5 зображено протистояння 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.

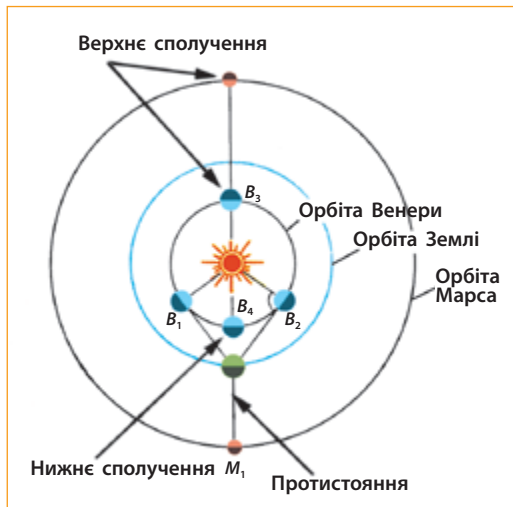


Рис. 4.5. Конфігурації Венери і Марса. Протистояння Марса: планета перебуває найближче до Землі, її видно всю ніч у протилежному від Сонця напрямку. Венеру найкраще видно ввечері у східну елонгацію ліворуч від Сонця ( $B_1$ ) та вранці під час західної елонгації праворуч від Сонця ( $B_2$ )

**Конфігурація 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. На рис. 4.5 зображено протистояння 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, тому що до нас повернена нічна півкуля планети (рис. 3.5). Така конфігурація називається нижнім сполученням із Сонцем. У верхньому сполученні планету теж не видно, адже між нею і Землею розташовується яскраве Сонце.

Найкращі умови для спостереження Венери і Меркурія бувають у конфігураціях, які називаються **східною та західною елонгаціями**. Східна елонгація — це момент положення, коли планету видно ліворуч від Сонця ввечері ( $B_1$ ). Західна елонгація Венери спостерігається вранці, коли планету видно праворуч від Сонця у східній частині небосхилу ( $B_2$ ).

**Сидеричний і синодичний періоди обертання планет.** *Сидеричний* період обертання визначає рух тіл відносно зір. Це проміжок часу, упродовж якого планета, рухаючись по орбіті, робить повний оберт навколо Сонця (рис. 3.6). *Синодичний* період обертання визначає рух тіл відносно Землі і Сонця. Це проміжок часу, упродовж якого спостерігаються одні й ті самі послідовні конфігурації планет (протистояння, сполучення, елонгації).

**Для допитливих**

З усіх астрономічних явищ, напевне, найбільшу увагу людей привертає *затемнення Сонця*, яке настає 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, адже площина орбіти Місяця нахилена до екліптики під кутом  $5^\circ$ . На орбіті існують дві точки, у яких Місяць перетинає площину екліптики, — вони називаються **вузлами місячної орбіти**. Затемнення Місяця або Сонця можуть відбутися тільки в тому випадку, коли Місяць перебуває поблизу вузла орбіти. Вузли місячної орбіти зміщуються у космічному просторі, тому затемнення відбуваються в різні пори року. Період повторення затемнень, або сарос, знали ще єгипетські жерці 4000 років тому. Сучасні обчислення дають таке значення саросу:  $\Gamma_{\text{сар}} = 6585,33$  доби = 18 років 11 діб 8 год. Протягом одного саросу в різних місцях на поверхні Землі відбуваються 43 затемнення Сонця та 25–29 затемнень Місяця, причому сонячні й місячні затемнення завжди відбуваються парами з інтервалом 2 тижні.

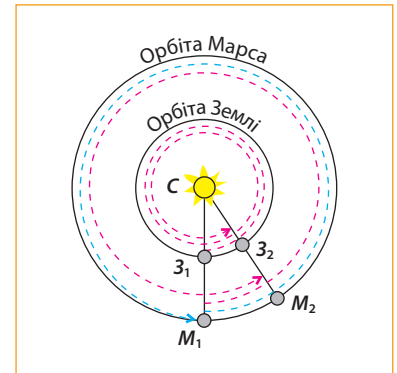


Рис. 3.6. Шлях, що відповідає сидеричному періоду обертання Марса навколо Сонця, зображено пунктиром синього кольору, синодичному — пунктиром червоного кольору. Положення С—З<sub>1</sub>—М<sub>1</sub> та С—З<sub>2</sub>—М<sub>2</sub> — два послідовних протистояння Марса

**Контрольні запитання**

1. Чим можна пояснити нерівномірність видимого руху Сонця по екліптиці?
2. За яких умов на Землі не відбувалося б зміни пір року?
3. Що розуміють під конфігураціями планет? Опишіть їх.
4. Дайте визначення синодичному і сидеричному періодам обертання планети. У чому полягають їх відмінності?
5. Якою має бути тривалість сидеричного та синодичного періодів обертання планети у випадку їх рівності?
6. Чому з поверхні Землі завжди видна лише одна півкуля Місяця? Опишіть особливості руху супутника нашої планети та послідовність фаз.

**4 Визначення маси і розмірів небесних тіл**

Найважливішою характеристикою небесного тіла є його маса, яку можна обчислити шляхом вимірювання сили тяжіння на його поверхні (гравіметричний спосіб). Закон всесвітнього тяжіння дозволяє обчислити масу Землі та інших небесних тіл (рис. 4.1).

На тіло масою  $m$ , яке розташоване поблизу поверхні Землі, діє сила тяжіння  $F = mg$ , де  $g$  — прискорення вільного падіння. Якщо тіло рухається лише під дією сили тяжіння, то застосовують закон всесвітнього тяжіння. Прискорення вільного падіння, спрямоване до центру Землі, обчислюють за формулою:

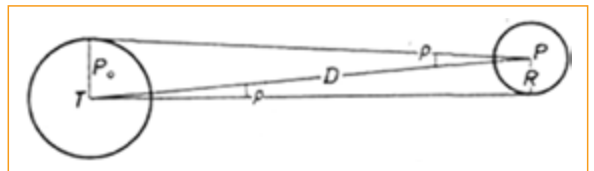
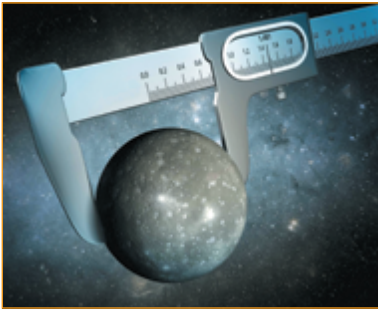


Рис. 4.1. Визначення розмірів небесних тіл



$$g = G \frac{M}{R_{\oplus}^2} \quad (4.2)$$

Отже, знаючи, що прискорення вільного падіння  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ,  $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$  і радіус Землі  $R_{\oplus} = 6370 \text{ км}$ , можна за формулою (4.2) обчислити масу Землі (4.4).

$$M = \frac{gR_{\oplus}^2}{G} \quad (4.3)$$

$$M = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ кг} \quad (4.4)$$



**Дізнайтеся, як можна обчислити масу небесних тіл за третім узагальненим законом Кеплера.**

Щоб визначити лінійний розмір небесного тіла, потрібно виміряти кут, під яким ми бачимо його радіус, і знати відстань до нього. На рис. 4.1 спостерігач із центру  $T$  Землі може бачити лише лінійний радіус  $R$  тіла під кутом  $p$ .

Відстань від центра Землі до центра небесного тіла позначимо літерою  $D$ . Тоді:  $R = D \cdot \sin(p)$ .

Якщо  $D$  виразити в радіусах Землі, то й  $R$  ми знайдемо в радіусах Землі. Якщо  $D$  виразити в кілометрах, то  $R$  вийде в кілометрах.

Наприклад, відстань до Місяця  $D$  дорівнює 60 земним радіусам, а радіус Місяця ми бачимо під кутом  $16'$ . Для Місяця  $R = 60 \cdot \sin(16') = 0,27$  радіуса Землі.

Підводячи підсумки, можна сказати, що результати наведених обчислювань доводять відсутність принципових відмінностей між Землею і небесними тілами.



### Для допитливих

В астрофізиці одиницею для вираження й порівняння мас зір та інших астрономічних об'єктів (зокрема галактик) є маса Сонця. Вона позначається через  $M_{\odot}$  і дорівнює масі Сонця:  $M_{\odot} = (1,98847 \pm 0,00007) \cdot 10^{30} \text{ кг}$ .

Сонячна маса перевищує масу Землі майже в 332 946 разів. Близько 99,86% маси Сонячної системи припадає саме на Сонце, а загальна маса усіх планет становить лише  $0,0013 M_{\odot}$ , причому більша частина сумарної маси планет належить Юпітеру (його маса у 1047,56 разів менша за сонячну).

Маса більшості окремих зір у Всесвіті складає від 0,08 до  $50 M_{\odot}$ , а маса чорних дір і цілих галактик може сягати мільйонів і мільярдів мас нашого світила.



Земля на тлі Сонця



### Контрольні запитання

1. Який закон допомагає обчислити масу небесного тіла? Назвіть його формулу.
2. Якими даними необхідно скористатися, щоб визначити розмір небесного тіла? У чому його можна виразити?

# Тема. Методи та засоби астрономічних досліджень

## 1 Випромінювання небесних тіл. Методи астрономічних досліджень

**Випромінювання небесних тіл.** У цій темі 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.

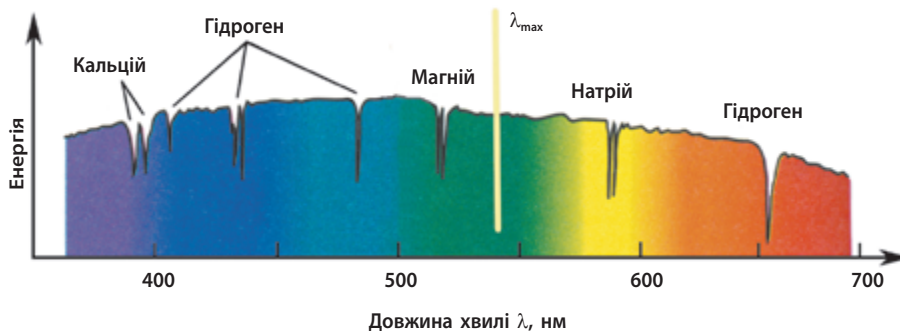


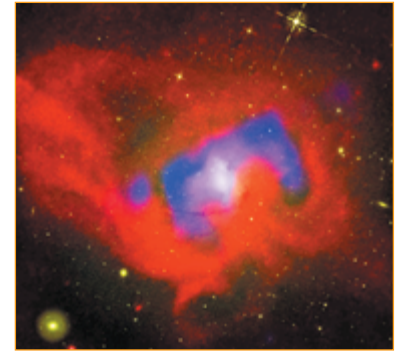
Рис. 1.1. Спектр випромінювання зорі з температурою  $T = 5800$  К. Западни на графіку відповідають темним лініям поглинання, які утворюють окремі хімічні елементи

Сонце та зорі випромінюють електромагнітні хвилі різноманітної довжини. Планети та їхні супутники відбивають сонячне світло й самі випромінюють інфрачервоні промені й радіохвилі. Розріджені газові туманності випромінюють електромагнітні хвилі чітко визначеної довжини.

Випромінювання небесних тіл, що не доходить до поверхні Землі, досліджується за допомогою штучних супутників, наукових орбітальних станцій, які обертаються навколо нашої планети, а також за допомогою автоматичних міжпланетних станцій, спрямованих до планет Сонячної системи. Випромінювання, яке проходить крізь земну атмосферу, вчені досліджують безпосередньо з поверхні Землі.

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 обчислення інтенсивності випромінювання вводиться поняття так званого **чорного тіла**, яке може ідеально поглинати й випромінювати електромагнітні коливання в діапазоні всіх довжин хвиль (безперервний спектр).

Зорі випромінюють електромагнітні хвилі різної довжини  $\lambda$ , але в залежності від температури поверхні найбільше енергії



Об'єднане зображення кулястого зоряного скупчення в сузір'ї Кентавра містить: ренгенівські дані телескопа «Чандра» (червоне світло), що показують гарячий газ; радіодані Дуже Великого Масиву Телескопів Карла Янські (синє світло), що показують частинки високої енергії; дані телескопа «Габбл» у видимому світлі (зелене) демонструють галактики в скупченні та за межами кластера

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

**Астрофізика** вивчає будову космічних тіл, фізичні умови на поверхні й всередині тіл, хімічний склад, джерела енергії та ін.

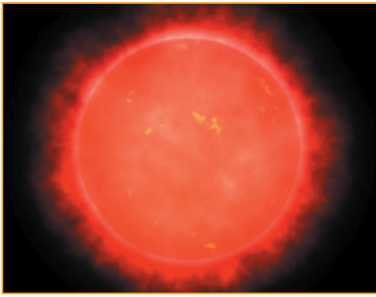


Рис. 1.2. Червоний карлик



**Для допитливих**

У природі абсолютно чорних тіл не існує, навіть чорна сажа поглинає не більш 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 певній 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.

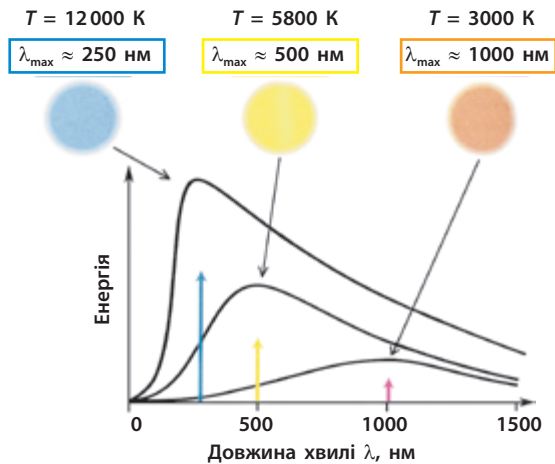


Рис. 1.3. Молоді зорі. Різні кольори зір пояснюються електромагнітним випромінюванням різної довжини

Рис. 1.4. Розподіл енергії у спектрі випромінювання зір. Колір зір визначає температуру поверхні  $T$ : сині зорі мають температуру 12000 К, червоні — 3000 К. При збільшенні температури на поверхні зорі зменшується довжина хвилі  $\lambda_{\text{max}}$ , яка відповідає максимуму енергії випромінювання

**Методи астрономічних досліджень.** 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, адже вивчають природу далеких космічних об'єктів за їхнім випромінюванням.

Астрофізичні експерименти в космосі все ж таки відбуваються — їх здійснює сама природа, а астрономи спостерігають за тими процесами, які відбуваються в далеких світах (рис. 1.5), і аналізують отримані результати. Ми спостерігаємо своєрідні явища в часі та бачимо таке далеке минуле Всесвіту, коли ще не існувала не тільки наша цивілізація, а 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 автоматичних міжпланетних станцій (АМС) астрономи проводять справжні фізичні експерименти як на поверхні інших космічних тіл, так і в міжпланетному просторі. Астрономічні спостереження здійснюються як у астрономічних обсерваторіях за допомогою різноманітних телескопів, так і неозброєним оком.

**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. 1.6). Це означає, що ми можемо бачити окремо дві зорі, якщо кут між ними  $a \geq 1'$ , а якщо  $a < 1'$ , то ці зорі зливаються в одне світило, тому розрізнити їх неможливо.

Ми розрізняємо диски Місяця і Сонця, адже 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.

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.



### 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.



### Контрольні запитання і завдання

1. Чим пояснюється різноманітність кольорів зір?
2. За допомогою яких законів астрономи вимірюють температуру далеких космічних світил?
3. Підготуйте стисле повідомлення про методи астрофізичних досліджень.
5. Чим визначається чутливість ока?



Рис. 1.5. Народження нової зорі

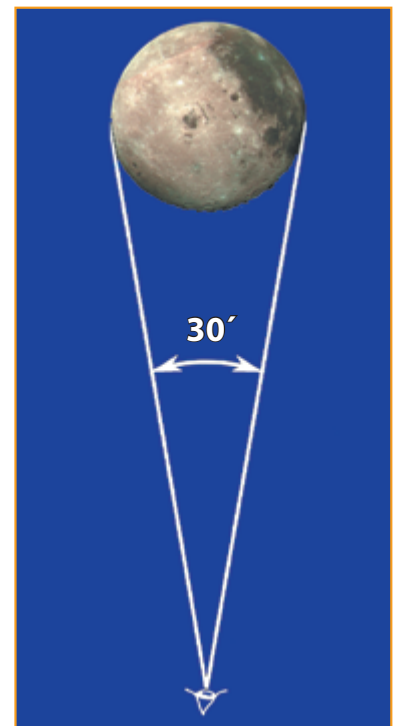


Рис. 1.6. Ми розрізняємо диск Місяця, оскільки його кутовий діаметр  $30'$ , у той час як кратери неозброєним оком не видно, адже їх кутовий діаметр менший від  $1'$



## 2 Принцип дії і будова оптичного та радіотелескопа, детекторів нейтрино та гравітаційних хвиль. Приймачі випромінювання

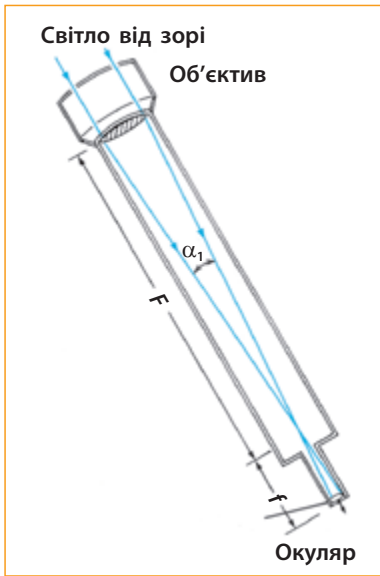


Рис. 2.1. Схема лінзового телескопа (рефрактора)

**Рефрактор** — телескоп, у якому для створення зображення використовують лінзи

**Рефлектор** — телескоп, у якому для створення зображення використовують дзеркало

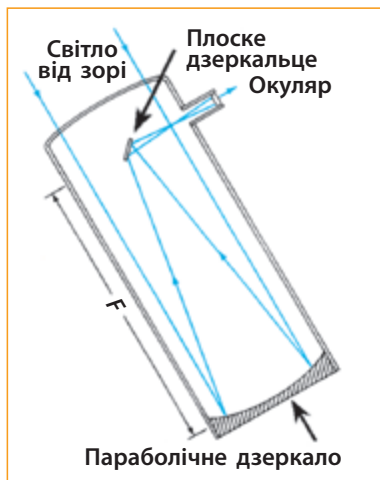


Рис. 2.2. Схема дзеркального телескопа (рефлектора)

**Принцип дії оптичного телескопа.** На жаль, більшість космічних об'єктів ми не можемо спостерігати неозброєним оком, оскільки 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. 2.1.) (лат. *refractus* — заломлення); рефлектори, або дзеркальні телескопи (рис. 2.2), (лат. *reflectio* — відбиваю) та дзеркально-лінзові телескопи.

Припустимо, що на нескінченності розташовується небесне світило, яке для неозброєного ока видно під кутом  $\alpha_1$ . Двоопукла лінза, яку називають об'єктивом, буде зображення світила у фокальній площині на відстані  $F$  від об'єктива (рис. 2.1). У фокальній площині встановлюють ПЗЗ матрицю (прилад із зарядним зв'язком), відеокамеру або інший приймач зображення. Для візуальних спостережень використовують короткофокусну лінзу — лупу, яку називають *окуляр*ом.

Збільшення телескопа визначається так:

$$n = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{F}{f}, \quad (2.3)$$

де  $\alpha_2$  — кут зору на виході окуляра;  $\alpha_1$  — 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 чітко зображення дає телескоп із більшим діаметром об'єктива.

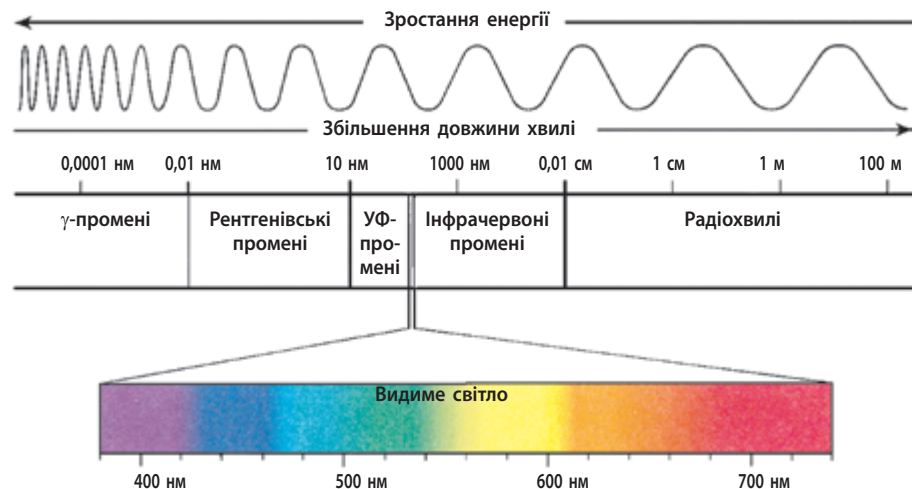


Рис. 2.4. Шкала електромагнітних хвиль

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: в телескоп не можна дивитись на Сонце, тому що його яскравість буде такою великою, що ви можете втратити зір!**

**Радіотелескопи.** Для реєстрації електромагнітного випромінювання в радіодіапазоні (довжина хвилі від 1 мм і більше — рис. 2.4) 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 антенні решітки. Принцип дії рефлекторного радіотелескопа такий самий, як телескопа-рефлектора, 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.

Для спостереження на коротких хвилях поширені дзеркальні параболічні антени, встановлені на поворотних пристроях, що служать для наведення радіотелескопів на джерело радіовипромінювання. За принципом дії такі радіотелескопи аналогічні оптичним телескопам-рефракторам. Часто використовуються комбінації ряду дзеркальних антен, що сполучені кабельними лініями в єдину систему — «решітки». Для спостереження на довгих хвилях використовують ґрати, що складаються з великої кількості елементарних випромінювачів, — *диполів* (рис.2.5).

**Детектори нейтрино.** Частинки нейтрино утворюються внаслідок деяких видів радіоактивного розпаду, ядерних реакцій, подібних до тих, що відбуваються на Сонці, чи внаслідок зіткнення космічних променів з атомами. Через дуже слабку взаємодію з речовиною нейтрино надає унікальну можливість спостерігати за процесами, які недоступні для досліджень через оптичні телескопи.

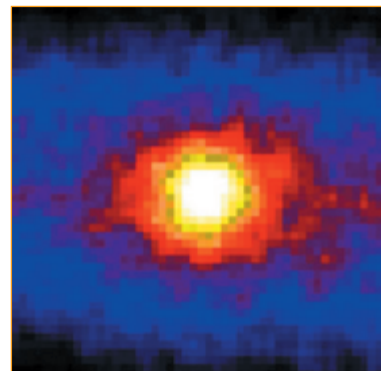
Швидкість руху нейтрино є близькою до швидкості світла. Вони відіграють велику роль у перетвореннях елементарних частинок. Маса нейтрино вкрай мала у порівнянні з іншими елементарними частинками, але вона є важливою для пояснення в космології феномену прихованої маси, оскільки, незважаючи на її мале значення, концентрація нейтрино у Всесвіті досить висока, щоб істотно вплинути на середню густину речовини.

Переважна кількість нейтринних детекторів, метою яких є вивчення нейтрино, розташовують глибоко під землею, щоб запобігти впливу на них будь-якого космічного випромінювання та інших джерел природного радіаційного фону. Через слабку взаємодію нейтрино з іншими елементарними частинками розмір нейтринного детектора має бути дуже великим та здатним уловити значну кількість нейтринних частинок.

Однією з найвідоміших обсерваторій, що спеціалізується на виявленні нейтрино, є обсерваторія Супер-Каміоканде в Японії.



Рис. 2.5. Найбільший у світі декаметровий радіотелескоп УТР-2 (Україна, Харківська область)



Зображення центра Сонця в променях нейтрино, отримане обсерваторією Супер-Каміоканде



### Дізнайтеся про нейтринний детектор Супер-Каміоканде.

**Нейтринна астрономія** — галузь астрономії, що спостерігає астрономічні об'єкти в спеціальних обсерваторіях за допомогою нейтринних детекторів

**Нейтрино** — стабільна, електрично нейтральна елементарна частинка, маса якої близька до нуля

**Нейтринний детектор** — комплекс, призначений для вивчення нейтрино

**Детектор гравітаційних хвиль.** Новітньою галуззю спостережної астрономії є *гравітаційно-хвильова астрономія*, що використовує гравітаційні хвилі (найдрібніші викривлення простору-часу, передбачені загальною теорією відносності Айнштейна) для спостережень та збору даних про нейтронні зорі й чорні діри, про вибухи Наднових, а також для дослідження інших процесів у космосі.

Безпосередня реєстрація гравітаційних хвиль є досить складною через слабкість гравітаційної взаємодії між зорями (вона майже на 40 порядків слабша за електромагнітну), тому гравітаційні хвилі спричиняють дуже мале викривлення простору. Приладом для їх реєстрації є детектор гравітаційних хвиль.

**Детектор гравітаційних хвиль (гравітаційний телескоп)** — пристрій, призначений для реєстрації гравітаційних хвиль. Згідно із загальною теорією відносності, гравітаційні хвилі, які утворюються внаслідок космічних процесів, викликають надзвичайно слабку періодичну зміну відстаней між пробними частинками.



### Дізнайтеся про найпоширеніші типи детекторів гравітаційних хвиль.



**Приймачі випромінювання.** Електронні прилади для реєстрації випромінювання космічних світл значно збільшують роздільну здатність і чутливість телескопів. До них належать фотопомножувачі та електронно-оптичні перетворювачі, дія яких ґрунтується на явищі зовнішнього фотоэффекту. Наприкінці ХХ ст. для отримання зображення почали застосовувати прилади зарядового зв'язку (ПЗЗ), у яких використовується явище внутрішнього фотоэффекту. Вони складаються з дуже маленьких кремнієвих елементів (пікселів), що розташовані на невеликій площі. Матриці ПЗЗ використовують не тільки в астрономії, а й у домашніх телекамерах і фотоапаратах — так звані цифрові системи для отримання зображення (рис. 2.6). ПЗЗ значно збільшують чутливість приймачів електромагнітного випромінювання і дають змогу реєструвати космічні об'єкти в десятки разів слабші, ніж при фотографуванні.

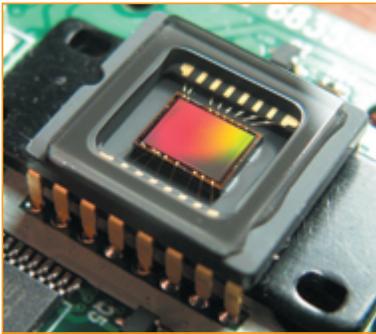


Рис. 2.6. Матриця ПЗЗ



### 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.

**Гравітаційна хвиля** — збурення гравітаційного поля, «брижі» простору-часу, що поширюються зі швидкістю світла



### Контрольні запитання

1. Розкажіть про призначення телескопів.
2. Чим відрізняються дзеркальний та лінзовий телескопи?

3. Який принцип роботи радіотелескопа?
4. Що вивчає нейтринна астрономія?
5. Яку функцію виконує нейтринний детектор? детектор гравітаційних хвиль?



### Тема для дискусії

Припустимо, що 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 спостереження

Поспостерігайте за нічним небом через саморобний телескоп-рефрактор. Його 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.

## 3 Сучасні наземні і космічні телескопи. Астрономічні обсерваторії

**Застосування в телескопобудуванні досягнень техніки і технологій.** Протягом ХХ ст. прогресивні дослідження в галузі астрономії стикалися із серйозним обмеженням розмірів телескопів. Зазвичай дзеркала для телескопів виготовляли товстими, щоб уникнути деформації відображення на їхній поверхні, але ці дзеркала були дуже важкими. Саме тому телескопи тривалий час були великими, важкими і дорогими пристроями.

Сучасні технологічні досягнення в телескопобудуванні дозволили значною мірою усунути ці недоліки. Активна оптика, комп'ютерне управління формою дзеркал телескопа дозволяють використовувати тонкі, легкі, а також «гнучкі» або сегментовані дзеркала (рис. 3.1, 3.2). Також тонкі дзеркала швидше охолоджуються в темряві й забезпечують більш чіткі зображення.

Високошвидкісні комп'ютери дозволили астрономам будувати нові гігантські телескопи з унікальним дизайном. Європейська Південна обсерваторія побудувала високо у горах Анд, на Півночі Чилі телескоп *Very Large Telescope (VLT)* (рис. 3.3). Він складається з чотирьох телескопів-веж з комп'ютером, що контролює рух дзеркал діаметром 8,2 м і лише 17,5 см завтовшки. Кожен із чотирьох телескопів може працювати самостійно або поєднувати своє світло з іншими, щоб працювати як єдиний велетенський телескоп.



Рис. 3.1 Телескоп БТА на Північному Кавказі



Рис. 3.2 Сегментоване дзеркало новітнього космічного телескопа «Джеймс Вебб»



Рис. 3.3 Телескоп Very Large Telescope в Андах



Рис. 3.4. Космічний телескоп «Габбл»

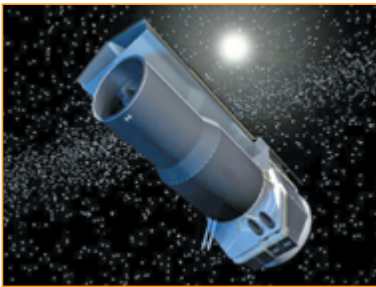


Рис. 3.5. Телескоп «Спітцер»

Італійські та американські астрономи побудували в штаті Аризона (США) *Large Binocular Telescope* (Великий Бінокулярний телескоп), який тримає пару дзеркал діаметром 8,4 м на одному кріпленні.

Телескоп *Gran Telescopio*, розташований на вершині вулкана Пік на Канарських островах, тримає сегментоване дзеркало діаметром 10,4 м.

Сучасні комп'ютери здійснили революційний прогрес в конструюванні й управлінні телескопами. Майже всі великі телескопи керуються астрономами і техніками з контрольної кімнати, а деякі навіть можуть використовуватися астрономами, які перебувають за тисячі кілометрів від обсерваторії. Деякі телескопи повністю автоматизовані і здатні здійснювати спостереження взагалі без постійного нагляду. Це надало можливість проводити масштабні спостереження одразу за мільйонами космічних об'єктів і на хвилях різної довжини. Інформацію, що збирають сучасні телескопи, астрономи аналізуватимуть ще впродовж кількох наступних десятиліть.

Із початком космічної ери настає новий етап вивчення Всесвіту за допомогою штучних супутників Землі (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.

Космічний телескоп «Габбл» (рис. 3.4) — американський оптичний телескоп, розташований на навколосемній орбіті з 1990 р.



Кімната центру керування НАСА за місією телескопа «Габбл»

Він є спільним проектом NASA і Європейського космічного агентства (ЄКА). Телескоп названо на честь Едвіна Габбла. Це унікальна багатоцільова орбітальна обсерваторія, найбільша серед запущених у космос у XX ст. Телескоп є першим апаратом із серії «Великі обсерваторії», за його допомогою здійснено багато важливих спостережень.

Інші видатні космічні телескопи із серії «Великі обсерваторії»: «Комптон», «Чандра», «Спітцер» (рис. 3.5).

У наш час функціонує багато обсерваторій, які реєструють та аналізують випромінювання всіх діапазонів — від радіохвиль до гамма-променів. Найбільші серед них:

- **Обсерваторія Джеміні** (Близнята) (рис. 3.6), має два восьмиметрові телескопи у різних місцях — на Гаваях та в Чилі. Інфрачервоний телескоп Південний Близнюк (*Gemini South*) розташований на висоті 2740 м в Андах (Чилі), а його брат Північний Близнюк (*Gemini North*) — на вершині заснутого вулкану Мауна-Кеа, Гаваї. Потужні обсерваторії належать сімом країнам.
- **Єркська обсерваторія** — астрономічна обсерваторія у Чиказькому університеті. У цій обсерваторії встановлено телескоп-рефрактор із діаметром головної лінзи 102 см (40 дюймів), виготовлений Елвіном Кларком; це був найбільший телескоп у світі до створення Маунт-Вілсонівського рефлектора.
- **Маунт-Вілсон** — астрономічна обсерваторія на горі Вільсон, на північний захід від Лос-Анджелеса, Каліфорнія.

Великий внесок у вивчення Всесвіту зробили також українські вчені: М. П. Барабашов, Ю. М. Кондратюк, М. К. Янгель та багато інших (рис. 3.7). За їхньої участі були створені перші космічні апарати, які почали досліджувати не тільки навколосемний простір, а й інші планети. Автоматичні міжпланетні станції серії «Луна», «Марс», «Венера» передали на Землю зображення інших планет із такою роздільною здатністю, яка в тисячі разів перевищує 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.



### Для допитливих

Першу в Україні астрономічну обсерваторію засновано 1821 р. адміралом А. Грейсом. Обсерваторію було збудовано у Миколаєві. Вона мала призначення обслуговувати Чорноморський флот. Друга в Україні — обсерваторія Київського університету, будівництво якої завершено 1845 р. Потім було відкрито обсерваторії в Одесі (1871) та Харкові (1888), у 1900 р. створено обсерваторію Львівського університету.



Рис. 3.6. Обсерваторія Джеміні



Рис. 3.7. Перший український супутник «Січ-1»

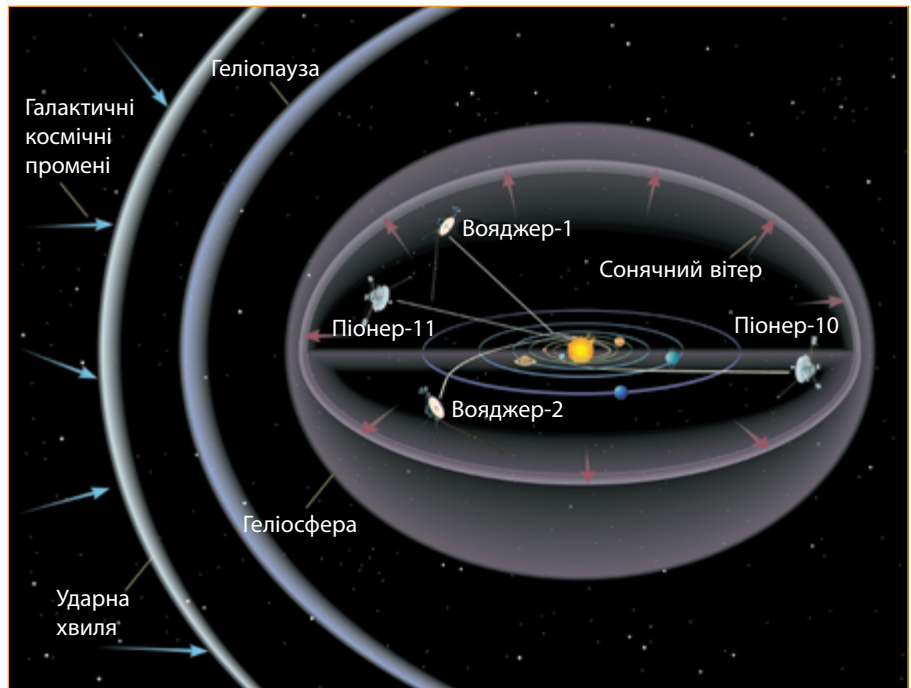


Головна обсерваторія НАН України, Київ

**?** Контрольні запитання

1. Які космічні телескопи ви знаєте?
2. Яка обсерваторія вважається найстарішою в світі?
3. Скористайтеся додатковими джерелами інформації. Знайдіть відомості про гамма-телескоп Фермі. Що є об'єктами спостережень телескопа Фермі?

**i** Дізнайтеся більше про флагман європейської астрономії.



Вихід АМС «Вояджер-1, 2» та «Піонер-10, 11» за межі Сонячної системи

# СОНЯЧНА СИСТЕМА

## Тема. Будова Сонячної системи

1

### Історія вивчення Сонячної системи

Перші спроби пояснити таємничі небесні явища були зроблені в Давньому Єгипті понад 4000 р. тому та в Давній Греції ще до початку нашої ери. Єгипетські жерці склали перші карти зоряного неба, дали назви планетам. Великий грецький філософ і математик Піфагор у VI ст. до н. е. висунув ідею, що Земля має форму кулі і «висить» у просторі, ні на що не спираючись. Астроном Гіппарх (180–125 р. до н. е.) у II ст. до н. е. визначив відстань від Землі до Місяця та відкрив явище прецесії осі обертання Землі.

Довгі століття в астрономії провідною була так звана *геоцентрична система світу* (рис. 1.1), що визначала центром Всесвіту Землю. Найбільшого розвитку ця теорія набула в монографії «Альмагест» («Велика побудова») александрійського астронома, географа й математика Клавдія Птолемея (бл. 100–170). За його теорією Землю у просторі оточують 8 сфер, на яких розташовані Місяць, Сонце та п'ять відомих у ті часи планет: Меркурій, Венера, Марс, Юпітер і Сатурн. На восьмій сфері розташовані зорі, які з'єднані між собою і обертаються навколо Землі як єдине ціле.

У I тис. н. е. найвизначніші астрономічні відкриття зробили арабські астрономи. У Багдаді, Каїрі, містах Сирії та Середньої Азії були зведені обсерваторії, складені перші таблиці руху Місяця і планет, винайдені астрономічні прилади для визначення висоти небесних світил над лінією горизонту (квадранти) й спостережень (секстанти).



Птолемей

**Геоцентрична система світу:** у центрі розташована Земля, а всі інші небесні тіла обертаються навколо неї

**Геліоцентрична система світу:** у центрі розташоване Сонце. Земля разом із планетами обертається навколо нього



Рис. 1.1. Геоцентрична система світу



Рис. 1.2. Геліоцентрична система світу





О. Хайям

Омар Хайям (1048–1131) висунув надзвичайно сміливе припущення про імовірність населеності далеких світів й нескінченність нашого Всесвіту.

Аль-Біруні (973–1048) у працях з астрономії висловив гіпотезу про рух Землі навколо Сонця.

Мірзо Улугбек (1394–1449) у Самарканді запровадив до використання сорокаметровий секстант, за допомогою якого міг обчислювати рух Сонця з небаченою до того часу точністю.

Теорія геоцентричної будови Всесвіту проіснувала до XVI ст., коли відбувся перший революційний переворот у світогляді. Польський астроном Миколай Коперник у праці «Про обертання небесних тіл» представив власну *геліоцентричну систему світу* (рис. 1.2). За його теорією, центральне місце належить Сонцю, а Земля та інші планети обертаються навколо нього по колових (не еліптичних) орбітах. Це відкриття дало ключ до пізнання Всесвіту, але ще довго вчення Птолемея не поступалося місцем новій теорії.

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.

Остаточно затвердив вчення Коперника, отримавши беззаперечні докази його правдивості, італійський фізик, механік і астроном Галілео Галілей. Ним була виявлена зміна фаз Венери, що свідчило про її обертання саме навколо Сонця, а не Землі. Також Галілей за допомогою найпростішого телескопа побачив на Місяці гори й кратери, відкрив чотири супутники Юпітера та побачив зорі в Молочному Шляху.

Сучасник Галілея Йоган Кеплер (1571–1630) ушавлений тим, що, здійснюючи спостереження за рухом Марса, визначив три закони руху планет. Це стало значним проривом у розвитку уявлень про будову Сонячної системи (рис. 1.4).

В історії астрономії XVIII ст. пов'язане з іменем англійського ученого Ісаака Ньютон, який сформулював основні закони фізики. У 1687 р. у книзі «Математичні засади філософії природи» він довів універсальність сили тяжіння, або гравітації. Сила тяжіння керує рухом зір і галактик, а також впливає на еволюцію цілого Всесвіту.

У XIX ст. почався новий етап у вивченні космосу, коли німецький фізик Йозеф Фраунгофер у 1814 р. відкрив лінії поглинання у спектрі Сонця — *Фраунгоферові лінії* (рис. 1.3).



Й. Кеплер

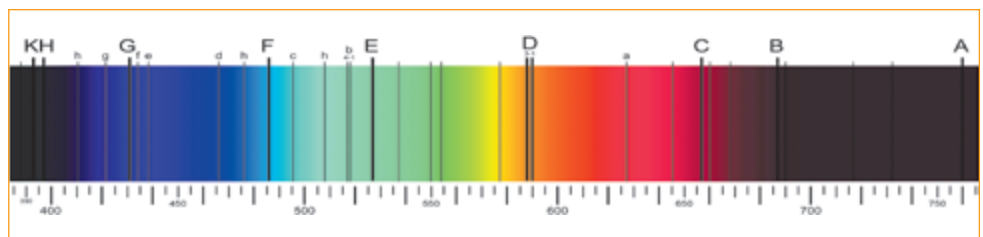


Рис. 1.3. Фраунгоферові лінії у спектрі Сонця

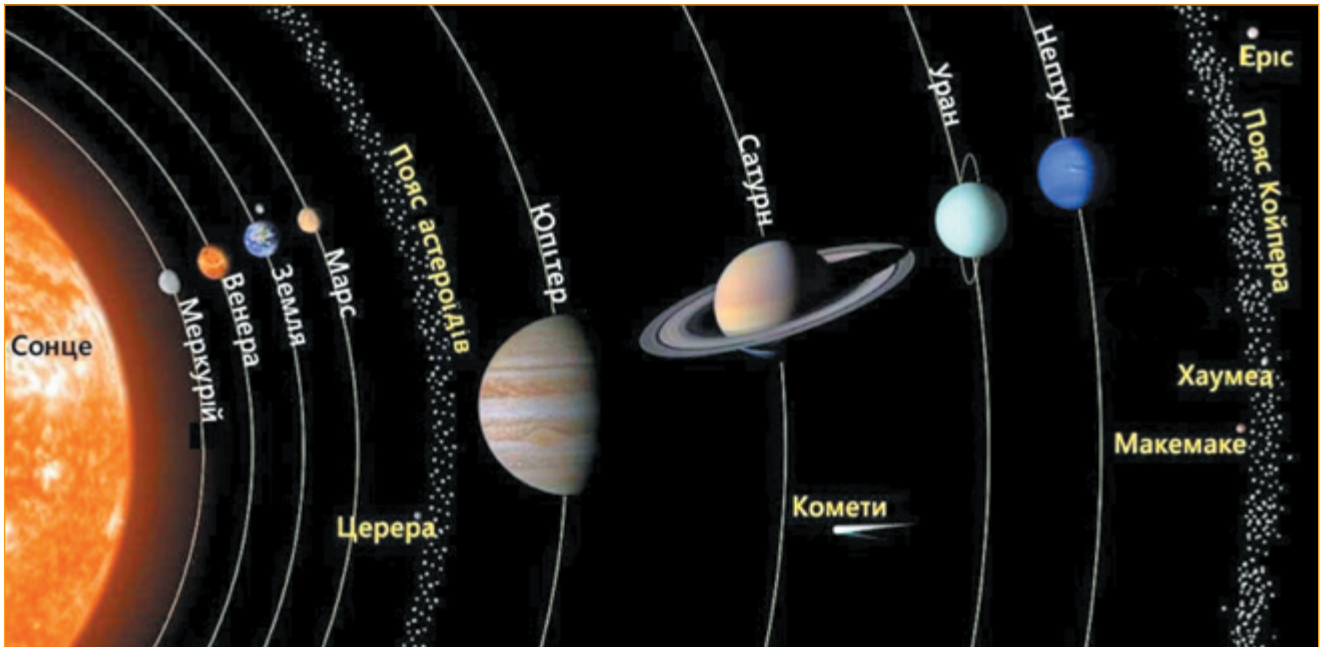


Рис. 1.4.. Схема будови Сонячної системи

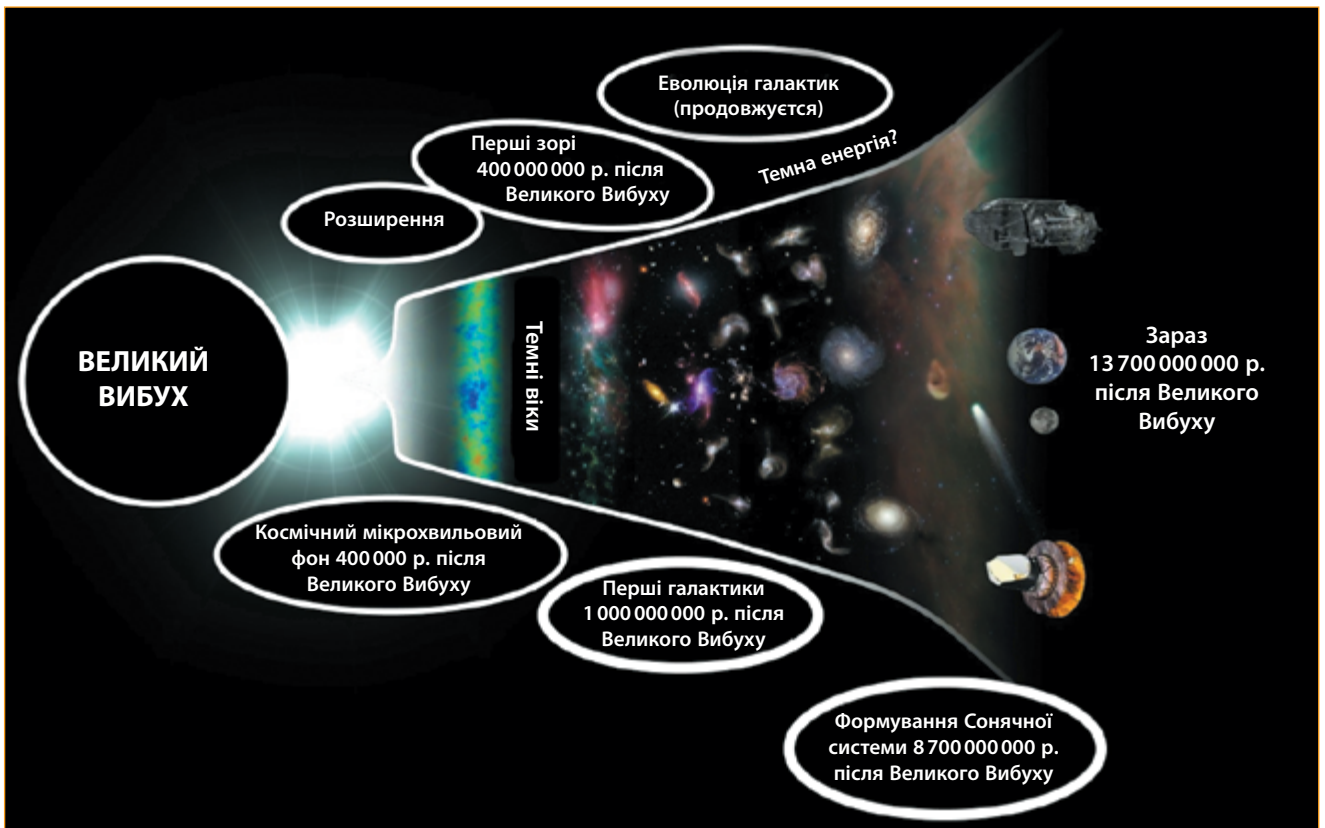


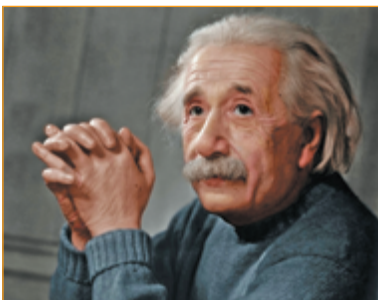
Рис. 1.5. Габбл довів, що галактики розбігаються. Пізніше вчені створили теорію еволюції Всесвіту від його зародження до сьогодення



М. Коперник



Е. Габбл



А. Айнштайн

Потім лінії поглинання були виявлені у спектрах інших зір. За допомогою спектрів астрономи визначають хімічний склад, температуру і навіть швидкість космічних тіл.

Пояс Койпера, який розташований за орбітою Нептуна і містить близько 70–100 тис. об'єктів діаметром понад 100 км, виявлено у 1992–2000 рр. на відстані 30–50 а.о. від Сонця.

У ХХ ст. відкриття Альбертом Айнштайном загальної теорії відносності допомогло астрономам збагнути дивне червоне зміщення ліній поглинання у спектрах далеких галактик, яке у 1929 р. відкрив американський астроном Едвін Габбл. Він довів, що галактики розбігаються від нас у різних напрямках (рис. 1.5). Потім вчені створили теорію еволюції Всесвіту від його зародження до сучасності. Це дало поштовх до виникнення нової науки — *космології*. З 4 жовтня 1957 р. почалась ера космонавтики. Цього дня в Радянському Союзі було запущено в космос перший у світі штучний супутник Землі (рис. 1.6), у створенні якого брали участь українські вчені та інженери.

У 1969 р. Нейл Армстронг став першою людиною, яка в рамках місії «Аполло-11» здійснила вихід на поверхню позаземного об'єкта — Місяця (рис. 1.7, 1.8).

Сьогодні в космосі літають сотні автоматичних станцій, які досліджують не тільки навколосезний простір, а й вивчають інші планети Сонячної системи.

### Основні етапи ери космонавтики

Дата	Подія
1957	Запуск штучних супутників Землі, початок космічної ери. З'явилася можливість створення космічних лабораторій
1958	Відкриття радіаційних поясів Ван-Аллена. Микола Козирев відзначає в місячному кратері Альфонс ознаки вулканічної діяльності
1959	Радіолокація Сонця (США). Станція <i>Луна-2</i> не виявляє у Місяця магнітного поля. Отримано перші фотографії зворотного боку Місяця
1961	Перший політ людини в космос
1961–1964	Радіолокація Меркурія, Венери, Марса, Юпітера (СРСР і США). Уточнені величина а.о. і період обертання Венери навколо Сонця, визначені період осьового обертання Венери (виявився зворотним), температура і фізичні характеристики поверхні планет
1965	Відкриття реліктового випромінювання. Перші фотографії поверхні Марса ( <i>Марінер-4</i> )
1967	Дослідження атмосфери Венери з апарату, що спускається <i>Венера-4</i>

Дата	Подія
1969	Висадка <i>Аполлона-11</i> на Місяці. Перший вихід людини на поверхню Місяця
1971	Перша м'яка посадка на Марс ( <i>Марс-3</i> )
1974	Сенсаційний висновок Стівена Хокінга про можливість «випаровування» чорних дір
1975	Перша фотопанорама поверхні Венери ( <i>Венера-9, 10</i> ). Фотографії Фобоса, Деймоса і поверхні Марса ( <i>Вікінг-1, Вікінг-2</i> )
1977	Відкриття кілець Урана. Запуск <i>Вояджера-2</i> , який передав неоціненну інформацію про зовнішні планети: Юпітер, Сатурн (1981), Уран, Нептун (1989)
1978	Відкриття Харона, супутника Плутона (Дж. У. Крісті, США)
1979	Виявлено кільця у Юпітера
1986	Дослідження комети Галлея АМС <i>Вега</i> і <i>Джотто</i> . У Урана виявлені 10 нових супутників
1990	Запуск космічного телескопа <i>Габбл</i>
1995	Автоматичний космічний апарат <i>Галілео</i> досяг Юпітера і вперше взяв проби атмосфери
1998	Початок функціонування першої багатонаціональної космічної станції. Найбільший на сьогоднішній день штучний об'єкт, побудований в космосі
2001	Перша посадка на астероїд Ерос космічного апарату <i>NEAR Shoemaker</i>
2004	Автоматичний космічний апарат <i>Кассіні</i> досяг орбіти Сатурна
2005	Перша м'яка посадка на Титан. Космічний апарат <i>Кассіні</i>
2009	Запуск місії <i>Kepler</i> . Перший космічний телескоп, призначений для пошуку екзопланет, подібних до Землі
2014	Перший штучний зонд для планової і м'якої посадки на комету. Зонд <i>Розетта</i> , комета Чурюмова-Герасименко
2014	Міжпланетний космічний зонд <i>Нові горизонти</i> досяг орбіти Плутона
2015	Вперше у космосі було вирощено їжу (салат)
2019	Перша м'яка посадка на зворотному боці Місяця

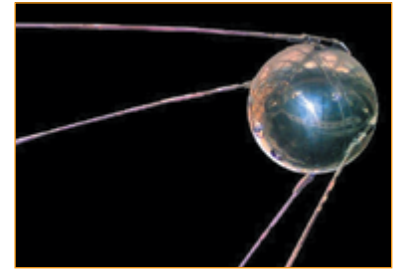


Рис. 1.6. Перший штучний супутник Землі



Рис. 1.7. Взліт «Аполло-11»



Рис. 1.8. Нейл Армстронг. Перша висадка людини на Місяці



### Контрольні запитання

1. Яка різниця між геоцентричною та геліоцентричною системами світу?
2. Скільки планет Сонячної системи було відомо за часів Птолемея?

3. Поясніть, у чому полягає сутність провідної астрономічної теорії грецького вченого Клавдія Птолемея.
4. Чим відомий Миколай Коперник?
5. Імена яких астрономів минулих часів вам відомі?
6. З якої події почалася ера космонавтики?

**Сонячна система** — Сонце та всі об'єкти, що гравітаційно пов'язані з ним

**Планета** — несамосвітнє тіло, що обертається навколо зорі і має незначну, порівняно з центральним світилом, масу

Великі планети мають сферичну або близьку до сферичної форму. В Сонячній системі планети видимі завдяки сонячному світлу, яке відбивають їхні поверхні

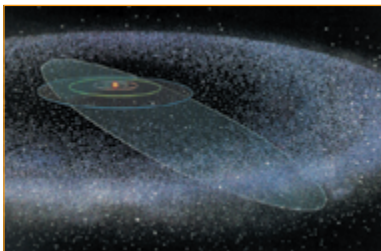


Рис. 2.1. Пояс Койпера та хмара Оорта



Рис. 2.2. Сонячний вітер

## 2 Склад і будова Сонячної системи. Можливість існування невідомих планет в Сонячній системі

Ми живемо на Землі — одній із планет, що належать до Сонячної системи. Ці планети рухаються по своїх орбітах навколо Сонця. Більшість планет (окрім Венери і Меркурія) мають супутники, які обертаються навколо своєї планети. До Сонячної системи крім Сонця, восьми планет і понад 100 їхніх супутників, входять також пояс астероїдів та пояс Койпера (рис. 2.1), комети, метеороїди та космічний пил.

Щодо Сонця планети розташовуються у такій послідовності: найближча — Меркурій, за ним — Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун.

У Сонячній системі є дві ділянки, заповнені малими тілами. *Пояс астероїдів*, що розташований між Марсом і Юпітером, за складом подібний до планет земної групи, оскільки складається переважно з силікатів і металів. Найбільшими об'єктами поясу астероїдів є Церера, Паллада і Веста. За орбітою Нептуна розташовані транснептунові об'єкти, що містять багато замерзлої води, аміаку та метану. Найбільшими з них є Плутон, Седна, Хаумеа, Макемаке та Ерида. Додатково до тисяч малих тіл у цих двох ділянках є інші популяції різноманітних дрібних тіл, таких як комети, метеороїди та космічний пил, що рухаються навколо Сонця.

*Сонячний вітер* — потік плазми від Сонця (рис. 2.2), що утворює в міжзоряному середовищі «міхур», який називається **геліосферою** і простягається до краю розсіяного диска. Гіпотетична хмара Оорта, що служить джерелом довгоперіодичних комет, може сягати приблизно в тисячу разів більшої відстані.

Головна роль у Сонячній системі належить Сонцю. Його маса приблизно в 750 разів перевищує сумарну масу всіх інших тіл, що входять до Сонячної системи, а тому центр мас Сонячної системи розташований в надрах Сонця.

Гравітаційне тяжіння Сонця є визначальною силою для руху всіх тіл Сонячної системи. Середня відстань від Сонця до найдалшої від нього планети Нептун становить 30 а.о., тобто 4,5 млрд км, що дуже мало в порівнянні з відстанями до найближчих зір. Тільки деякі комети віддаляються від Сонця на 1015 а.о. і можуть відчувати істотний вплив тяжіння інших зір.

Усі великі планети обертаються навколо Сонця в одному напрямку (або напрямку осевого обертання самого Сонця) по майже колових орбітах, кути нахилу площини яких одна до одної і до сонячного екватора малі. Відстані великих планет від Сонця утворюють закономірність Тіціуса-Бодє (рис. 2.3). Усі астероїди обертаються навколо Сонця в тому самому напрямку, що й великі планети, проте їхні орбіти помітно витягнуті й нахилені до площини екліптики. Більшість комет рухається у всіх можливих напрямках, а їхні орбіти близькі до параболічних. Це — періодичні комети, у них прямий рух.

Планети обертаються навколо своїх осей, причому у всіх планет, крім Венери й Урана, обертання відбувається в прямому напрямку, тобто в тому самому, що й обертання навколо Сонця.

**Правило Тіціуса-Бодє.** Цікава математична закономірність в розташуванні планет відносно Сонця була відкрита німецькими астрономами Тіціусом і Бодє і сформульована у 1766 р.:

$$a_n = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n,$$

де  $a_n$  велика піввісь планети в астрономічних одиницях;

$n$  — деяке число, що визначає певний номер планети за порядком збільшення відстані від Сонця.

Планета	Велика напіввісь $a$ , а. о.	$n$	$a_n = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$	Різниця: $a - a_n$	$\frac{(a - a_n)}{a}$
Меркурій	0,39	-1	0,55	-0,16	0,4
Венера	0,72	0	0,7	+0,02	0,03
Земля	1,0	1	1,0	0	0
Марс	1,52	2	1,6	-0,08	0,05
Юпітер	5,2	4	5,2	0	0
Сатурн	9,58	5	10	-0,42	0,04
Уран	19,14	6	19,6	-0,46	0,02
Нептун	30,2	7	38,8	-8,8	0,29

У Всесвіті перебувають мільярди галактик, серед яких є і наша Галактика, яку називають Молочний, або Чумацький, Шлях, до якої входить наша Сонячна система. На нічному небі ми бачимо її як сріблясту смугу (рис. 2.4). Наша Галактика (з грец. — *Молочний Шлях*) — це величезна система, у якій обертаються навколо центра 400 млрд зір.

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

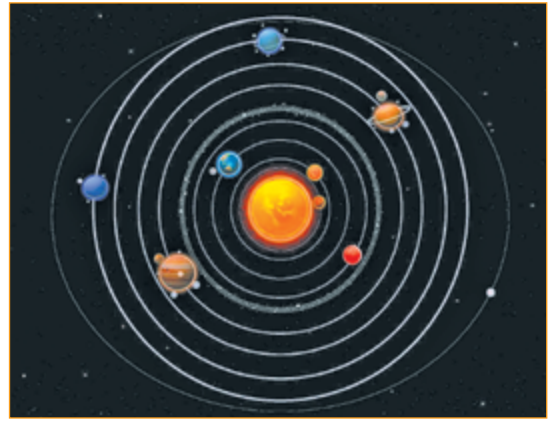


Рис. 2.3. Правило Тіціуса-Бодє — емпірична формула, яка приблизно описує відстані між планетами Сонячної системи і Сонцем



Рис. 2.4. Молочний Шлях

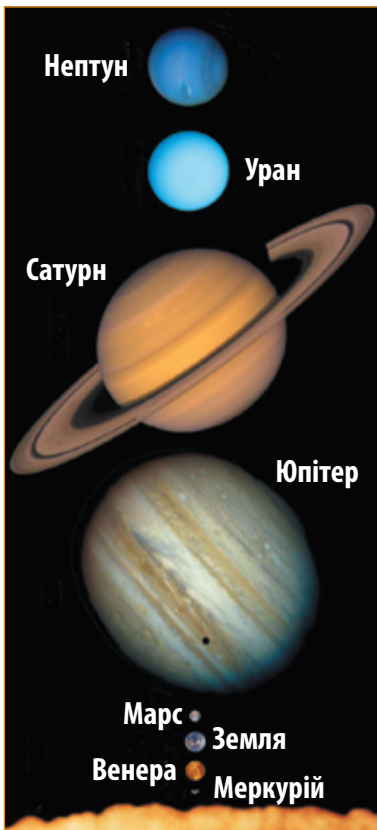


Рис. 2.5. Порівняльні розміри Сонця і планет

Кількісний склад Сонячної системи (на 2016 р.)	
Сонце (зоря)	1
Планети	8
Планети-карлики	5
Супутники планет, понад	150
Астероїди, понад	500 000
Комети, понад	1 000 000

Планети Сонячної системи за розмірами (рис. 2.5) і будовою розподілені на дві групи — *планети земної групи* — Меркурій, Венера, Земля, Марс (рис. 2.7) та *планети-гіганти* — Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун (рис. 2.8). Суттєва різниця між цими групами планет полягає в таких факторах:

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

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

Деякі астрономи вважають, що на зовнішні області Сонячної системи гравітаційно впливає велика невидима планета. Такі гіпотетичні об'єкти зазвичай називають «Планетами Ікс».

Одну з таких теорій висунули астрономи з Каліфорнійського технологічного інституту К. Батігін і М. Браун. Можливо, ця гіпотетична дев'ята планета-гігант, з масою порядку 10 земних, розташована поза Нептуном. Спрогнозована на основі аналізу руху низки транснептунових об'єктів (рис. 2.6).

Ця планета не має офіційної назви, дослідники між собою користуються назвою «Дев'ята планета» або «Фатті».

Імовірний період обертання дев'ятої планети — 10–20 тисяч років. У перигелії вона має наближатися до Сонця приблизно до 200 а.о. (30 млрд км), а в афелії — віддалятися до 600–1200 а.о. (90–180 млрд км). Орбіта планети, згідно з прогнозами, лежить у площині, біля

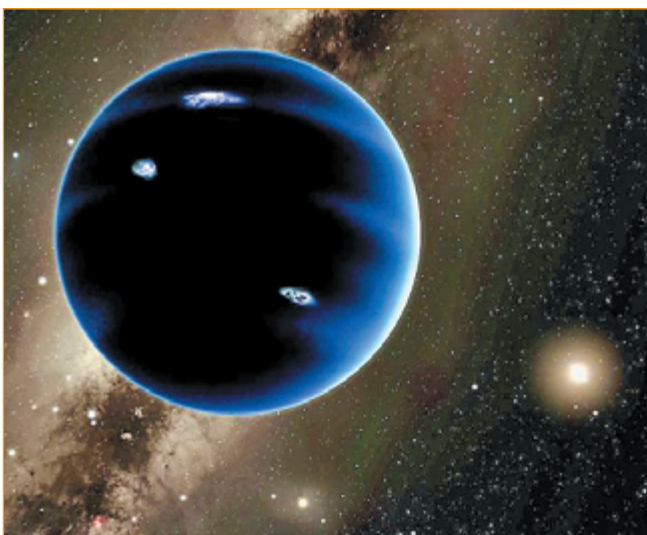


Рис. 2.6. Гіпотетична дев'ята планета Сонячної системи

якої групуються збурювані нею орбіти транс-нептунових об'єктів, однак витягнута в протилежний бік: її перигелій розташований у напрямку їх афеліїв.

Положення дев'ятої планети на орбіті невідоме. Найбільш імовірно виявити її поблизу афелію, де тіла рухаються найповільніше і, відповідно, проводять більшу частину часу. Телескопи, здатні зареєструвати такий об'єкт на таких відстанях, здебільшого мають дуже мале поле зору і погано підходять для пошуку. Якщо планета має потужну атмосферу з водою та гелію й ефективно перенесення енергії, то в її світності переважатиме випромінювання за рахунок внутрішніх джерел (гравітаційного стискання), що робитиме її самосвітною.

У грудні 2018 р. під час пошуку дев'ятої планети астрономи з Інституту науки Карнегі, а також Гавайського і Каліфорнійського університетів знайшли найбільш віддалений з усіх відомих науці об'єктів Сонячної системи — астероїд 2018 VG18, який вони згодом назвали «Farout» (англ. — *далеко*). Дослідження про відношення Farout до дев'ятої планети тривають. Науковці не відкидають варіанта, що це просто велика купа різних об'єктів, об'єднаних спільним гравітаційним полем.



Рис. 2.7. Планети земної групи

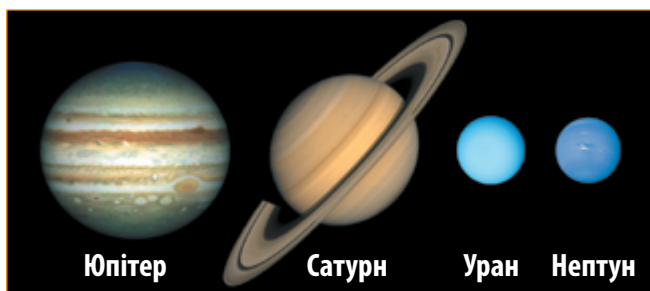


Рис. 2.8. Планети-гіганти



### Контрольні запитання

1. Що таке Сонячна система? Дайте пояснення.
2. Що називають планетою? Які планети входять до складу Сонячної системи?
3. Укажіть основні особливості будови Сонячної системи.
4. Які планети належать до земної групи?
5. Які планети належать до групи планет-гігантів?
6. Що є визначальною силою для руху всіх тіл Сонячної системи?
7. Поясніть, у чому полягає різниця між планетами земної групи та планетами-гігантами.
8. Чому астрономи досі не змогли виявити «Дев'яту планету» Сонячної системи? За яких умов її можливо відкрити?



## Тема. Планети Сонячної системи

### 1 Подібність та відмінність між планетами земної групи та планетами-гігантами. Планети земної групи. Фізичні та орбітальні характеристики

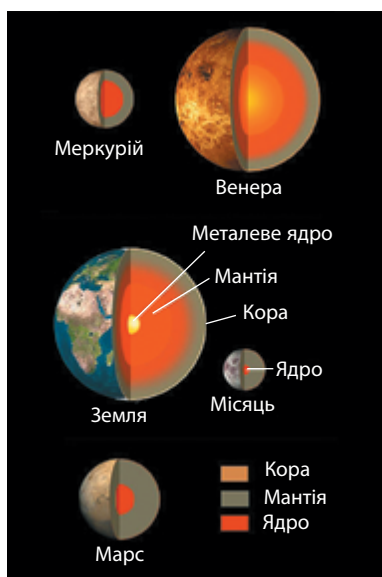


Рис. 1.1. Будова планет земної групи

Планети земної групи — Меркурій, Венера, Земля і Марс у порівнянні з планетами-гігантами мають відносно невеликі розміри, тверду поверхню та значну густину (близько  $5 \text{ г/см}^3$ ), адже складаються переважно з важких хімічних елементів. Ці планети мають гаряче *металеве ядро*, яке оточене мантією із силікатних порід (рис. 1.1).

Верхній шар планет земної групи — кора — формується під дією як внутрішнього тепла, так і зовнішніх (космічних) факторів. Але температура на поверхні планет земної групи суттєво відрізняється, адже 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.

Планети-гіганти (рис. 1.2), на відміну від планет земної групи, не мають твердої поверхні, адже за хімічним складом (99% водню і гелію) і густиною ( $\approx 1 \text{ г/см}^3$ ) вони нагадують зорі, а їхня велика маса спричиняє нагрівання ядер до температури понад  $+10000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Крім того, планети-гіганти досить швидко обертаються навколо осі та мають велику кількість супутників.

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, оскільки маса планет-гігантів недостатня для перетворення їх на зорі. Не виключена імовірність того, що гіганти випромінюють енергію, яка була накопичена під час утворення Сонячної системи кілька мільярдів років тому.

**МЕРКУРІЙ.** Меркурій — найменша планета Сонячної системи і найближча до Сонця. Меркурій (рис. 1.3) важко спостерігати з Землі, оскільки він не віддаляється від Сонця на кут, більший ніж  $28^\circ$ . Отже, протягом майже трьох місяців на планеті 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. Кратери на Меркурії названі іменами відомих митців. Один із великих кратерів названий на честь Тараса Шевченка (рис. 1.4).

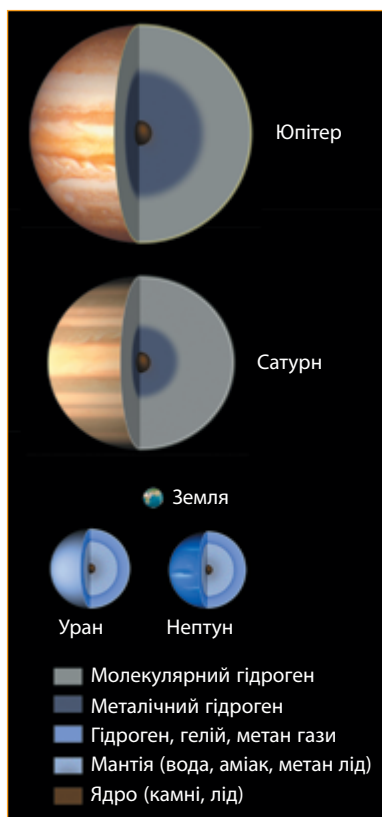


Рис. 1.2. Будова планет-гігантів

Тривалість дня і ночі та погода на Меркурії не змінюються, оскільки його вісь обертання майже перпендикулярна до площини орбіти, і змін пір року на ньому не відбувається. Денна температура сягає  $+430^{\circ}\text{C}$ , але протягом тримісячної ночі поверхня планети сильно охолоджується, і температура на світанку знижується до  $-170^{\circ}\text{C}$ . Ґрунт 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 наявність 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.

Незважаючи на близькість до Сонця, добовий перепад температур на Меркурії рекордний —  $650^{\circ}\text{C}$  (від  $+467^{\circ}$  на екваторі вдень під час проходження перигелію до  $-183^{\circ}$  там же перед світанком). Такий перепад — наслідок великої тривалості дня і ночі та практичної відсутності атмосфери. Але вже на глибині близько метра значних коливань температури немає, адже теплопровідність подрібнених порід, що вкривають поверхню, дуже мала.

Найбільшим кратером Меркурія є 1500-кілометровий басейн рівнини Спеки (рис. 1.5). На поверхні Меркурія були виявлені також величезні рівнини, заповнені застиглою базальтовою лавою. Це свідчить про те, що колись планета була розігріта, внаслідок чого в той час відбувалася інтенсивна вулканічна діяльність. Свіжі кратери на Меркурії утворилися після падіння метеоритів.

У приполярних кратерах планети є водяний лід. Джерелом води, ймовірно, є комети та інші дрібні тіла; при їх падінні вона випаровується, після чого частина пари конденсується на холодних ділянках. Завдяки дуже малому нахилу осі обертання Меркурія дно згаданих кратерів ніколи не освітлюється Сонцем, і лід там може зберігатися дуже довго. Він був виявлений під час радіолокації з Землі завдяки високому радарному альбедо і згодом досліджений АМС «Мессенджер» за допомогою нейтронного спектрометра (виявив високий вміст водню) та лазерного альтиметра (виявив високе інфрачервоне альбедо). Отримані дані вказують на те, що подекуди лід доволі чистий і в деяких місцях виходить на поверхню. Його загальну масу оцінюють у 1010–1012 тонн. Метеоритні кратери на Меркурії більш розповсюджені, ніж на будь-якій іншій планеті Сонячної системи.

На Меркурії розповсюджені загадкові дрібні западини, оточені світлим ореолом. Вони мають пласке дно з чіткими краями, неправильну форму й часто злиті в групи. Їхня глибина становить десятки метрів, а ширина — від десятків до тисяч. Найчастіше вони формуються в метеоритних кратерах. Відсутність кратерів у межах самих западин вказує, що вони є відносно молодими утвореннями. Їх поява може бути пов'язаною з сублімацією якихось легких речовин або з вулканічними процесами.



Рис. 1.3. Меркурій



Рис. 1.4. Кратер, названий на честь Тараса Шевченка

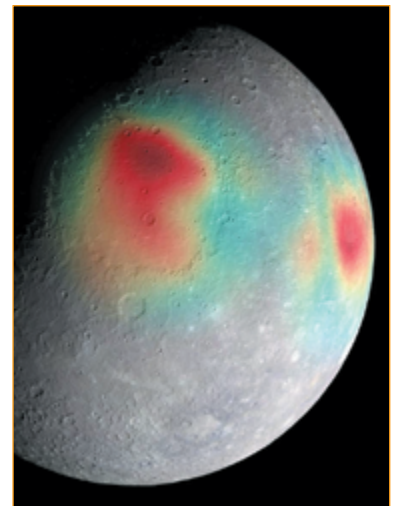
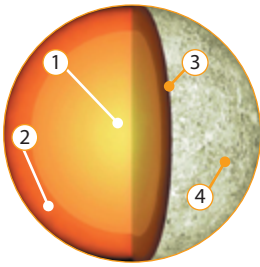


Рис. 1.5. Басейн рівнини Спеки

Параметри Меркурія



- 1 — ядро;
- 2 — мантія;
- 3 — кора;
- 4 — поверхня.

Зоряна величина (максимальна)	-2,2
Середня відстань до Сонця	57,9 млн км
	0,387 а. о.
Період обертання навколо Сонця	88 земних діб
Період обертання навколо осі	58,6 земних діб
Діаметр по екватору	4880 км
Маса (Земля = 1)	0,055
Середня густина	$5,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Температура поверхні	Від $-170^\circ\text{C}$ до $+430^\circ\text{C}$
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	0,38



Рис. 1.6. Венера

**ВЕНЕРА.** Венера (рис. 1.6) 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, адже вона першою з’являється на вечірньому небосхилі й останньою гасне на світанку.

Тривалий час Венеру називали планетою загадок, адже густі хмари приховують її поверхню (рис. 1.7). Тільки нещодавно радіоспостереження виявили, що Венера повільно обертається навколо осі у зворотному напрямку (порівняно з обертанням Землі), і сонячна доба на ній триває 117 земних діб.

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

На Венері дуже багато вулканів (рис. 1.8), але майже всі вони давно згасли. Єдині непрямі ознаки відносно недавньої вулканічної активності було помічено у гори Маат, проте прямих підтверджень цього поки немає.

Оскільки хмари роблять поверхню недоступною для спостережень у видимому світлі, її досліджують переважно радіолокаційними методами. З аналізу зображень визначилися основні риси геології планети. Було встановлено, що в зоні зйомки найпоширеніші рівнини декількох типів, утворені нашаруваннями вулканічних лав. Морфологія лавових потоків у сполученні з результатами визначення хімічного складу в місцях посадки космічних апаратів серії «Венера» — «Вега» свідчать про те, що це — базальтові лави, широко розповсюджені на Землі, Місяці, і, мабуть, на Меркурії й Марсі. У межах цих рівнин спостерігаються специфічні кільцеві вулканотектонічні структури поперечником у сотні кілометрів, що одержали назву «вінців». Серед рівнин розташовані

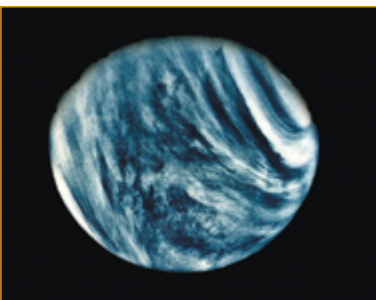


Рис. 1.7. Венера, вкрита хмарами

«острови» і «континенти» сильно пересіченої місцевості, не типової для інших планет. Структурний малюнок такої поверхні, зумовлений перетинаннями численних тектонічних розломів, нагадує вид черепичної покрівлі, тому місцевість цього типу отримала назву «тессера», що в перекладі з грецької означає «черепиця».

Панорама поверхні Венери, яку передала АМС «Венера-14»: небо вдень тьмяне, як на Землі перед дощем. Колір хмар і поверхні червоний, адже атмосфера поглинає сонячне проміння у синій частині спектра, як в океані на глибині 900 м. Хмари на Венері скоріше нагадують слабку імлу, в якій видно предмети на відстані до 1 км.

Температура поверхні Венери становить +480 °С, 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<sub>2</sub>) — близько 97 % за об'ємом. Несподіваним виявилось те, що протягом двомісячної ночі на поверхні Венери не спостерігається абсолютної темряви. Крім постійних спалахів блискавок (рис. 1.9), які супроводжуються гуркотом грому, там уночі видно світіння верхніх шарів атмосфери. Нічне освітлення підсилюють вогні від діючих вулканів, які внаслідок заломлення променів в атмосфері видно на відстані сотень кілометрів.

Астрономи створили детальну карту Венери (рис. 1.10), на якій позначено сотні кратерів, більшість з яких колись були вулканами, адже майже 80 % поверхні Венери вкрито вулканічною лавою. Деякі кратери утворились після падіння астероїдів.

Усім топонімічним назвам на карті Венери за традицією дають жіночі імена. Один із вулканів назвали на честь астронома Харківської астрономічної обсерваторії Валентини Федорець.

### Параметри Венери

Зоряна величина (максимальна)	-4,7
Середня відстань до Сонця	108,2 млн км
	0,723 а. о.
Період обертання навколо Сонця	224,7 земних діб
Період обертання навколо осі (зворотне обертання)	243 земні доби
Діаметр по екватору	12 104 км
Маса (Земля = 1)	0,815
Середня густина	5,2·10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>
Температура поверхні	480 °С
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	0,9

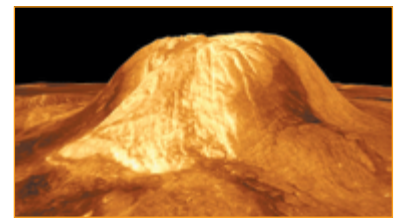


Рис. 1.8. Вулкани на Венері



Рис. 1.9. Спалахи блискавок в атмосфері Венери.

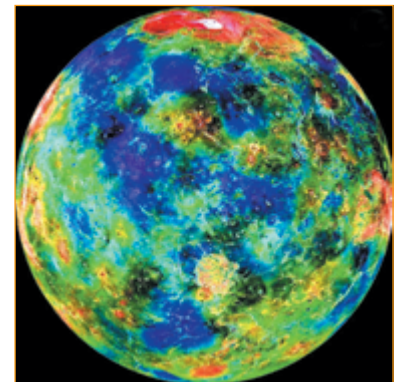
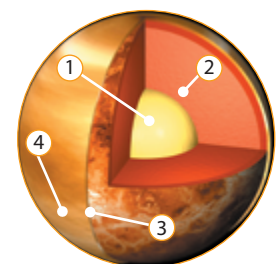


Рис. 1.10. Карта Венери



- 1 — ядро;
- 2 — мантія;
- 3 — кора;
- 4 — поверхня.

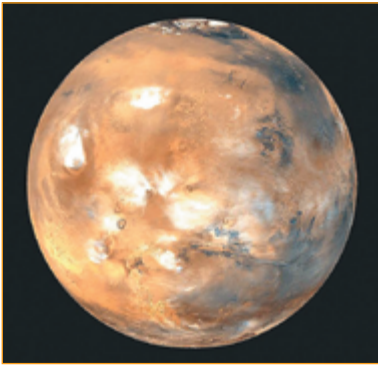


Рис. 1.15. Марс



Рис. 1.16. Канали Марса



Рис. 1.17. Безліч круглих кратерів свідчать про інтенсивне метеоритне бомбардування в минулому

**МАРС.** Названий колись за свій червоний колір на честь бога війни, «кривавий» Марс (рис. 1.15) 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  $65^\circ$  до площини орбіти) нагадують нашу планету. Щоправда, тривалість сезонів на Марсі майже у 2 рази довша, ніж на Землі. Навіть у невеликі телескопи на Марсі видно білі полярні шапки, 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» (рис. 1.16) — тоненькі, ледве помітні лінії, які з'єднували темні ділянки поверхні Марса. Ці повідомлення зачарували американського мільйонера П. Ловелла, який покинув 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.

Із близької відстані Марс більше схожий на Місяць, ніж на Землю, а безліч круглих кратерів свідчать про інтенсивне метеоритне бомбардування в минулому (рис. 1.17). На деяких схилах метеоритних кратерів видно застигли потоки якоїсь рідини (рис. 1.18). Можливо, під час вибуху з надр виділялася вода, а потім за низької температури знову замерзала. Ряд кратерів на Марсі назвали на честь українських астрономів: Барабашов, Герасимович, Сімейкін, Струве, Фесенков.

Чи є життя на Марсі? Розріджена атмосфера та великі добові перепади температури унеможливають існування високорозвинених форм життя — рослин або тварин. На знімках поверхні видно червону пустелю з дюнами піску, який переноситься вітром на тисячі кілометрів. Червоний колір марсіанського ґрунту (рис. 1.19) 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 — наявність мікроорганізмів на поверхні не зареєстрована.

На Марсі ніколи не випадає дощ, адже пари води в атмосфері у 100 разів менше, ніж на Землі. На самій поверхні Марса вода в рідкому стані не помічена, оскільки при тиску 0,006 атм температура кипіння води знижується до  $+3^\circ\text{C}$ . Тобто тільки-но на поверхні утворюється невелика калюжа, вода в ній закипає і випаровується. Запасів води у вигляді снігу та льоду під поверхнею Марса може бути набагато більше — якщо її рівномірно 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 густіша атмосфера, випадали дощі, і, ймовірно, існувало життя. Учені припускають, що клімат на Марсі міг змінитися через зіткнення з астероїдом.

## Контрольні запитання

1. Чому Меркурій не може утримувати сталу атмосферу?
2. Яка планета обертається навколо осі у протилежному в порівнянні із Землею напрямку?
3. На яких планетах земної групи відбувається зміна пір року?
4. Венера розміщується далі від Сонця, ніж Меркурій, але чому температура на її поверхні вища, ніж на Меркурії?
5. Які є докази того, що на поверхні Марса колись була вода в рідкому стані?
6. Чому поверхня Марса має червонуватий колір?
7. Обчисліть радіус орбіти Марса за правилом Тіціуса-Боде.
8. На Землі та на Марсі підкинули однакові камені на одну й ту саму висоту. Довше чи швидше опускатиметься камінь на поверхню Марса, ніж на Землю? Поясніть свою думку.

## Завдання для спостереження

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

## Для допитливих

Марс має два природні супутники — Фобос і Деймос, які із Землі можна побачити лише в телескопи. Зображення обох супутників були зафіксовані космічними станціями. Вони виявилися безформними брилами розмірами  $21 \times 27 \times 29$  км (Фобос) та  $8 \times 12 \times 15$  км (Деймос) і нагадують астероїди. Поверхня супутників вкрита кратерами діаметром від 50 м до 10 км, які свідчать про метеоритні удари, адже в надрах малих тіл вулканічна діяльність є неможливою.

## 2 Фізичні характеристики Землі. Внутрішня будова Землі. Будова атмосфери. Рухи в оболонках Землі. Астрономічні фактори клімату

**ЗЕМЛЯ.** Наша планета — третя за порядком планета Сонячної системи. Вона має форму сфероїда (кулі, слабо сплюснутої біля полюсів, рис. 2. 1). Вісь обертання Землі нахилена до площини її орбіти (площини екліптики) під кутом  $66,5^\circ$ . Земля рухається по своїй орбіті навколо Сонця із середньою швидкістю близько 30 км/с. Крім того, обертаючись навколо власної осі, вона робить один оберт за 24 год. Земля оточена атмосферою, яка простягається

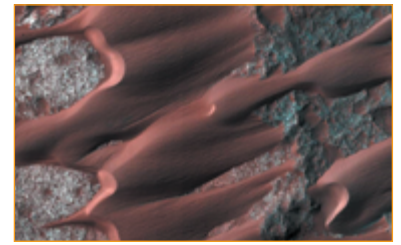


Рис. 1.18. На деяких схилах метеоритних кратерів видно застигли потоки якоїсь рідини



Рис. 1.19. Червоний колір марсіанського ґрунту пояснюють значним вмістом (до 16%) оксидів заліза (звичайної іржі)



Деймос



Фобос



Рис. 2.1. Вигляд Землі з космосу

в космос більш ніж на 1000 км, що створює на її поверхні сприятливі умови для існування життя (температуру, склад атмосфери, достатню кількість води).

**Хімічний склад атмосфери Землі** 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 становить 21 % об'єму атмосфери (рис. 2.2).

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



Рис. 2.2. Будова атмосфери Землі

Парниковий ефект можна побачити на прикладі парника та плівки, 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.

**Погода** (вітри, циклони та антициклони) формується (рис. 2.3) в нижніх шарах атмосфери, які називаються *тропосферою*, де передача енергії відбувається не тільки випромінюванням, а й за допомогою конвекції.

Океани і моря на поверхні Землі акумулюють величезну кількість сонячної енергії, адже 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.

Шар озону  $O_3$  (алотропна видозміна кисню) захищає живі організми планети від смертельного ультрафіолетового випромінювання Сонця. Ультрафіолетові промені знищують мікроорганізми та рослини,

викликають захворювання у людей. Якби зник озоновий шар в атмосфері, не стало б життя на поверхні Землі.

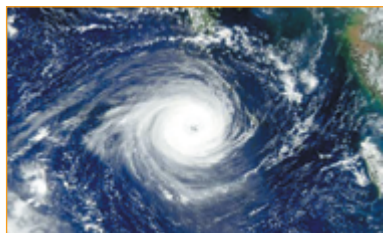


Рис. 2.3. Циклон формується в нижніх шарах атмосфери

**Магнітне поле Землі** (рис. 2.4) створює навколо планети на висоті понад 500 км пояси радіації. Елементарні частинки, які рухаються 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 планеті від смертоносних потоків космічних частинок.

**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 людству необхідно з'ясувати причини, що призводять до таких катастрофічних процесів. Причиною раптового зниження температури на поверхні Землі можуть бути зовнішні фактори (наприклад, падіння астероїда), геологічні процеси (виверження вулканів або рух материків) та антропогенні фактори.

Екологічну катастрофу на Землі може створити техногенна діяльність людини, внаслідок якої змінюється хімічний склад атмосфери. Наприклад, спалювання великої кількості органічного палива призводить до зменшення кисню в атмосфері та збільшення вуглекислого газу, який створює парниковий ефект (рис. 2.5). Протягом ХХ ст. середня температура Землі підвищилась на 0,8 °С, що призвело до інтенсивного танення льодовиків (рис. 2.6) і підвищення рівня океану, внаслідок чого нині 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.

**Будова Землі.** Геологічні дослідження показали, що температура всередині Землі кожні 34 м зростає на 1 °С і у свердловинах на глибині 10 км досягає +300 °С. Центральна частина Землі утворює металеве ядро.

Зовнішня частина ядра перебуває в розплавленому стані при температурі +7000 °С, а внутрішня — у твердому. 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 тектонічні плити, які повільно пересуваються.

### Параметри Землі

Кут нахилу екватора до площини орбіти	23,4°
Середня відстань до Сонця	149,6 млн км
	1 а. о.
Період обертання навколо Сонця	365,26 земних діб
Період обертання навколо осі	23,93 год
Діаметр по екватору	12 756 км
Маса	$5,97 \cdot 10^{24}$ кг
Середня густина	$5,5 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>
Температура поверхні	Від -83 °С до +52 °С

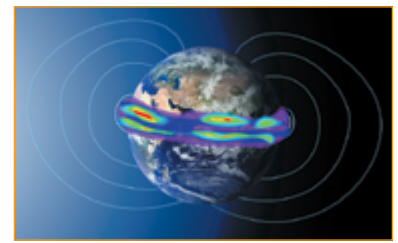


Рис. 2.4. Магнітне поле Землі

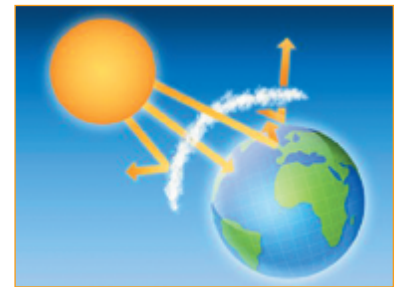
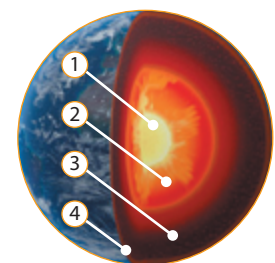


Рис. 2.5. Парниковий ефект



Рис. 2.6. Танення льодовиків



- 1 — внутрішнє ядро;
- 2 — зовнішнє ядро;
- 3 — мантія; 4 — кора.



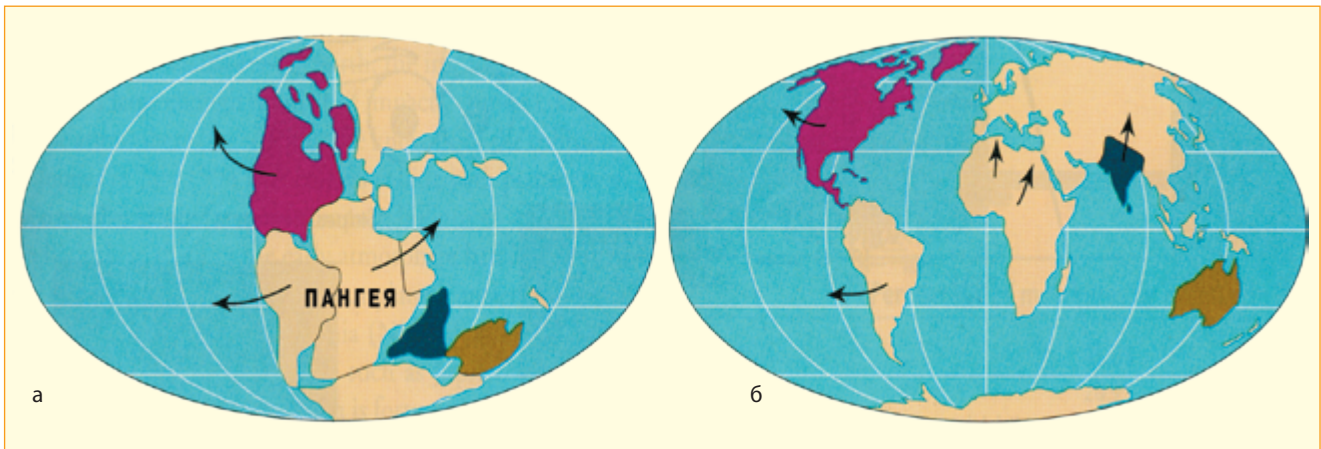


Рис. 2.7. Рух материків: а — розділення Пангеї; б — утворення материків

Вважають, що 200 млн років тому існували єдиний материк Пангея (рис. 2.7) та один Світовий океан. Пангея мала форму літери «С», центр якої перебував на екваторі. Уся центральна частина від 40° південної широти до 40° північної широти була вкрита пустелями. Ця пустельна частина відповідає сучасним Північній Америці, Південній Америці, Африці та Європі. Північна Європа (область Північного моря) була вкрита дуже солоним внутрішнім морем, яке періодично відновлювало зв'язок з океаном.



### Контрольні запитання

1. До якої групи планет належить Земля?
2. Чому на материках протягом року не спостерігається різкого перепаду температур?
3. Як змінюється з висотою температура в тропосфері?
4. Назвіть основні подібності та відмінності між Землею та Венерою.
5. Поясніть сутність парникового ефекту, його користь та небезпеку.



### 3 Місяць: фізичні характеристики та проблема походження. Рельєф та фізичні умови на поверхні

**Фізичні умови на Місяці.** Місяць (рис. 3.1) є природним супутником Землі, на якому атмосфера відсутня. Не дивлячись на те, що Місяць розміщений майже на такій самій відстані від Сонця, як Земля, і одиниця його поверхні отримує таку саму кількість енергії, що й одиниця поверхні Землі, фізичні умови на цих космічних тілах суттєво відрізняються. Головна причина таких відмінностей 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



Рис. 3.1. Місяць

температури  $+130^{\circ}\text{C}$ , а потім протягом двотижневої ночі поверхня охолоджується, і температура перед світанком становить  $-160^{\circ}\text{C}$ . За високої денної температури молекули газів покидають сферу тяжіння Місяця, тому на ньому неможливе існування густої атмосфери. На Місяці навіть удень темне небо, як у міжпланетному просторі, там не буває ані вітрів, ані дощів. Зміни пір року не відбувається, адже вісь обертання супутника Землі майже перпендикулярна до площини орбіти.

На поверхні Місяця навіть неозброєним оком видно темніші ділянки, що були названі *морями*, та світліші, які астрономи називали *материками*.

У морях немає вологи, адже у вакуумі вода миттєво закипає і випаровується або замерзає. Вода в твердому стані може зберігатися під поверхнею Місяця на глибині кількох десятків метрів, де протягом доби температура не змінюється і дорівнює  $-30^{\circ}\text{C}$ .

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. 3.5).

Більшість кратерів має 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, оскільки вік найстаріших твердих скель на материках — 4,4 млрд років, у той час як лава в морях застигла близько 3 млрд років тому.

Падіння метеоритів є основним фактором, який змінює зовнішній вигляд поверхні Місяця і призводить до своєрідної ерозії місячного ґрунту. На Місяць постійно падають тисячі метеоритів різної маси, які безупинно змінюють зовнішній вигляд його поверхні. Щоправда, великі кратери з діаметром у кілька сотень кілометрів утворилися дуже давно, ще 4 млрд років тому, коли падало більше метеоритів. Протягом мільярдів років космічні «бомбардування» так подрібнили верхній шар місячного ґрунту, що він перетворився на пил.

Дослідження Місяця за допомогою космічних апаратів розпочали в Радянському Союзі ще на початку космічної ери. У 1959 р. АМС серії «Луна» вперше у світі досягли Місяця: «Луна-1» стала першою штучною планетою Сонячної системи, «Луна-2» досягла поверхні Місяця, а «Луна-3» сфотографувала зворотний бік Місяця (рис. 3.6) і передала його зображення на Землю.

У липні 1966 р. «Луна-9» здійснила м'яку посадку в Океані Бур і вперше у світі передала телевізійний репортаж із поверхні зворотного боку супутника. Ми побачили, що й справді поверхня Місяця вкрита пилом, але міцність ґрунту достатня для того, щоб утримати станцію на поверхні. Потім Місяць досліджували АМС «Луноход-1, 2» (рис. 3.7), які рухались по поверхні, та АМС «Луна-20, 24», які в автоматичному режимі вперше доставили на Землю зразки місячного ґрунту.

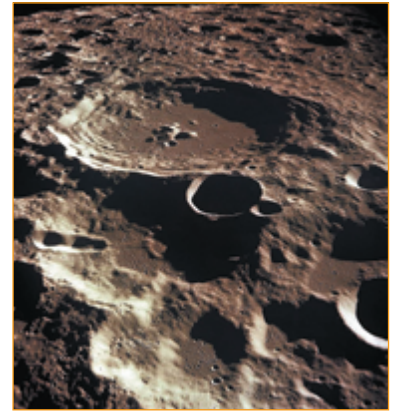


Рис. 3.5. Кратери на Місяці

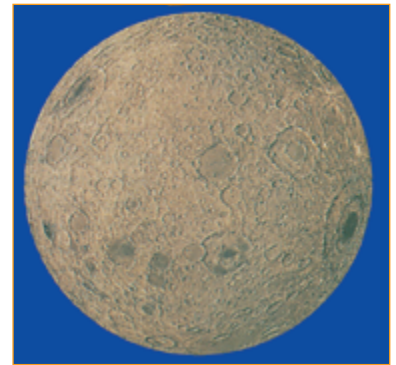


Рис. 3.6. Зображення зворотного боку Місяця. Десятки кратерів на Місяці назвали на честь українських астрономів



Рис. 3.7. «Луноход-1»



Рис. 3.8. Перша висадка людини на Місяці

Пілотований космічний корабель «Аполлон-11» (США) 21 липня 1969 р. здійснив посадку на поверхню Місяця, і астронавт Нейл Армстронг зробив перший крок по його поверхні (рис. 3.8) — так почався новий етап у дослідженні космосу. Усього на поверхні Місяця побувало 12 астронавтів (рис. 3.9).

Дослідження показали, що поверхня Місяця майже повністю вкрита тонким шаром пилу та уламками каміння. Цей шар назвали **реголітом** (з грец.— *подріблений камінь*). Його товщина 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.

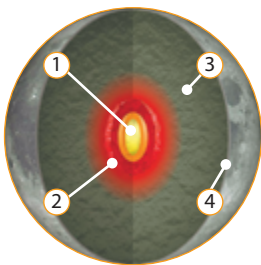


**Для допитливих**

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 в 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, адже 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, адже там атмосфера відсутня і не впливатиме на якість зображення.

**Реголіт** — це крихкий осколковий верхній шар на поверхні Місяця

**Параметри Місяця**



- 1 — ядро;
- 2 — внутрішня мантія;
- 3 — зовнішня мантія;
- 4 — кора.

Зоряна величина (максимальна)	-12,7
Середня відстань до Землі	384,4 млн км
	60,3 радіуси Землі
Період обертання навколо Землі	27,32 земних діб
Період обертання навколо осі	27,32 земних діб
Діаметр по екватору	3475 км
Маса (Земля = 1)	0,012
Середня густина	$3,34 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	0,17
Температура поверхні	Від +130°C до -170°C

**Еволюція Місяця.** Існують кілька гіпотез, які пояснюють походження Місяця. За однією Місяць спочатку існував як окрема планета й потім був захоплений гравітаційним полем Землі.

Інша гіпотеза полягає в тому, що обидва космічні тіла утворилися з одного згустку пилової хмари, що оберталася навколо Сонця.

Ще одна гіпотеза припускає, що спочатку Місяць був височиною на поверхні Землі, поки не відірвався від неї внаслідок відцентрованих сил.

Також існує гіпотеза, за якою Земля під час свого формування зіткнулася з іншим космічним тілом. Від молодшої планети відколовся уламок і з часом перетворився на її супутник. Саме ця теорія пояснює певну схожість у складі Землі та Місяця.



Рис. 3.9. Друга експедиція на Місяць

### ? Контрольні запитання

1. Чому вода на поверхні Місяця не може існувати в рідкому стані?
2. Чому з поверхні Землі ми бачимо тільки один бік Місяця?
3. За допомогою рухомої карти зоряного неба визначте, на тлі якого сузір'я спостерігався Місяць у день вашого народження поточного року? Коли він сходив і заходив у цей день?
4. Чим схожі між собою Місяць і Меркурій?
5. Чому поверхня Місяця значно густіше вкрита кратерами, ніж поверхня Землі?
6. Астронавт протягом кількох земних діб спостерігав з поверхні Місяця за рухом Землі на небесній сфері. Що він побачив? Опишіть і поясніть.

### 👥 Тема для дискусії

Що б ви могли запропонувати для освоєння Місяця в майбутньому?

### ☑️ Практична робота

«Визначення лінійних розмірів місячних кратерів».



Відбиток людської ноги на поверхні Місяця

## 4 Планети-гіганти. Фізичні та орбітальні характеристики

**ЮПІТЕР.** Це найбільша планета Сонячної системи (рис. 4.1). Головними складовими атмосфери Юпітера є водень — 86,1% та гелій — 13,8%. Верхній шар світлих хмар має температуру  $-107^{\circ}\text{C}$  і складається з кристаликів аміаку. Шар хмар з домішками сірки, що розташований нижче, має червоний колір. Найнижче розташовані хмари з водяного льоду, які утворюються на глибині 80 км від верхніх світлих хмар. Температура і атмосферний тиск із глибиною поступово зростають (рис. 4.2).



Рис. 4.1. Юпітер

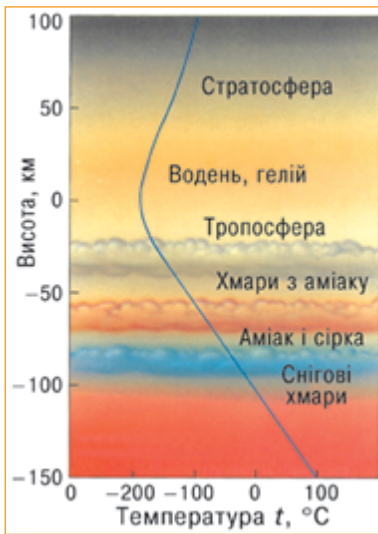


Рис. 4.2. Структура атмосфери Юпітера за результатами досліджень АМС «Галілей» (США)

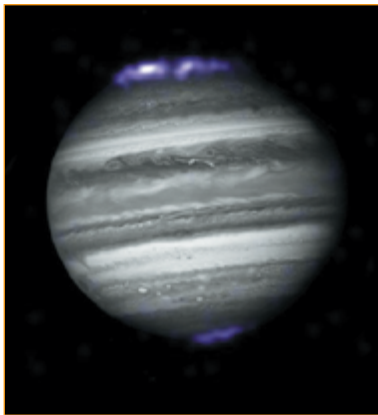


Рис. 4.3. Юпітер має яскраві стійкі саява навколо обох полюсів

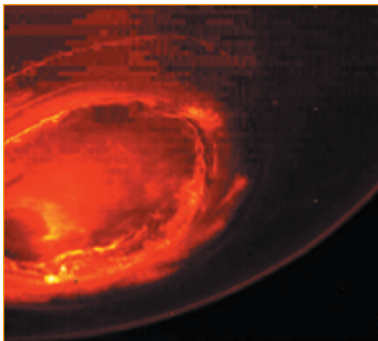


Рис. 4.4 . Полярне саяво Юпітера

У Юпітера немає твердої або рідкої поверхні. Його «поверхнею» прийнято вважати рівень, де тиск дорівнює 1 атм. Газовий шар, розміщений вище цього рівня, становить атмосферу.

Нещодавно з'явилися гіпотези щодо можливості існування життя у хмарах Юпітера, адже його атмосфера має всі компоненти, необхідні для появи земної форми життя. Деякі шари хмар є теплими та відносно комфортними для існування земних мікроорганізмів.

**Полярні саява.** Юпітер має яскраві стійкі саява навколо полюсів (рис. 4.3). На відміну від полярних саяв на Землі, що з'являються в періоди підвищеної сонячної активності, у Юпітера вони є постійними, хоча їх інтенсивність змінюється. Саява складаються з трьох головних компонентів: порівняно невелика *основна найяскравіша область* (менше 1000 км завширшки, розташована приблизно на 16° від магнітних полюсів): *гарячі плями* (сліди магнітних силових ліній, що сполучають іоносфери супутників з іоносферою Юпітера) та *області короточасних викидів*, розташованих всередині основного кільця.

Положення основних авроральних кілець стійке, як і їхня форма (рис. 4.4). Однак їхнє випромінювання сильно модулюється тиском сонячного вітру — чим сильніший вітер, тим слабші полярні саява. У грудні 2000 р. на полюсах Юпітера (переважно на Північному полюсі) орбітальним телескопом «Чандра» виявлене джерело пульсувального рентгенівського випромінювання, назване Великою рентгенівською плямою. Причини цього явища поки що не з'ясовані.

**Велика Червона Пляма**, розташована в південній півкулі Юпітера і за розмірами майже вдвічі більша, ніж Земля (рис. 4.5, 4.6), є величезним стійким вихором в атмосфері, у якому вітер дме з ураганною швидкістю до 100 м/с. Чому цей вихор, який помітили ще 300 років тому, існує до нашого часу, залишається загадкою.

Завдяки дослідженням, що здійснив наприкінці 2000 р. зонд «Кассіні», було з'ясовано, що Велика Червона Пляма пов'язана з низхідними потоками (вертикальна циркуляція атмосферних мас). Хмари тут розташовані вище, а температура їх нижча, ніж в інших областях.

Колір хмар Юпітера залежить від висоти: синю структуру мають найвищі, під ними розташовуються коричневі, потім білі і найнижчі — червоні. Швидкість обертання Великої червоної плями — 360 км/год. Її середня температура становить  $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ , причому між окраїнними та центральними частинами плями спостерігається різниця в температурі близько 3–4 градусів. Ця відмінність, ймовірно, є причиною того, що атмосферні гази у центрі плями обертаються за годинниковою стрілкою, в той час як на окраїнах — проти. Також висловлено припущення про взаємозв'язок температури, тиску, руху та кольору Червоної плями, хоча як саме він здійснюється, вченим поки що складно відповісти.

Наприкінці лютого 2002 р. ще один гігантський вихор — *Білий овал* (рис. 4.7) — почав гальмуватися Великою червоною плямою, і зіткнення тривало цілий місяць. Однак воно не завдало значної шкоди обом вихорам, оскільки відбулося по дотичній.

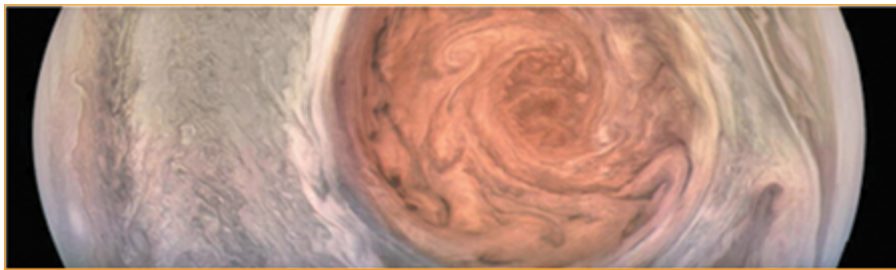


Рис. 4.5. Велика Червона Пляма, яка розташована в південній півкулі Юпітера

У 1938 р. було зафіксовано формування й розвиток на Юпітері трьох великих білих овалів поблизу  $30^\circ$  південної широти. Цей процес супроводжувався одночасним формуванням ще кількох маленьких білих овалів — вихорів. Це підтверджує, що Велика Червона Пляма є найпотужнішим із юпітеріанських вихорів. Історичні записи не виявляють подібних довгоживучих систем у середніх північних широтах планети. Поблизу  $15^\circ$  північної широти раніше також спостерігалися великі темні овали, але умови для виникнення вихорів і наступного їх перетворення на стійкі системи, подібні до Червоної плями, напевно, існують лише в південній півкулі.

**Блискавки** (яскраві спалахи) пов'язані зі штормом на Юпітері. У центрі вихору тиск виявляється вищим, ніж у навколишньому районі, а самі урагани оточені збуреннями з низьким тиском. За знімками, зробленими АМС «Вояджер-1» і «Вояджер-2», було встановлено, що у центрі таких вихорів спостерігаються колосальні за розмірами спалахи блискавок протяжністю в тисячі кілометрів. Потужність блискавок утричі перевищує земну.

Магнітосфера Юпітера у 1200 разів потужніша за земну. Проте величина напруження магнітного поля розташована у зворотній залежності від радіуса планети. А оскільки радіус Юпітера приблизно в 11 разів більший за радіус Землі, то і напруження магнітного поля Юпітера вище земного у 5–6 разів.

### Параметри Юпітера

Зоряна величина (максимальна)	–2,7
Середня відстань до Сонця	778,6 млн км
	5,204 а. о.
Період обертання навколо Сонця	11,87 земного року
Період обертання навколо осі	9,92 год
Діаметр по екватору	14 2980 км
Маса (Земля = 1)	318
Середня густина	$1,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Температура поверхні	$-133^\circ \text{C}$
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	2,2

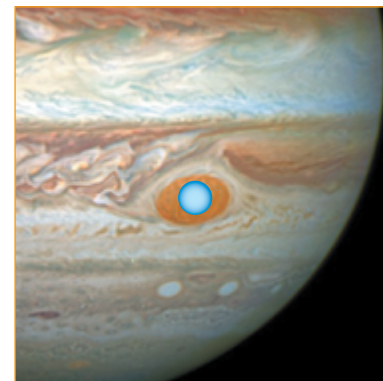
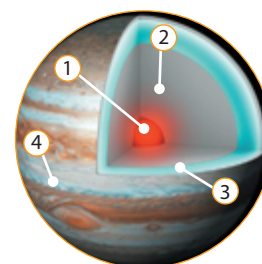


Рис. 4.6. Порівняльні розміри Великої Червоної Плями і Землі



Рис. 4.7. Гігантський вихор — Білий овал



- 1 — тверде ядро;
- 2 — металевий водень;
- 3 — рідкий водень;
- 4 — газоподібні водень та гелій

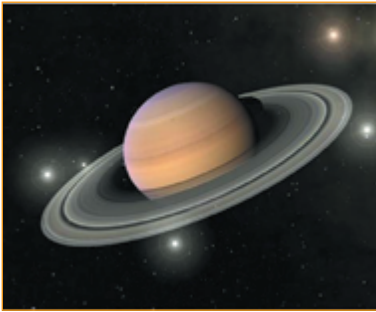


Рис. 4.8. Сатурн — найвіддаленіша планета, яку знали астрономи в стародавні часи

**САТУРН.** Ця планета-гігант є другою за розміром після Юпітера, її легко впізнати за гарними кільцями (рис. 4.8). Світлини, зроблені космічним апаратом «Вояджер-2», продемонстрували, що система кілець Сатурна складається переважно з численних уламків криги, невеликої кількості важких елементів і пилу. Товщина кожного кільця не перевищує 2 км.

Сатурн не має того розмаїття кольорів, який ми спостерігаємо в атмосфері Юпітера, але структура атмосфери цих планет є дуже схожою. Жовтуватого кольору верхнім шарам атмосфери Сатурна надають снігові хмари з аміаку. На глибині 300 км від верхніх шарів хмар розташовані хмари води, у яких сніг при підвищенні температури перетворюється на дощ. Середня густина Сатурна менша, ніж води, що свідчить про невелику кількість важких хімічних елементів у ядрі планети. Сатурн, як і Юпітер, має потужне магнітне поле, радіаційні пояси та є джерелом випромінювання.

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



#### Для допитливих

Сатурн випромінює у космос більше енергії, ніж отримує від Сонця. Астрономи нещодавно 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, тому що більш густий гелій (у порівнянні з воднем) опускається ближче до центра. Таким чином, потенціальна енергія крапель гелію перетворюється на кінетичну енергію, що призводить до підвищення температури в надрах. Із часом гелієві дощі припиняться, тому температура на Сатурні знизиться.

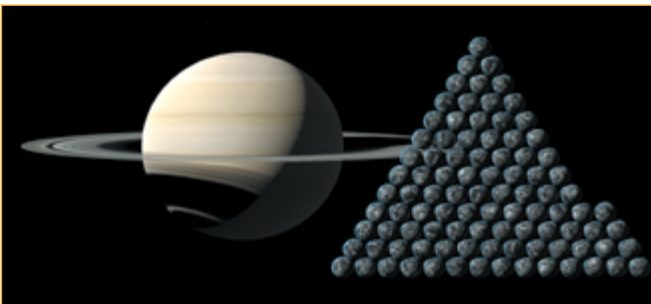


Рис. 4.9. Порівняльні розміри Землі і Сатурна

Навколо Сонця Сатурн обертається за 29,67 земного року на середній відстані 1427 млн км. Екваторіальний діаметр верхньої межі хмар — 120 536 км, а полярний — на кілька сотень кілометрів менший. В атмосфері Сатурна міститься 94 % водню і 6 % гелію (за об'ємом). Його маса у 95 разів більша за масу Землі (рис. 4.9), магнітне поле трохи слабше за земне. Вважається, що Сатурн має невелике ядро із силікатів і заліза, вкрите льодом і глибоким шаром рідкого водню.

На відміну від Юпітера смуги на Сатурні доходять до дуже високих широт —  $78^\circ$ . Недалеко від Північного полюса спостерігається величезне овальне утворення розміром із Землю, назване Великою білою плямою (рис. 4.10), а також виявлено кілька плям меншого розміру. Через більшу, ніж на Юпітері швидкість потоків, ці ураганні вихори швидко згасають і переміщуються зі смугами. Швидкості зональних вітрів поблизу екватора сягають 400–500 м/с, а на широті  $30^\circ$  — близько 100 м/с. Невисока контрастність кольорів на видимому диску Сатурна пов'язана з тим, що через низькі температури в надхмарній атмосфері Сатурна, де пари аміаку виморожуються, утворюється шар густого туману, який ховає структуру поясів і зон, тому на Сатурні вони помітні не так чітко, як на Юпітері.

Сатурну властивий такий самий патерн смуг, як і атмосфері Юпітера, однак на Сатурні ці смуги менш помітні й поблизу екватора значно ширші.

**Температура і тиск.** Склад хмар Сатурна залежить від висоти і змінюється зі збільшенням тиску. У верхніх шарах із температурою 100–160 К і тиском 0,5–2 бар хмари складаються з аміачного льоду. Хмари водяного льоду починають утворюватися на рівні, де тиск становить близько 2,5 бар, і продовжуються до рівня 9,5 бар, де температура змінюється в межах 185–270 К.

**Шестикутник Північного полюса**, його вихор (рис. 4.11), а також постійне хмарне утворення в атмосфері Сатурна поблизу Північного полюса на широті  $78^\circ$ , було вперше помічено на знімках АМС «Вояджер-2». Сторони шестикутника мають довжину приблизно 13800 км, що більше, ніж діаметр Землі. Уся структура обертається з періодом 10 год 39 хв 24 с (що збігається з періодом радіовипромінювання планети). Учені припускають, що це період обертання всієї внутрішньої частини Сатурна.

### Параметри Сатурна

Зоряна величина (максимальна)	0,7
Середня відстань до Сонця	1434 млн км
	9,56 а. о.
Період обертання навколо Сонця	29,67 земного року
Період обертання навколо осі	10,66 год
Діаметр по екватору	120536 км
Маса (Земля = 1)	95,2
Середня густина	$0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Температура поверхні	$-170 \text{ }^\circ\text{C}$
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	1,1

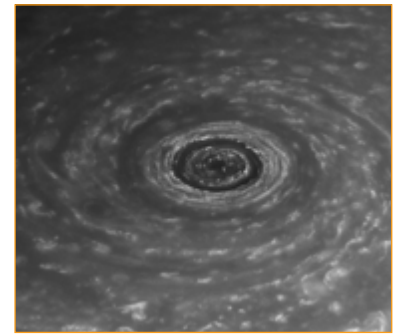


Рис. 4.10. Величезне овальне утворення розміром із Землю, розташоване недалеко від Північного полюса, назване Великою білою плямою

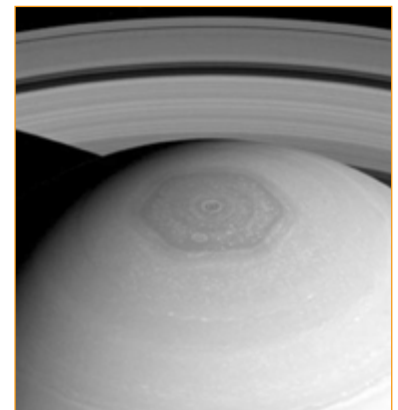
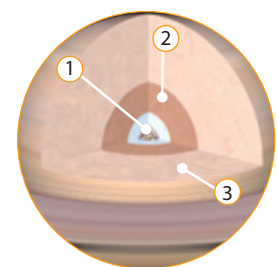


Рис. 4.11. Шестикутник Північного полюса та його вихор



- 1 — кам'яне ядро;
- 2 — металевий водень з крапельками гелію;
- 3 — комірки з циркулюючим воднем та гелієм



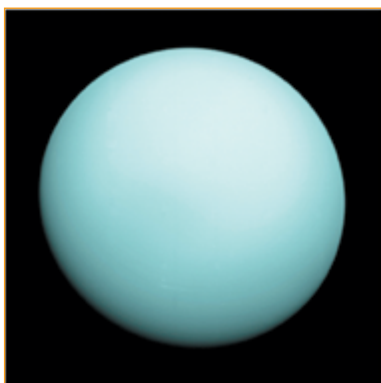


Рис. 4.12. Уран

**УРАН.** Він також належить до числа планет-гігантів (рис. 4.12). Його екваторіальний радіус (25 600 км) більший, ніж у Землі майже у 4 рази, а маса ( $8,7 \cdot 10^{25}$  кг) — у 14,6 раза. Вісь обертання Урана майже горизонтальна (нахилена під кутом  $98^\circ$  до площини орбіти), а напрямок обертання зворотний напрямку обертання навколо Сонця (з усіх інших планет зворотний напрямку обертання спостерігається також у Венери).

Подібно до інших планет-гігантів атмосфера планети складається в основному з водню, гелію та метану, хоча їхні частинки дещо нижчі порівняно з Юпітером і Сатурном.

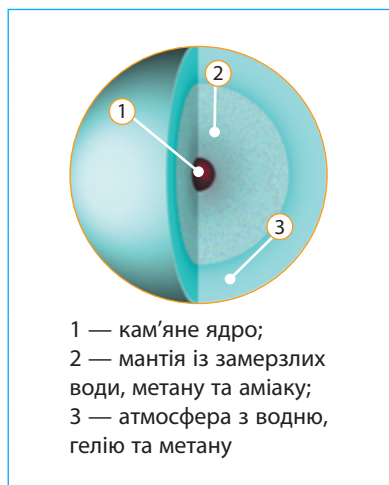
Теоретична модель будови Урана така: його поверхневий шар є газорідкою оболонкою, під якою розташована крижана мантія (суміш водяного й аміачного льоду), а ще глибше — ядро з твердих порід. Маса мантії та ядра становить приблизно 85–90% усієї маси Урана. Зона твердої речовини сягає  $3/4$  радіуса планети.

**Температура і тиск.** Температура в центрі Урана становить близько  $10\,000^\circ\text{C}$ , тиск 7–8 млн атмосфер. На межі ядра тиск приблизно удвічі нижчий. Внутрішнє тепло Урана значно менше, ніж в інших планет-гігантів. Відсутність надлишкового теплового випромінювання планети значно ускладнює визначення температури її надр, однак якщо припустити, що температурні умови всередині Урана близькі до характерних для інших планет-гігантів, то там можливе існування рідкої води і, отже, Уран також може належати до планет Сонячної системи, на яких можливе існування життя.

Хоча Уран не має твердої поверхні в звичному розумінні цього слова, найвіддаленішу частину його газоподібної оболонки прийнято називати атмосферою. Вважають, що атмосфера Урана починається на відстані 300 км від зовнішнього шару при тиску 100 бар і температурі 320 К.

Атмосфера Урана незвично спокійна у порівнянні з атмосферами інших планет-гігантів. Коли «Вояджер-2» наблизився до Урана, то вдалося зафіксувати всього 10 смуг хмар у видимій частині планети.

### Параметри Урана



Зоряна величина (максимальна)	5,5
Середня відстань до Сонця	2870 млн км
	19,18 а. о.
Період обертання навколо Сонця	84,0 земного року
Період обертання навколо осі	17,24 год
Діаметр по екватору	51 120 км
Маса (Земля = 1)	14,5
Середня густина	$1,3 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>
Температура поверхні	$-217^\circ\text{C}$
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	0,9



Рис. 4.13. Повний цикл обертання Урана навколо Сонця

Така спокійна атмосфера може бути пояснена надзвичайно низькою внутрішньою температурою. Вона набагато нижча, ніж в інших планет-гігантів. Найнижча температура, зареєстрована в тропосфері Урана, становить 49 К ( $-224\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), що робить планету найхолоднішою серед планет Сонячної системи.

**Сезонні зміни.** Протягом короткого періоду, з березня до травня 2004 р., в атмосфері Урана було помічено активнішу появу хмар. Спостереження зареєстрували швидкість вітру до 229 м/с (824 км/год) і постійну грозу, названу «фейєрверком четвертого липня». У 2006 р. в Інституті дослідження космічного простору (США) та Університеті Вісконсин-Медісон спостерігали темну пляму на поверхні Урана, що дозволило розширити знання про зміну пір року на цій планеті. Чому відбувається таке підвищення активності, точно невідомо — можливо, «екстремальний» нахил осі планети призводить до «екстремальних» змін сезонів. Визначення сезонних варіацій Урана отримати поки що неможливо, адже перші якісні відомості про його атмосферу були отримані менше ніж 84 роки тому (рік на Урані триває 84 земні роки). Вісь обертання Урана лежить майже у площині орбіти (рис. 4.14), 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 (рис. 4.13).

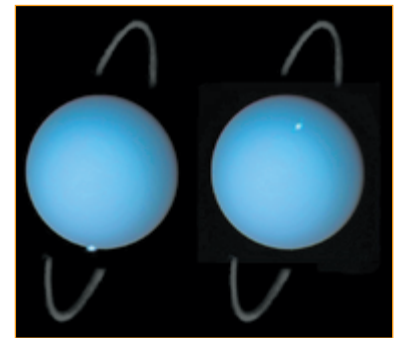


Рис. 4.14. Вісь обертання Урана лежить майже в площині орбіти, тому тропіки на ньому збігаються з Полярним колом



Дізнайтеся більше про Уран.



**НЕПТУН.** Ця планета розташована на околиці Сонячної системи і є першою, яку було відкрито завдяки математичним розрахункам, а не шляхом регулярних спостережень (рис. 4.15). Припущення щодо наявності планети були пов'язані з непередбаченими змінами в орбіті Урана, оскільки саме гравітаційні сили іншого великого космічного тіла могли призвести до появи цих відхилень. Згодом Нептун було знайдено неподалік обчисленого місцерозташування.

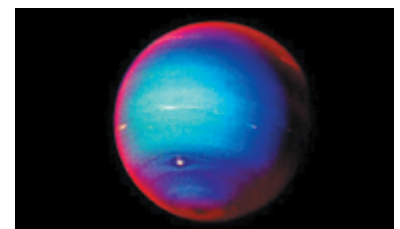


Рис. 4.15. Нептун



Рис. 4.16. Під хмарами температура атмосфери поступово підвищується до +700 °С

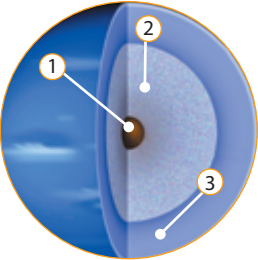
Нептун має період обертання 164,6 земного року і рухається навколо Сонця еліптичною, близькою до кругової, орбітою; його середня відстань від Сонця у 30 разів більша, ніж у Землі, і становить приблизно 4491 млн км.

**Сезонні зміни.** Через довгий орбітальний період Нептуна сезони на ньому тривають близько 40 років кожний. Оскільки планета не має твердої поверхні, її атмосфері властиве диференціальне обертання. Широка екваторіальна зона обертається з періодом приблизно 18 годин, що повільніше, ніж 16-годинне обертання магнітного поля планети. На противагу екватору, полярні області роблять оберт за 12 годин. Серед усіх планет Сонячної системи такий вид обертання найбільш яскраво виражений саме у Нептуна. Це призводить до сильного широтного зрушення вітрів.

**Температура і тиск.** Під хмарами (рис. 4.16) температура атмосфери поступово підвищується до +700 °С, тому вода там не може перебувати в рідкому стані. Більш реальною є гіпотеза про водяні хмари з розчином аміаку, густина яких може перевищувати густину рідкої води в кілька разів. Швидкість вітрів у хмарах сягає фантастичної величини — 500 м/с.

На Нептуні виявлено велетенський вихор із діаметром понад 1000 км, який має назву Велика Чорна Пляма (рис. 4.17). Темні вихори Нептуна — це системи високого тиску, що зазвичай супроводжуються яскравими «супутніми хмарами». Яскраві хмари утворюються, коли потік навколишнього повітря порушується і переміщується вгору над темним вихором, через що гази можуть замерзати на кристали льоду метану.

### Параметри Нептуна

 <p>1 — кам'яне ядро; 2 — пухка суміш із замерзлих води, аміаку й метану; 3 — атмосфера з водню, гелію та метану</p>	Зоряна величина (максимальна)	7,8
	Середня відстань до Сонця	4491 млн км
		30,0 а. о.
	Період обертання навколо Сонця	164,6 земного року
	Період обертання навколо осі	16,11 год
	Діаметр по екватору	49 528 км
	Маса (Земля = 1)	17,2
	Середня густина	$1,8 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>
Температура поверхні	-214 °С	
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	1,1	



### Контрольні запитання

1. Які особливості характерні для планет-гігантів?
2. У яких планет більші періоди обертання навколо осі: у планет-гігантів чи планет земної групи? Поясніть.

3. Назвіть найбільшу планету Сонячної системи. У чому полягає її особливість?
4. Чому Юпітер порівнюють із зорею?
5. Що в Сатурна є найбільшим, а що найменшим порівняно з іншими планетами Сонячної системи?
6. Чим обумовлена зміна пір року на Урані?
7. Яка природа Великої Чорної Плями на Нептуні?
8. Намалюйте орбіту Нептуна в проекції на площину екліптики.
9. Поясніть, чим особливе відкриття Нептуна порівняно з відкриттям інших планет Сонячної системи.

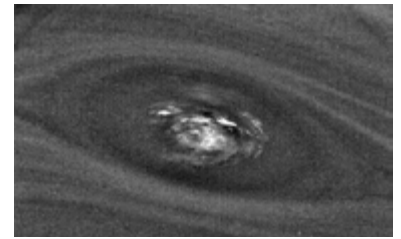


Рис. 4.17. Велика Чорна Пляма (фото із зонду)



### Тема для дискусії

Чому виникли гіпотези про можливість існування життя у хмарах Юпітера?



### Завдання для спостереження

За допомогою астрономічного календаря відшукайте на небі Юпітер та Сатурн і визначте, у якому сузір'ї спостерігаються ці планети.



### Практична робота

«Спостереження планет Сонячної системи (фаз Венери, смуг та плям в атмосфері Юпітера, кільце Сатурна)».

## 5 Супутники планет. Кільця планет

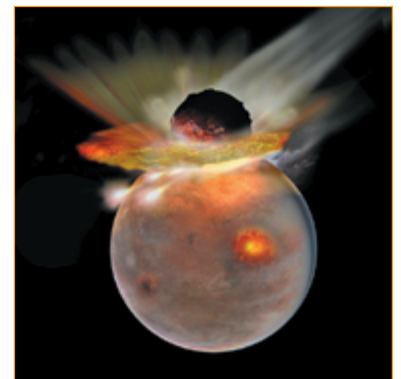
**Супутники Марса.** Марс має два супутники — Фобос і Деймос. Фобос робить повний оберт навколо Марса за 7 год 39 хв. Супутник перебуває на відстані 9400 км від поверхні планети. Це ближче межі Роша, і без внутрішнього опору Фобос було б розірвано на частини припливними силами. Ці сили також сповільнюють рух супутника і, можливо, менш ніж за 100 млн років призведуть до його зіткнення з Марсом.

Деймос розташований на більш віддаленій орбіті — 23 400 км, і припливні сили зумовлюють його подальше віддалення від планети. Повний оберт навколо Марса він здійснює за 30 год 17 хв.

Обидва супутники видно на Марсі не з усіх місць через їхні невеликі розміри, близькість до планети й приєкваторіальні орбіти.

**Супутники і кільця Юпітера.** Станом на липень 2018 р. відомо 79 супутників Юпітера: це найбільша кількість відкритих супутників серед усіх, що обертаються навколо планет Сонячної системи. Найбільші супутники Юпітера — Іо, Ганімед, Каллісто та Європу (рис. 5.1) — називають *Галілеєвою групою*.

Супутники Юпітера можна розділити на групи. Внутрішні супутники обертаються майже круговими орбітами, що практично лежать у площині екватора планети. Чотири найближчі до планети супутники (Адрастея, Метида, Амальтея і Теба) діаметром від



Художнє уявлення майбутнього зіткнення Марса зі супутником Фобосом

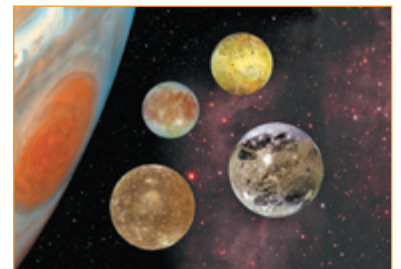


Рис. 5.1. Найбільші супутники Юпітера — Іо, Ганімед, Каллісто та Європа

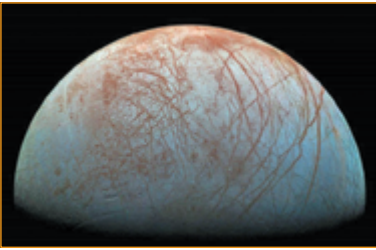


Рис. 5.2. Поверхня Європи

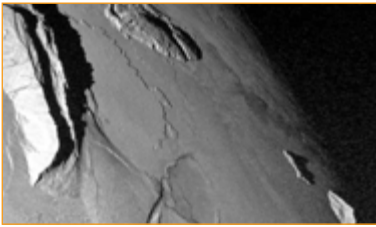


Рис. 5.3. Поверхня супутника Іо



Рис. 5.4. Каллісто



Рис. 5.5. На Каллісто, ймовірно, під поверхнею є океан

40 до 270 км перебувають на відстані 1–3 радіусів Юпітера й наближаються до межі Роша. Зовнішня група складається з маленьких (діаметром від 10 до 180 км) супутників, що рухаються витягнутими й дуже нахиленими до екватора Юпітера орбітами.

Чотири ближчі до Юпітера супутники Леда, Гімалія, Лісітея, Елара рухаються в напрямку обертання Юпітера, а чотири дальші супутники Ананке, Карме, Пасіфе і Сінопе рухаються у зворотному напрямку.

**Галілеєві супутники.** Усі великі супутники Юпітера обертаються синхронно та завжди повернуті до Юпітера одним боком внаслідок впливу потужних припливних сил планети-гіганта. При цьому Ганімед, Європа та Іо перебувають один з одним в орбітальному резонансі 4:2:1. До того ж серед супутників Юпітера існує закономірність: чим далі супутник від планети, тим менша його густина (Іо — 3,53 г/см<sup>3</sup>, Європа — 2,99 г/см<sup>3</sup>, Ганімед — 1,94 г/см<sup>3</sup>, Каллісто — 1,83 г/см<sup>3</sup>). Це залежить від кількості води: на Іо її практично немає, на Європі — 8% від маси, на Ганімеді й Каллісто — до половини їхньої маси.

*Європа* — найцікавіший супутник, що має глобальний океан, в якому не виключена можливість існування життя. Спеціальні дослідження показали, що океан простягається вглиб на 90 км, його об'єм перевищує об'єм Світового океану Землі. Поверхня Європи вкрита розламами й тріщинами, що виникли в її крижаному панцирі (рис. 5.2). Висловлювалося припущення, що джерелом тепла для Європи є сам океан, а не ядро. Базуючись на припущенні, що за 1–2 млрд років кисень міг потрапити у підлідний океан, вчені теоретично припускають наявність життя на супутнику.

Супутник *Іо* цікавий наявністю потужних діючих вулканів; його поверхня залита продуктами вулканічної активності (рис. 5.3). На фотографіях, зроблених космічними зондами, видно, що поверхня Іо має яскраво-жовте забарвлення з плямами коричневого, червоного та темно-жовтого кольорів. Ці плями — продукт вивержень вулканів Іо, що складаються переважно з сірки та її сполук; колір вивержень залежить від їхньої температури.

*Ганімед* є найбільшим супутником не лише Юпітера, а й взагалі серед усіх супутників планет Сонячної системи. Ганімед і Каллісто вкриті численними кратерами.

На *Каллісто* (рис. 5.4), як і на Європі, ймовірно, також є океан. На це опосередковано вказує магнітне поле Каллісто, яке може бути породжене наявністю електричних струмів у солоній воді (рис. 5.5). Також на користь цієї гіпотези свідчить той факт, що магнітне поле супутника змінюється залежно від його орієнтації на магнітне поле Юпітера, тобто під поверхнею Каллісто існує високопровідна рідина.

**Малі супутники.** Інші супутники набагато менші та є скельними тілами неправильної форми. Серед них є такі, що обертаються у зворотний бік. Серед малих супутників Юпітера досить цікавою для вчених є Амальтея: ймовірно, всередині неї існує система

порожнин, що виникли в результаті катастрофи, яка відбулася в далекому минулому. Через метеоритне бомбардування Амальтея розпалася на частини, які потім знову з'єдналися під дією взаємної гравітації, але так і не стали єдиним монолітним тілом.

Метіда та Адрастея — найближчі до Юпітера супутники з діаметрами близько 40 км і 20 км відповідно. Вони рухаються по краю головного кільця Юпітера по орбіті радіусом 128 тис. км, виконуючи оберт навколо Юпітера за 7 год, що робить їх найшвидшими супутниками планети.

Загальний діаметр всієї системи супутників Юпітера становить 24 млн км. Вважається, що раніше їх було ще більше, але деякі впали на планету під дією її потужної гравітації.

**Кільця.** Космічний апарат «Вояджер-1» у березні 1979 р. вперше сфотографував систему слабких кілець, що обертаються навколо Юпітера на відстані 55 тис. км від верхнього шару хмар. Вони мають чіткі межі, і поблизу них перебувають супутники. Ширина кілець становить 6 тис. км, товщина — 1 км. Кільця Юпітера дуже темні (їх альbedo, тобто відбивна здатність, дорівнює 0,05), і складаються вони, ймовірно, з дуже маленьких частинок метеоритної природи. Частинки кілець Юпітера, швидше за все, не залишаються в них довго (через перешкоди, що створюються атмосферою й магнітним полем). Отже, раз кільця нестійкі, вони мають постійно поповнюватися. Невеликі супутники Метіда і Адрастея, чії орбіти лежать у межах кілець, — очевидні джерела таких поповнень. Із Землі кільця Юпітера можуть бути помічені під час спостережень тільки в ІЧ-діапазоні.

**Супутники і кільця Сатурна.** Візитівкою Сатурна є відомі кільця (рис. 5.7), що оперізують планету навколо екватора й складаються з безлічі крижаних частинок розмірами від 1 мм до кількох метрів. Вісь обертання Сатурна нахилена до площини його орбіти на  $26^{\circ}44'$ , тому під час руху орбітою кільця змінюють свою орієнтацію відносно Землі. Коли площина кілець перетинає Землю, навіть у середні телескопи побачити їх неможливо, тому що товщина кілець лише кілька десятків метрів, хоча їхня ширина сягає 137 тис. км. Кільця обертаються навколо Сатурна і, відповідно до законів Кеплера, швидкість обертання внутрішніх кілець більша, ніж зовнішніх.

Існують три головні кільця, названі А, В і С. Із Землі вони добре помітні. Слабші кільця називають D, E та F. При ближчому розгляданні кілець виявляється, що їх дуже багато. Між кільцями існують щілини, де немає частинок. Найбільшу щілину, яку можна побачити у середній телескоп (між кільцями А і В), названо *щілиною Кассіні* (рис. 5.8). Ясними ночами у потужні телескопи можна побачити й менш помітні щілини.

Існують дві основні гіпотези про походження кілець. За першою з них, кільця є залишками знищеного супутника Сатурна. Друга стверджує, що кільця є залишками протопланетної хмари, з якої утворилися всі тіла Сонячної системи. В середині межі Роша, де обертається більша частина кілець, утворення супутників

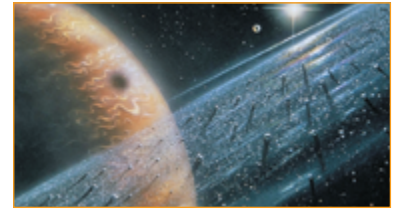


Рис. 5.6. Кільця Юпітера (темні), ймовірно, складаються з дуже невеликих твердих частинок метеоритної природи

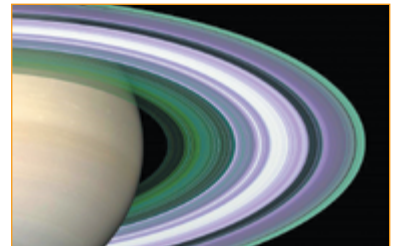


Рис. 5.7. Кільця Сатурна

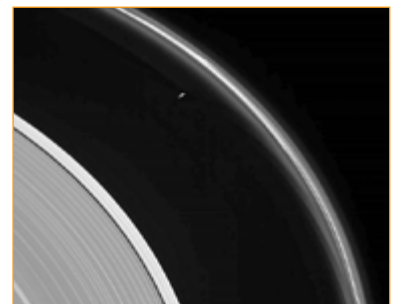


Рис. 5.8. Найбільшу щілину, яку можна побачити у середній телескоп із Землі (між кільцями А і В), названо щілиною Кассіні

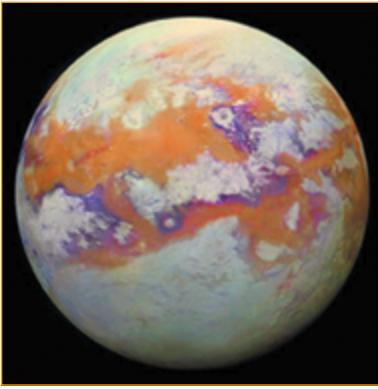


Рис. 5.9. Титан — найбільший супутник Сатурна

неможливе через гравітаційний вплив планети, що руйнує всі більш-менш значні тіла. Частинки кілець постійно зіштовхуються, руйнуються, а потім злипаються знову. У кільці Е частина льоду з'являється завдяки гейзерам, що діють на Енцеладі.

Сатурн має понад 60 супутників, діаметр 12 із них становить понад 100 км. Найбільший супутник Сатурна — Титан. Він більший від Меркурія і єдиний з-поміж усіх відомих супутників Сонячної системи, який має протяжну атмосферу (рис. 5.9).

Орбіта внутрішніх супутників, Пана і Атласа, лежить біля зовнішнього краю кільця А. Наступний супутник, Прометей, відповідає за щілину, що прилягає до внутрішнього краю кільця F. Потім іде Пандора, відповідальна за утворення іншої межі кільця F. Вони виявлені на знімках, зроблених космічними апаратами. Наступні два супутники — Епіметей і Янус — виявлені з Землі, вони поділяють спільну орбіту. Різниця у їхньої відстані до Сатурна становить лише 30–50 км.

Мімас незвичайний тим, що на ньому виявлено один величезний кратер — Гершель, який має розмір у третину супутника. Він вкритий тріщинами, які, ймовірно, зумовлені припливними деформаціями, оскільки серед супутників Сатурна Мімас — найближчий до планети. Розмір Гершеля — 130 км. Він заглиблений у поверхню на 10 км, з центральною гіркою, майже такою самою за висотою, як і гора Еверест на Землі (рис. 5.10).

Енцелад має найактивнішу поверхню з усіх супутників у Сонячній системі (можливо, за винятком Титана, знімки поверхні якого ще не отримані). На ньому видно сліди потоків, що зруйнували колишній рельєф. Отже, вважається, що надра цього супутника можуть бути активні й досі (рис. 5.11). Крім того, хоча кратери можуть спостерігатися на всій поверхні, на деяких ділянках вік цих утворень невеликий — кілька сотень мільйонів років. Це означає, що частина поверхні Енцелада усе ще змінюється. Вважається, що причиною активності є вплив припливних сил Сатурна, які розігрівають Енцелад.

Рея має стару, суцільно всіяну кратерами поверхню. На ній, як і на Діоні, виділяються яскраві тонкі смуги. Ці утворення, мабуть, складаються з льоду, що заповнює розлами в корі супутників.

**Супутники і кільця Урана.** Уран має 27 супутників (рис. 5.12) та систему кілець (рис. 5.13). Перші два супутники — Титанію й Оберон — відкрив Вільям Гершель у 1787 р. Ще два сферичні супутники — Аріель та Умбріель — були відкриті в 1851 р. Вільямом Ласселом. У 1948 р. Джерард Койпер відкрив Міранду. Останні супутники планети були відкриті після 1985 р. під час місії АМС «Вояджер-2» або за допомогою вдосконалених наземних телескопів.

Супутники Урана можна поділити на три групи: 13 внутрішніх, 5 великих і 9 нерегулярних. Внутрішні супутники — невеликі темні об'єкти, схожі за характеристиками та походженням на кільця планети.

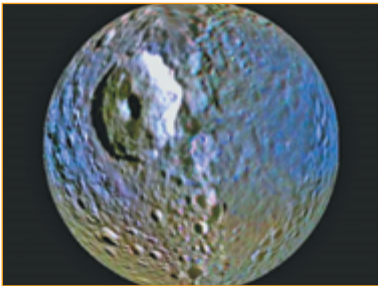


Рис. 5.10. Мімас незвичайний тим, що на ньому виявлено один величезний кратер, названий Гершелем, який має розмір із третину супутника.

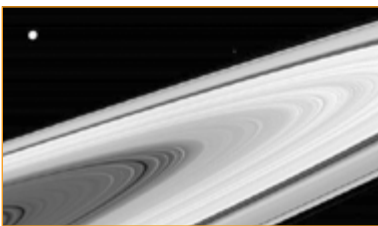


Рис. 5.11. Кільця Сатурна і його супутник Енцелад

П'ять великих супутників досить масивні, щоб гідростатична рівновага надала їм сфероїдальної форми. На чотирьох із них помічено ознаки внутрішньої і зовнішньої активності, такі як формування каньйонів і гіпотетичний вулканізм на поверхні. Найбільший із них, Титанія, становить в діаметрі 1578 км і є восьмим за величиною супутником у Сонячній системі. Його маса у 20 разів менша від земного Місяця.

Нерегулярні супутники Урана мають еліптичні і дуже нахилені (здебільшого ретроградні) орбіти на великій відстані від планети.

Кільця Урана темні — відбивають лише 3% сонячного світла. Це означає, що більшість частинок не вкриті льодом. Кільця розташовані близько до планети, в межах 25 тис. км над хмарним покривом. Вони складаються з дев'яти дуже вузьких, досить щільних кілець, розміщених на великій відстані одне від одного, і кількох дифузних утворів тієї ж природи. Кільця Урана не мають пилових частинок.

**Супутники і кільця Нептуна.** Кільця Нептуна (рис. 5.14) відкрито 1984 р. під час покриття Нептуном однієї із зір, тоді ж учені дійшли висновку, що кільця мають сегментну структуру.

Після прольоту 1989 р. АМС «Вояджер-2» поблизу Нептуна у цієї планети були виявлені три кільця. Два яскраві кільця і одне (найслабше внутрішнє), розміщені на відстані 63 тис., 53 тис., 42 тис. км відповідно. Між двома яскравими кільцями розміщена площина розсіяної речовини. Кільця складаються з дрібних пилових частинок і добре видні на просвіт.

Нині відомо 14 супутників Нептуна. Найбільший серед них — Тритон — належить до нерегулярних супутників і рухається на відстані 14 радіусів планети (рис. 5.15). Його сидеричний період обертання 5 днів 21 год 3 хв, діаметр становить близько 2707 км. Існують гіпотези, що Тритон — самостійна планета, захоплена колись магнітним полем Нептуна.

У Тритона було виявлено незначну газову оболонку, тиск якої на поверхні в 70 тис. разів менший від земного атмосферного тиску. Походження цієї атмосфери, що мала б давно розсіятися, пояснюють частими виверженнями на супутнику, що поповнюють її газами. Коли було отримано знімки Тритона, на його крижаній поверхні помітили гейзероподібні виверження азоту (рис. 5.16) і темних частинок пилу різних розмірів. Все це розсіюється в навколишньому просторі. Існує припущення, що після захоплення Нептуном супутник був розігрітий припливними силами і перший мільярд років перебував у рідкому стані. Можливо, у своїх надрах він, як і раніше, зберіг цей агрегатний стан.

Другий за величиною та найбільший внутрішній супутник Нептуна — Протей. Він обертається навколо Нептуна майже по екваторіальній орбіті на відстані близько 4,75 екваторіальних радіусів планети. Оскільки він розташований дуже близько до Нептуна, його дуже важко спостерігати з Землі. Супутник був відкритий АМС «Вояджер-2».

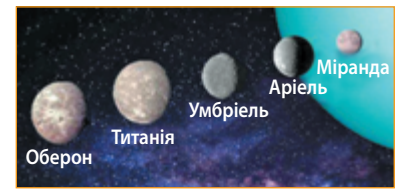


Рис. 5.12. Найбільші супутники Урана

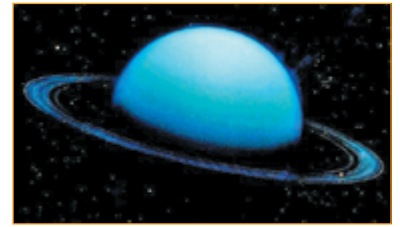


Рис. 5.13. Кільця Урана

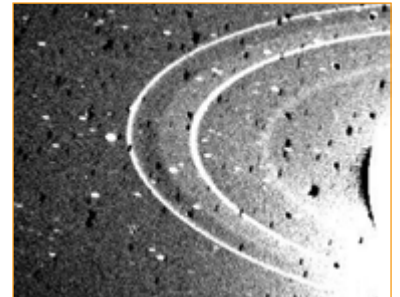


Рис. 5.14. Кільця Нептуна

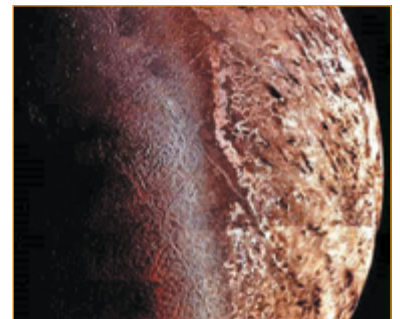


Рис. 5.15. Тритон — найбільший супутник Нептуна





Рис. 5.16. Гейзероподібні виверження азоту на Тритоні

Третій за розмірами супутник Нептуна — Нереїда. Середня відстань від Нептуна 6,2 млн км, діаметр близько 340 км. Нереїда — найвіддаленіший серед відомих супутник Нептуна. Вона робить один оберт навколо планети за 360 діб. Орбіта Нереїди дуже витягнута, її ексцентриситет становить 0,75. Найбільша відстань від супутника до планети перевищує найменшу в 7 разів.

### Найбільші супутники планет Сонячної системи

Планета	Супутник	Діаметр, км	Маса, · 10 <sup>23</sup> кг	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Температура поверхні, °С
♃	Ганімед	5268	1,49	193	– 140
♄	Титан	5150	1,35	190	– 179
♃	Каллісто	4806	1,08	1830	– 140
♃	Іо	3640	0,892	3550	– 130
♁	Місяць	3475	0,735	3340	від – 170 до +130
♃	Європа	3130	0,485	3040	– 140
♆	Тритон	2700	0,215	2100	– 235

Умовні позначення планет:

♃ — Юпітер; ♄ — Сатурн; ♁ — Земля; ♆ — Нептун.



#### Контрольні запитання

1. Чим пояснюється дивовижне забарвлення Іо?
2. Про що свідчать численні кратери на супутниках Юпітера?
3. Які супутники планет мають атмосферу?
4. Яка планета має найбільше кільце навколо себе?
5. Що являє собою кільце Сатурна?
6. Поясніть малюнком, чому кільце Сатурна із Землі може бути практично невидимим.



#### Тема для дискусії

Поверхню яких супутників можна використати для побудови космічних поселень?



#### Завдання для спостереження

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



### 6 Карликові планети

**Карликові планети.** Так називають досить великі тіла Сонячної системи, настільки великі, що власна гравітація надала їм рівноважної форми, наближеної до кулястої. Але на відміну від решти



Рис. 6.1. Плутон

планет маса карликових значно менша, тому їм не вдалося «розчистити» околиці своєї орбіти від інших подібних тіл.

Уперше цей новий клас тіл Сонячної системи визначили у серпні 2006 р. на Асамблеї Міжнародного Астрономічного Союзу (МАС) у Празі.

У 1930 р. в Ловеллській обсерваторії (США) Клайд Томбо відкрив невідому планету, що обертається навколо осі в зворотному напрямку. Вона отримала назву Плутон (рис. 6.1). У 1978 р. астрономи звернули увагу на те, що на знімку Плутона видно невеликий виступ на його дискові. Продовжуючи спостереження, учені виявили у Плутона супутник, який отримав назву Харон (рис. 6.2). Деякі астрономи вважають Харон супутником, інші називають Плутон і Харон подвійною планетою (адже у них періоди обертання навколо осі й відносно один одного однакові).

У 2006 р. за допомогою космічного телескопа «Габбл» 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 та розмірами набагато менший за інші планети Сонячної системи, деякі астрономи вважають, що Плутон був колись супутником Нептуна, адже Юпітер, Сатурн, Нептун і Земля мають супутники, набагато більші за нього. 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 орбіту комети.

У 1951 р., аналізуючи орбіти комет, астроном Дж. 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 вісім 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. *χενά* — чужа) (рис. 6.3). Це відкриття стало фатальним ударом для статус-кво дев'яти планет, оскільки, якщо Плутон вважають планетою, то Ксена теж має належати до класу планет. Тому перед астрономами постало запитання: що робити з іншими об'єктами поясу Койпера, які трохи менші, ніж Плутон, адже в майбутньому на околицях Сонячної системи можуть відкрити ще більші тіла?

Для вирішення цієї проблеми в МАС було створено спеціальний комітет, який модифікував визначення планети, додавши, що планета має бути не тільки круглої форми, а й повинна також бути єдиним тілом на своїй орбіті. За цим визначенням було змінено статус Плутона, який до цього вважали дев'ятою планетою Сонячної системи: відтоді він став першою планетою-карликом.



Рис. 6.2. Плутон і Харон



Джерард Петер Койпер



Рис. 6.3. Ксена



Рис. 6.4. Найбільші карликові планети у порівнянні із Землею

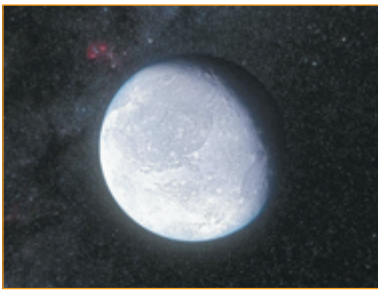


Рис. 6.5. Ерида

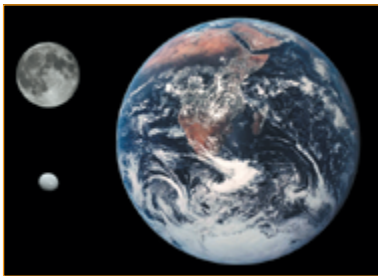


Рис. 6.6. Порівняльні розміри Церери, Землі та Місяця

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 136 199 та назву Ерида.

Нині до переліку найбільших і найвідоміших карликових планет відносять Ериду, Цереру, Плутон, Гаумеа, Макемаке (рис. 6.4).

Ерида (рис. 6.5) — наймасивніша і найбільш віддалена від Сонця карликова планета Сонячної системи. Точно визначити розміри настільки далекого небесного тіла дуже важко. Яскравість об'єкта пропорційна площі поверхні, помноженої на альбедо (частку сонячних променів, що відбиваються об'єктом).

Спектроскопічні спостереження, проведені в січні 2005 р. в обсерваторії «Джеміні», показали наявність на поверхні Ериди метанового снігу, чим вона нагадує Плутон і супутник Нептуна Тритон. Цим пояснюється високе альбедо об'єкта. Також в її снігу є домішки азотного льоду, частка якого з глибиною зростає. Ерида відрізняється від Плутона і Тритона кольором. Плутон і Тритон червонуваті, а вона — сірувата. Це пов'язано з наявністю на Ериді етанового та етиленового льоду. У жовтні 2011 р. були опубліковані результати досліджень, згідно з якими тонкий шар замерзлих газів, що покриває поверхню Ериди, може сублімуватися за підвищення температури (в перигелії) та утворювати тимчасову атмосферу карликової планети.

Церера є найбільшим і наймасивнішим тілом у поясі астероїдів (рис. 6.6). За розміром вона перевершує багато великих супутників планет-гігантів та містить майже третину (32%) загальної маси поясу астероїдів. Сучасні спостереження довели, що вона має форму сфероїда. Орбіта Церери розташована між орбітами Марса і Юпітера, вона слабкоеліптична (ексцентриситет — 0,08). Враховуючи низьку густину Церери, можна припустити, що вона містить значну кількість льоду — до 20–30% від маси. Припускають, що лід під дією ультрафіолетового випромінювання Сонця тане і частина води дисоціює і утворює дуже розріджену «атмосферу» Церери.



### Контрольні запитання

1. Яку систему тіл відкрито за орбітою Нептуна?
2. Між орбітами яких планет розташований пояс астероїдів?
3. Чому Плутон позбавили статусу планети?
4. Намалуйте орбіту Плутона в проекції на площину екліптики.

# Тема. Малі тіла Сонячної системи

## 1 Астероїди. Комети. Тіла поясу Койпера

**Малі тіла Сонячної системи.** По різних орбітах навколо Сонця, окрім карликових планет, обертається ще чимало дрібних об'єктів, що не є супутниками. Вони названі **малими тілами Сонячної системи**. До цього типу космічних тіл належать об'єкти поясу Койпера, астероїди, комети, метеороїди (або метеоритні тіла), космічний пил і газ.

**Астероїди.** Перший астероїд (від грец. *asteroid* — зореподібний) відкрив італійський астроном Дж. Піацці. У січні 1801 р. він побачив слабку зорю, яка наступного вечора трохи перемістилася. Її дали назву Церера (рис. 1.1). За нею почали уважно спостерігати: вона виявилася невеликою, навіть меншою за Місяць. Яке ж було здивування астрономів, коли за кілька років недалеко від Церери виявили ще одну малу планету — її назвали Палладією. Ці обидва космічні об'єкти, що оберталися навколо Сонця на відстані 2,8 а. о., назвали *малими планетами*. Потім були відкриті Юнона і Веста. З-поміж усіх відкритих на той час малих планет діаметр Церери виявився найбільшим (близько 960 км), тож згодом її віднесли до класу планет-карликів.

На вересень 2017 р. було зареєстровано близько 1 млн астероїдів (рис. 1.2). Найменші з них мають діаметр лише 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.

Найяскравішим астероїдом є Веста. Це єдиний астероїд, який ясної ночі можна спостерігати з Землі неозброєним оком завдяки яскравості його поверхні і розміру, який становить 576 км у поперечнику, та тому, що він може наближатися до Землі на відстань лише 177 млн км.

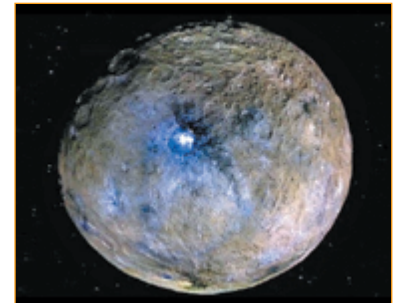


Рис. 1.1. Церера



Рис. 1.2. Астероїд-433 «Ерос» має вигляд велетенського сидла завдовжки 33 км. Космічний апарат NEAR, здійснивши у 2001 р. посадку на поверхню астероїда в улоговині поблизу центра, виявив, що його сіра поверхня вкрита шаром реголіту і схожа на поверхню Місяця



### Для допитливих

Орбіти двох відомих численних груп астероїдів — *Греки* й *Троянці* — унікальні тим, що розташовані у вершинах рівнобічних трикутників, сторони яких дорівнюють відстані від Юпітера до Сонця. Період обертання цих астероїдів навколо Сонця збігається з періодом обертання Юпітера.

Виявленим астероїдам дають порядковий номер і назву, яку пропонує автор відкриття (так, за номером 1790 зареєстрований астероїд Україна). Часто нові космічні тіла називають на честь країн,



міст та відомих осіб. Українські астрономи також уславили нашу країну та видатних співвітчизників: навколо Сонця обертаються астероїди Київ, Полтава, Кобзар, Каменяр, Сковорода, Довженко, Нарбут та ін.

**Відомості про деякі астероїди**

N	Назва	Діаметр (км)	Маса ( $\cdot 10^{15}$ кг)	Період обертання (год)	Орбіт. період (роки)	Спектр. клас	Велика піввісь орбіти (а.о.)	Ексцентриситет орбіти
1	Церера	960 × 932	87000	9,1	4,6	C	2,766	0,078
2	Паллада	570 × 525 × 482	318000	7,8	4,6	U	2,776	0,231
3	Юнона	240	20000	7,2	4,4	S	2,669	0,258
4	Веста	530	300000	5,3	3,6	U	2,361	0,090
8	Флора	141		13,6	3,3	S		0,141
243	Іда	58 × 23	100	4,6	4,8	S	2,861	0,045
253	Матильда	66 × 48 × 46	103	417,7	4,3	C	2,646	0,266
433	Ерос	33 × 13 × 13	7	5,3	1,7	S	1,458	0,223
951	Гаспра	19 × 12 × 11	10	7,0	3,3	S	2,209	0,174
1566	Ікарус	1,4	0,001	2,3	1,1	U	1,078	0,827
1620	Географ	2,0	0,004	5,2	1,4	S	1,246	0,335
1862	Аполлон	1,6	0,002	3,1	1,8	S	1,471	0,560
2060	Хірон	180	4000	5,9	50,7	B	13,633	0,380
4179	Тютатіс	4,6 × 2,4 × 1,9	0,05	130	1,1	S	2,512	0,634

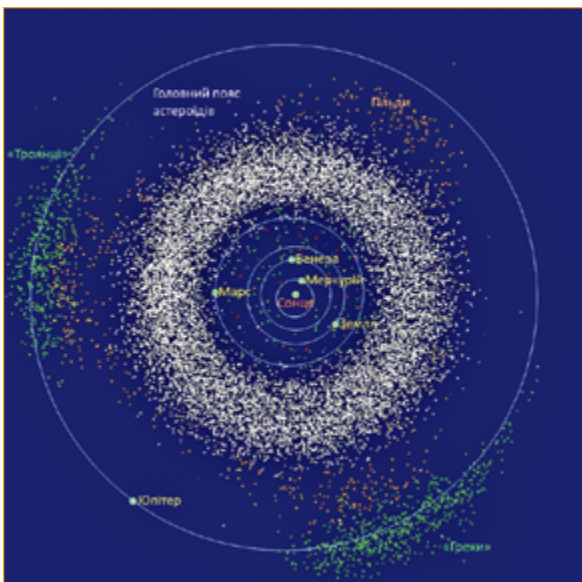


Рис. 1.3. Головний пояс астероїдів

Чому між Марсом і 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 і Юпітером колись існувала планета Фаєтон, яка чомусь вибухнула. Причиною катастрофи могла бути зустріч планети з іншим космічним тілом. На користь теорії вибуху планети свідчило те, що більшість астероїдів мають вигляд уламків неправильної форми. Сучасні дослідження розподілу орбіт малих планет показують, що, швидше за все, між Марсом і Юпітером великої планети ніколи не було, а пояс астероїдів — це залишки тієї речовини, з якої 4,5 млрд років тому утворилися планети Сонячної системи (рис. 1.3).

За орбітою Нептуна розташоване кільце маленьких планетоподібних тіл (так званий пояс Койпера), які через гравітаційні збурення можуть змінювати параметри своєї орбіти (рис. 1.4). 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 уламків зростає зі збільшенням їхньої кількості, то пояс астероїдів може бути своєрідною машиною для подрібнення космічних тіл на менші фрагменти.

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 крупних тіл. Астероїди рухаються навколо Сонця в той самий бік, що й планети, і мають, як правило, еліптичні орбіти.

**Комети** отримали свою назву від грец. *cometos* — хвостата, або волохата (зоря). Це відносно невеликі небесні тіла, що мають туманний вигляд і обертаються навколо Сонця по подовжених еліптичних орбітах. Саме тому їх можна побачити лише у стислі періоди зближення із Сонцем.

Комети є залишками космічної речовини, з якої утворилися планети. За традицією кометі дають назву на честь тих астрономів, які перші побачили її на небі (рис. 1.5, 1.6, 1.7). На честь українських астрономів названі комети Герасименко, Неуйміна, Скоритченка, Черних, Чурюмова, Шайна. За оцінками вчених, на далеких «околицях» Сонячної системи в хмарі Оорта сконцентровано близько  $10^{12}$ – $10^{13}$  комет, які обертаються навколо Сонця на відстанях 3–160 тис. а. о.

Гіпотетична хмара Оорта (рис. 1.8) — сферична хмара крижаних об'єктів (аж до 1 трлн), яка є джерелом довгоперіодичних комет. Передбачувана відстань до зовнішніх меж хмари Оорта від Сонця становить від 50 тис. а. о. (приблизно 1 св. рік) до 100 тис. а. о. (1,87 св. років). Вважається, що об'єкти, які складають хмару, сформувалися біля Сонця і були розсіяні далеко в космос гравітаційними ефектами планет-гігантів на ранньому етапі розвитку Сонячної системи.

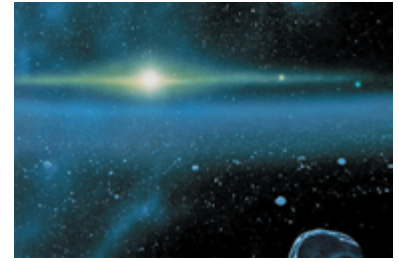


Рис. 1.4. За орбітою Нептуна розташоване кільце маленьких планетоподібних тіл — так званий пояс Койпера



Рис. 1.5. Комета Галлея

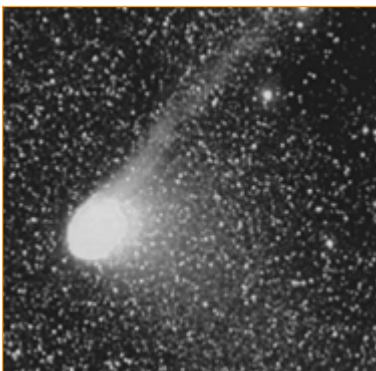


Рис. 1.6. Комета Гейла-Боппа

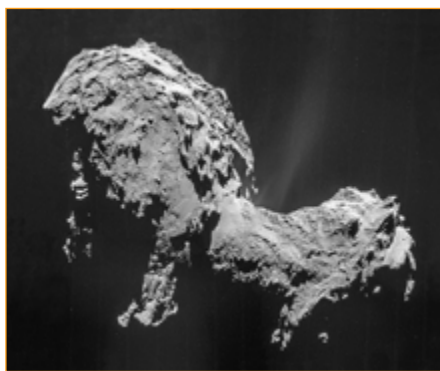


Рис. 1.7. Комета Чурюмова-Герасименко

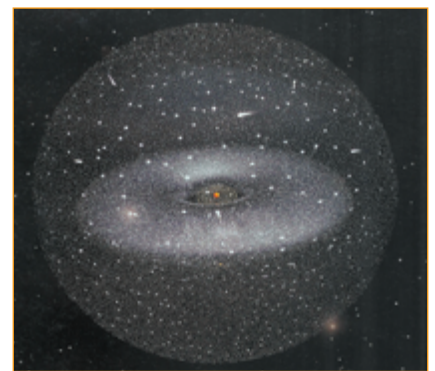


Рис. 1.8. Модель хмари Оорта



Рис. 2.1. Слід метеора у нічному небі

**Метеороїд** — порівняно невелике тверде тіло, що рухається в міжпланетному просторі навколо Сонця по еліптичній орбіті

**Метеор** — явище у верхній атмосфері, що виникає у разі влітання в неї твердих частинок — метеорних тіл

**Метеорит** — тверде космічне тіло, що впало на поверхню великих і малих планет

**Метеорний потік** — сукупність метеорів, які спостерігають під час зустрічі Землі з метеорним роєм

**Метеорний рій** — група метеорних тіл, що утворилися внаслідок розпаду ядра комети і рухаються навколо Сонця по однакових орбітах зі сталим періодом обертання



Рис. 2.2. Метеорит, знайдений в Антарктиці

## 2 Метеори та метеорити. Метеорні потоки

**Метеороїди.** Згідно з визначенням Міжнародної метеорної організації, метеороїди за розміром значно менші, ніж астероїди, але набагато більші за атом. Їхня назва в перекладі з грецької означає: «той, що перебуває у повітрі». Метеороїди є продуктами розпаду комет або подрібнення астероїдів унаслідок зіткнення.

Потрапивши на космічній швидкості в земну атмосферу, ці дрібні тверді частинки спалахують, лишаючи яскравий слід. Космічний пил ніколи не долітає до поверхні Землі, адже він згоряє і випаровується в атмосфері на висоті від 120 до 60–80 км. Це світлове явище, викликане іонізованим повітрям на шляху польоту метеорної частинки, називають **метеором**, або **падаючою зорею**. Сама частинка в цьому випадку називається **метеорним тілом**. Маса таких тіл вимірюються десятими долями грама, іноді — кількома грамами. Весь політ метеорного тіла може тривати від десятих долей секунди до кількох секунд (рис. 2.1).

Численні метеори, які спрямовуються до Землі в певну пору року, утворюють метеорні потоки, або «зоряні дощі». Найвідомішим із них є *потік Персеїди*, який в Україні можна спостерігати у серпні.

**Метеорити** можуть досягти поверхні Землі, оскільки мають більшу масу (рис. 2.2). Коли метеорне тіло з великою швидкістю летить в атмосфері, то через опір повітря воно нагрівається до температури вище 10 000 °C і починає світитись, як розжарена куля, яку називають **болідом** (від грец. *bolid* — спис). Під час польоту боліда з надзвуковою швидкістю в атмосфері виникає ударна хвиля, яка створює потужні звукові коливання, тому людина чує сильний гуркіт.

**Метеорне тіло** — це фрагмент астероїда, який, обертаючись навколо Сонця, зіткнувся з нашою планетою. Тобто метеорити мають астероїдне походження. Швидкість, з якою метеорит влітає в земну атмосферу, залежить від напрямку його руху відносно вектора швидкості Землі. Найбільшу швидкість входження в атмосферу (50–70 км/с) мають ті метеорні тіла, які летять назустріч руху Землі, тому що швидкості боліда та Землі додаються. Швидкість метеорного тіла під час входження в атмосферу Землі не може бути меншою за 11,2 км/с, адже навіть коли астероїдне тіло «наздоганяє» нашу планету, то через земне тяжіння його швидкість починає зростати. Нині за рахунок метеорної речовини маса Землі збільшується на 500 000 т на рік.

На Землі астрономи та геологи виявили більше сотні метеоритних кратерів різного діаметра, які називають **астроблемами** (від грец. *astra blema* — зоряні рани), але більшість кратерів не збереглася, адже протягом століть атмосферні процеси знищували сліди космічних катаклізмів (рис. 2.3). Велику кільцеву структуру метеоритного походження діаметром 7 км виявили в Україні в Іллінецькому районі (рис. 2.4) Вінницької області. Геологічні дослідження показують, що початкова маса метеорита перевищувала  $10^{11}$  кг.



### Контрольні запитання

1. Чим метеороїд відрізняється від метеорита?
2. Що з того, що ми бачимо, світиться далі від Землі — метеори чи комети?
3. Поясніть, чому метеорні потоки пов'язують з певними кометами.
4. В якому випадку метеорит великої маси, що з великою швидкістю досягає поверхні Землі, не буде утворювати кратер?
5. На землі метеори світяться на висоті 80–120 км. А на Марсі? Обґрунтуйте свою відповідь.
6. Яким чином зображення астероїдів (зореподібних об'єктів) на знімках відрізняють від зображень зір?
7. В Україні знайдено метеорит з Меркурія. Поясніть, яким чином речовина з цієї планети потрапила на Землю. За якими ознаками можна зрозуміти, що це не земна речовина?



Рис. 2.3. Аризонський кратер (США) утворився 10 тис. років тому. Його діаметр 1,2 км, глибина 200 м. Осколки метеорита знаходять на відстані 30 км від кратера



Рис. 2.4. Іллінецький метеоритний кратер



### 3 Фізичні характеристики малих тіл Сонячної системи. Астероїдна небезпека

Головна складова комети — її **ядро**. Відповідно до гіпотези відомого американського дослідника комет Ф. Л. Уїшпла, кометне ядро являє собою крижану брилу, що складається із суміші замерзлої води й заморожених газів із вкрапленням тугоплавких кам'янистих та металевих частинок. У міру наближення комети до Сонця лід ядра комети починає випаровуватися. Навколо ядра утворюється протяжна газова оболонка, що світиться, — **кома**. Разом із ядром вони утворюють **голову** комети. Подальше зближення комети із Сонцем приводить до того, що її **голова** набуває овальної форми, потім подовжується, а з неї утворюється **хвіст**, що складається з пилу і газу (рис. 3.1).

Довжина хвоста комети іноді простягається на мільйони або сотні мільйонів кілометрів, причому напрямок хвоста в результаті дії сонячного вітру змінюється таким чином, що він весь час відхиляється у протилежний від Сонця бік. Здається, що хвіст до Сонця не притягується, а навпаки, відштовхується. Зазвичай хвіст комети притягується до Сонця, але для частинок із діаметром менш ніж  $10^{-5}$  м сила відштовхування стає більшою за силу притягання.

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

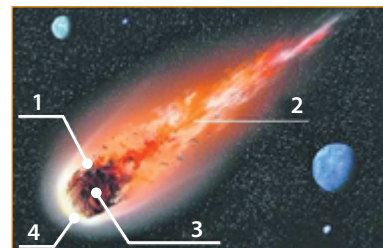


Рис. 3.1. Будова комети:  
1 — голова, 2 — хвіст,  
3 — ядро, 4 — кома



**Ступінь ризику** — це добуток ймовірності космічної катастрофи й кількості можливих людських жертв

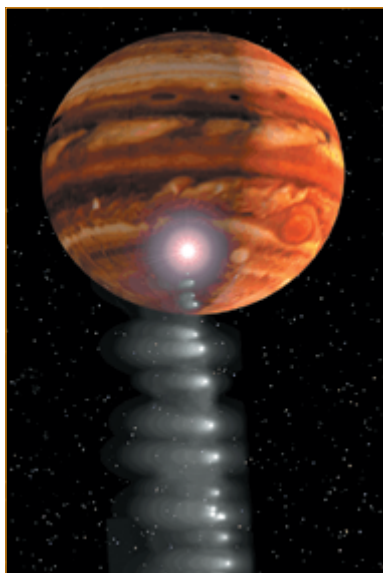


Рис. 3.2. Падіння уламків комети Шумейкерів-Леві на Юпітер

Здійснивши кілька сотень обертів навколо Сонця, ядро комети зрештою втрачає свою масу і руйнується, але її рештки продовжують рух по орбіті та перетворюються на *метеорні потоки*. Коли Земля перетинає орбіту такого метеорного потоку, спостерігається «зоряний дощ». Гинуть комети також у випадку потрапляння на Сонце або зіткнення із планетою (рис. 3.2).

**Астероїдна небезпека.** Найбільшу увагу астрономів привертають астероїди групи Аполлона, Амура і Атона, оскільки в перигелії вони наближаються до Землі або навіть перетинають її орбіту. Наприклад, у 1932 р. астероїд 1862 Аполлон (діаметр 3 км) пролетів повз Землю на відстані 0,028 а. о. Ще ближче до Землі у 1994 р. пролетів астероїд 1994 ХМ1 — від катастрофи планету відділяло лише 112 тис. км у просторі та 1 год у часі. Хоча ймовірність зустрічі Землі з окремим астероїдом досить мала, але, враховуючи значну кількість астероїдів, ступінь ризику загинути від космічної катастрофи виявляється такою самою, як від звичайної поведні або авіакатастрофи. За сучасними даними, орбіту Землі перетинають близько 2000 астероїдів із діаметром понад 1 км і кілька сотень тисяч дрібних із діаметром близько 100 м. Під час зустрічі Землі з астероїдом діаметром 1 км виділиться енергія, еквівалентна вибуху мільйонів атомних бомб. Крім того, викид пилу в атмосферу призведе до утворення суцільної хмарності, тому поверхня Землі буде отримувати менше сонячної енергії. Це може зумовити початок нового льодовикового періоду.

Нині створений Міжнародний фонд «Космічна варта», розроблена програма пошуків небезпечних астероїдів і комет та обчислення їхніх орбіт. Значний внесок у ці дослідження зробили українські астрономи Києва (В. Кручиненко, К. Чурюмов), Криму (М. Черних) і Харкова (Д. Лупішко).



Знайдіть в мережі Інтернет інформацію про комету Шумейкерів-Леві та падіння її фрагментів на Юпітер. Підготуйте стисле повідомлення.



### Контрольні запитання

1. Що більше: ядро комети чи її голова?
2. Куди напрямлений хвіст комети відносно Сонця? Чи змінюється його положення? Поясніть.
3. Із чого складається ядро комети?
4. Опишіть процес утворення голови та хвоста комети.
5. Намалуйте орбіту комети та саму комету на ній, що летить хвостом уперед.
6. Чому на поверхнях одних астероїдів щільність кратерів велика, а на поверхнях інших менша?
7. Яку небезпеку можуть становити астероїди для Землі?

# Тема. Космогонія Сонячної системи та відкриття екзопланет

## 1 Гіпотези і теорії виникнення Сонячної системи, утворення планет

З найдавніших теорій походження Сонячної системи відоме вчення Рене Декарта (1644 р.). Його космогонічна гіпотеза — теорія вихорів — протягом певного часу конкурувала з теорією все-світнього тяжіння. Декарт вважав, що Сонце, як і інші зорі, оточене ефірною речовиною, що розповсюджується на великі відстані у всіх напрямках. Обертаючись, Сонце спричиняє обертальний рух прилеглих областей цієї речовини, потім вони, зі свого боку, передають його наступним областям, так що, нарешті, вся маса приходить в обертання. У цьому ефірному вихорі планети мчать навколо Сонця. Проте Декарт не зміг сформулювати закони планетних рухів, тому його гіпотеза не отримала подальшого розвитку. Тільки з другої половини XVIII ст. були запропоновані еволюційні космогонічні гіпотези такими вченими, як Бюффон, Кант, Лаплас, Рош, Мейєр, Лоньєр, Бікертон.

Нині загальноприйнятою є гіпотеза, що формування Сонячної системи почалося близько 4,6 млрд років тому з гравітаційного стиснення невеликої частини гігантської міжзоряної газопилової хмари (рис. 1.1). Ця початкова хмара, ймовірно, сягала за розмірами кількох світлових років і була прародителькою кількох зір.

У процесі стиснення розміри газопилової хмари зменшувались, і, за законом збереження моменту імпульсу, швидкість обертання хмари зростала. Центр, де зібралася більша частина маси, ставав усе гарячішим у порівнянні з навколишнім диском. Через обертання хмари швидкості її стиснення паралельно і перпендикулярно осі обертання відрізнялися. Це призвело до ущільнення хмари, формування характерного протопланетного диска діаметром близько 200 а. о. і гарячої, щільної протозорі в центрі (рис. 1.2).

Комп'ютерне моделювання дозволяє виділити кілька характерних етапів цього процесу. На першій фазі баланс між гравітацією, тиском і обертанням речовини призвів до утворення спочатку товстого, а потім все тоншого диску. Потім у диску відбулася фрагментація речовини на згустки пилу. Приблизно за 1 млн років пилові згустки злиплися в компактні тіла астероїдних розмірів з близьким до них фізико-хімічним складом. Після цього приблизно ще 100 млн років рій астероїдів відчував інтенсивне перемішування, що супроводжувалося подрібненням крупних об'єктів і об'єднанням (злипанням) дрібних. На цій фазі, власне, і сформувалися зародки планет земної групи — Меркурія, Венери, Марса і Землі. Потім приблизно ще за 200 млн років сформувалися планети групи



Рис. 1.1. Формування Сонячної системи почалося близько 4,6 млрд років тому з гравітаційного стиснення невеликої частини гігантської міжзоряної газопилової хмари

**Протопланетний диск** — диск щільного газу, що обертається навколо молодої, нещодавно сформованої протозірки, з якого згодом утворюються планети

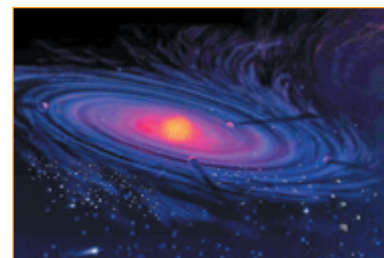


Рис. 1.2. Протопланетний диск



Рис. 1.3. Екзопланета Проксима Кентавра *b*

Юпітера, увібравши в себе газ, що не увійшов до менш масивних планет земної групи. І, нарешті, ще за 1 млрд років утворилися найвіддаленіші від Сонця планети — Нептун і Плутон, завершивши процес формування Сонячної системи.

З цього стає зрозуміло, що астероїди і комети — це залишки рою протопланетних тіл, причому астероїди — це кам'яністі утворення внутрішньої зони, яка породила планети земної групи, а комети — це кам'яно-крижані утворення, генетично пов'язані з зоною планет-гігантів. Але найпримітніше, що в процесі формування планет-гігантів Юпітер і Сатурн виконали роль своєрідних «чистильників» Сонячної системи, своїм гравітаційним полем викинувши малі протопланетні згустки на далеку периферію Сонячної системи.



### Гіпотези щодо формування Сонячної системи.



## Відкриття екзопланет, їхні фізичні характеристики

**Екзопланета** (грец. *ехо* — поза, ззовні), або позасонцева планета, — планета, що обертається навколо іншої зорі або дрейфує космічним простором (тобто не належить до планетарної системи).

Станом на січень 2015 р. достеменно встановлене існування 1900 екзопланет у 1202 планетних системах, у 480 з яких більше однієї планети, на сьогодні астрономами відкрито вже понад 4000 екзопланет.

Загальна кількість екзопланет у нашій Галактиці може сягати сотень мільярдів. Звичних орбітальних планет, ймовірно, понад 100 млрд, з них від 5 до 20 млрд — землеподібні. Також за поточним оцінюванням 22 % сонцеподібних зір мають на орбітах подібні до Землі планети, що перебувають у придатних для життя зонах (рис. 1.4).

Тривалий час виявлення планет поблизу інших зір було невіршуваним завданням, оскільки ці небесні тіла малі й тьмяні порівняно із зорями, а їхні світила розташовані далеко від Землі (від-

стань до сусідніх зір вимірюється світловими роками). У XXI ст. такі планети почали відкривати завдяки вдосконаленим методам, часто — на межі можливостей. Прикладом може слугувати екзопланета Проксима Кентавра *b* розташована на відстані близько 4,25 св. років від Землі, у сузір'ї Кентавра (рис. 1.3).

У квітні 2004 р. міжнародна команда спеціалістів, яка працювала на чолі з Гаелем Шовеном, отримала в інфрачервоному діапазоні перше зображення ймовірної екзопланети, що оберталася за 55 а. о. навколо коричневого карлика 2М1207 у сузір'ї Гідри (рис. 1.6). Об'єкт, названий 2М1207 *b*, який розташований приблизно за  $172 \pm 3$  св. роки від Землі і має масу  $8 \pm 2$  МЮп (деякі дослідники зменшують її до однієї-двох юпітеріанських).

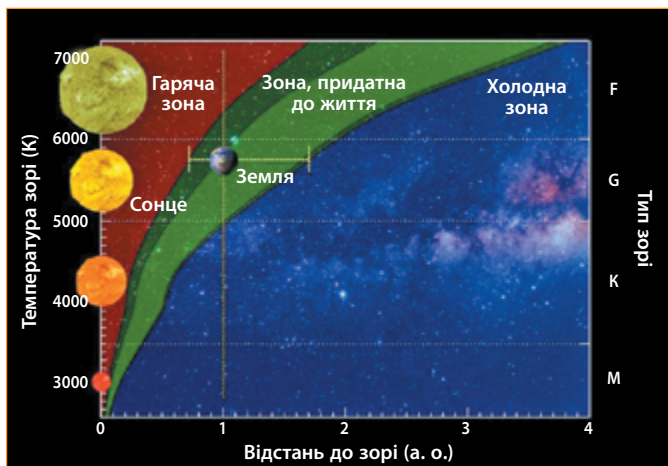


Рис. 1.4. Зони, придатні до життя у різних планетних системах на прикладі Сонця і Землі

Приблизно в цей час космічний телескоп «Габбл» зробив знімки зорі Фомальгаут, віддаленої від Землі на 25 св. років (рис. 1.5). Їх зіставлення дозволило в листопаді 2008 р. отримати зображення планети Фомальгаут *b*. Її відкриття в оптичному діапазоні стало несподіванкою, адже відбулося воно лише завдяки винятковій яскравості планети (судячи з усього, об'єкт має дуже високе альbedo).

Того ж року за допомогою найбільших наземних телескопів Keck II і Gemini North, що здатні працювати в інфрачервоному діапазоні, групі астрономів вдалося отримати знімки одразу трьох планет біля іншої велетенської зорі — HR 8799 в сузір'ї Пегаса. Це було перше зображення мультипланетної системи іншої зорі (рис. 1.6).

Найбільш відому на сьогодні планетну систему (не враховуючи Сонячну систему) має зоря HD 10180. Навколо неї обертаються сім планет, зоря віддалена від нас на відстань 127 св. років і розташовується у сузір'ї Південної Гідри. Достовірно відомо про п'ять планет, а для доведення наявності ще двох потрібні додаткові спостереження.

Головний напрям пошуку екзопланет — це пошук планет земного типу. На розв'язання цієї задачі спрямовані різні космічні проекти. Серед відомих можна назвати проекти KEPLER (NASA) — космічний телескоп Шмідта, здатний одночасно відслідковувати 100 тис. зір; COROT (ESA) спеціалізований космічний телескоп діаметром 30 см, здатний відкривати планети земного типу. Сучасні астрономи вважають, що відкриття подібних до Землі планет є актуальним науковим питанням, вирішення якого може бути досягнуто в недалекому майбутньому.

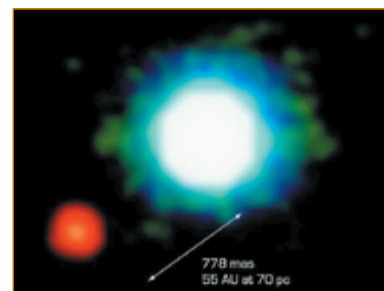


Рис. 1.5. Зоря 2M1207 (блакитного кольору) і об'єкт 2M1207 *b* (червоного кольору). Перший знімок екзопланети

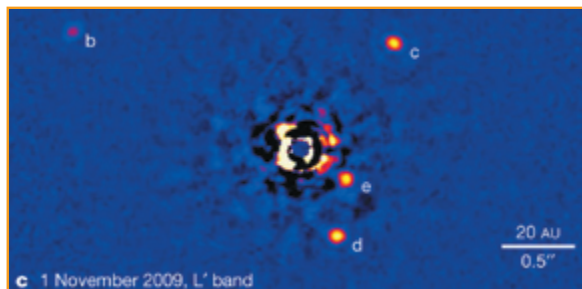


Рис. 1.6. Знімок планетної системи HD 10180

**Дізнайтеся про інопланетну систему Глізе 581.**



**Контрольні запитання**

1. Опишіть сутність гіпотез щодо походження Сонячної системи.
2. Що таке екзопланета?
3. Коли були зроблені перші знімки екзопланет?
4. Знайдіть в мережі Інтернет інформацію про один із методів пошуку екзопланет. Підготуйте стисле повідомлення.



**Клим Іванович Чурюмов (1937–2016)** — професор, член-кореспондент НАН України, відомий у світі дослідник фізики комет і космогонії Сонячної системи, відкривач двох комет.

Народився у Миколаєві. У 1949 р. родина хлопця переїхала до Києва, де після школи він навчався спочатку у залізничному технікумі, а згодом у Київському університеті ім. Т.Г. Шевченка на фізичному факультеті.

Отримавши 1960 р. університетську освіту за фахом фізик-астроном, молодий науковець працював на станції в бухті Тіксі, де досліджував полярні сніга, земні струми та іоносферу. Згодом Чурюмов розробляв на київському заводі «Арсенал» астронавігаційну апаратуру для космічних ракет.

Після закінчення аспірантури став науковим співробітником Київського університету, а з 1998 р. — професором. З 2004 р. очолював Київський планетарій.

Наукова спадщина Кліма Івановича налічує понад 800 праць, але найвідомішим його досягненням стало відкриття комет. Першу вчений відкрив 1969 р. разом з аспіранткою Світланою Герасименко. Цей космічний об'єкт так і назвали — «Комета Чурюмова-Герасименко». У 1986 р. Клим Іванович разом із Валентином Солодовниковим (з Астрофізичного інституту ім. Фесенкова, Казахстан) відкрив другу, довгоперіодичну комету, яка отримала назву «Комета Чурюмова-Солодовникова».

Клим Чурюмов і Світлана Герасименко 2 березня 2004 р. були присутні на космодромі Куру у Французькій Гвіані під час запуску європейського міжпланетного зонда «Розетта», який вирушав до комети Чурюмова-Герасименко. День 12 листопада 2014 р. став черговим тріумфом для Кліма Івановича: «Розетта» завершила свою місію — її спусковий апарат «Філі» здійснив вдалу посадку на комету, щоб розпочати її дослідження.



Ще одним досягненням професора Чурюмова стало надання Міжнародним астрономічним союзом національних імен-символів малим планетам на честь Т. Шевченка («2427 Кобзар»), І. Франка («2428 Каменярь»), Г. Сковороди («2431 Сковорода»), КНУ ім. Т. Шевченка («4868 Кнушевія»). А 1984 р. ім'я самого К. І. Чурюмова було вшановано у назві малої планети 2627.

**Олена Іванівна Казимирчак-Полонська (1902–1992)** — відома й дуже шанована в науковому світі українська астрономка.

Народилася майбутня науковиця на Волині у шляхетній родині місцевих дворян Полонських. У дитинстві та юнацтві дівчина навчалася в кількох жіночих гімназіях — у Варшаві, Петербурзі, Новгород-Сіверському й Луцьку. Вона чудово розмовляла не лише рідною українською, а й добре знала російську, польську, англійську і німецьку мови.

У 1922 р. Олена блискуче склала іспити на фізико-математичний факультет Львівського університету Яна Казимира, на відділення астрономії. З 1934 р. працювала в астрономічній обсерваторії при Варшавському університеті, де захистила дисертацію «Про планети й центричний рух планет» і здобула науковий ступінь доктора філософії.

Після Другої світової війни, протягом якої учена зазнала чимало горя й поневірянь, вона разом із матір'ю та сином переїхала до Херсона, де викладала астрономію в педагогічному інституті. У той самий час Олена Іванівна знову готувалася до захисту кандидатської, оскільки її польського професорського диплому у Радянському Союзі не визнали. У 1950 р. вчена захистила дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Олена Іванівна працювала в Одеському педагогічному інституті, потім у Ленінградському (нині Санкт-Петербург). Основні наукові роботи Казимирчак-Полонської присвячені вивченню руху короткоперіодичних комет, зокрема еволюції їхніх орбіт. Вчена досліджувала рухи 35 короткоперіодичних комет, довела, що вплив великих планет є основним чинником, який діє на трансформацію кометних орбіт.

Останні роки життя Олена Іванівна прийняла чернечий постриг, читала лекції і писала книги з богослов'я. У своїх працях вона прагнула подарувати людству світло віри, торжество культури й науки. О. І. Полонська була похована на території Пулковської обсерваторії (Санкт-Петербург).

У 1978 р. ім'ям Олени Казимирчак-Полонської названа мала планета «2006 Полонська», в Херсоні на честь видатної астрономки названа вулиця.



# ЗОРІ

## Тема. Узагальнені характеристики стаціонарних зір

### 1 Визначення відстаней до зір. Абсолютні зоряні величини і світність зорі. Колір і температура зір. Радіуси зір

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

**Визначення відстаней до зір.** 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 вдалося. Для вимірювання відстаней до зір астрономи змушені визначати річні паралакси, які пов'язані з орбітальним рухом Землі навколо Сонця (рис. 1.1). У точці  $C$  розташоване Сонце;  $A, B$  — 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  $CBS$ :

$$r = \frac{BC}{\sin p} = \frac{1 \text{ а. о.}}{\sin p} \quad (1.2)$$

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 беззаперечним доказом обертання Землі навколо Сонця та утвердження геліоцентричної системи світу (рис. 1.3). Але тільки 1837 р. В. Струве в Пулковській астрономічній обсерваторії (Росія) визначив річний паралакс зорі Вега ( $\alpha$  Ліри). Найбільший паралакс має найближча до нас зоря Проксима Кентавра —  $p = 0,76''$ , але її в Європі не видно. З яскравих зір, які можна бачити в Україні, найближче до нас перебуває зоря Сіріус ( $\alpha$  Великого Пса), річний паралакс якої  $p = 0,376''$ .

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

$$1 \text{ пк} = \frac{1 \text{ а. о.}}{\sin 1''} = 206\,265 \text{ а. о.} \approx 3,08 \cdot 10^{13} \text{ км} \quad (1.4)$$

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

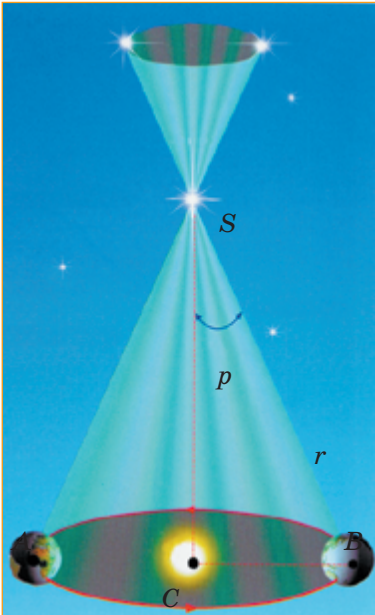


Рис. 1.1. Річний паралакс визначає кут, під яким було б видно із зорі велику піввісь земної орбіти (1 а. о.) в напрямку, перпендикулярному до променя зору

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

$$r \approx 1/p'' \text{ пк} \quad (1.5)$$

**Відстань до найближчих зір**

Зоря	Відстань	
	св. р.	пк
Проксима	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
Альтаір	16,5	5,1
Вега	26,5	8,1
Арктур	36,0	11,0
Капелла	45,0	13,8

**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. 1.6), 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 (рис. 1.7), більш слабкі — другої, а найслабкіші, які ледве видно на нічному небі, — шостої. У XIX ст. англійський астроном Н. Погсон доповнив визначення зоряної величини ще однією умовою: зорі першої зоряної величини мають бути у 100 разів яскравіші за зорі шостої величини. Видиму зоряну величину позначають літерою *m*. Для будь-яких зоряних величин  $m_1$ ,  $m_2$  буде справедливе таке відношення їхньої яскравості  $E_1$  та  $E_2$ :

$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)} \quad (1.8)$$

*Видима зоряна величина m* визначає кількість світла, що потрапляє від зорі до нашого ока. Найслабші зорі, які ще можна побачити неозброєним оком, мають  $m = +6m$ . Рівняння (1.8) називають формулою Погсона. Яскравість *E* фактично визначає освітленість, яку створюють зорі на поверхні Землі, тому величину *E* можна вимірювати люксами — одиницями освітленості, які застосовують у курсі фізики. Згідно з формулою, якщо різниця зоряних величин двох світил дорівнює одиниці, то відношення блиску буде  $\approx 2,512$ .

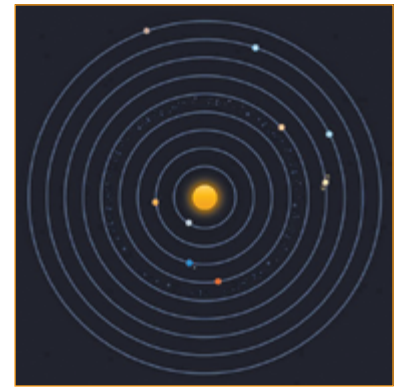


Рис. 1.3. Річні паралакси зір астрономи намагалися визначити ще за часів М. Коперника

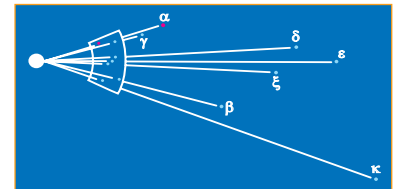


Рис. 1.6. Зорі в сузір'ї Оріон розташовані на різних відстанях від Землі, а нам здається, що вони світять на поверхні сфери

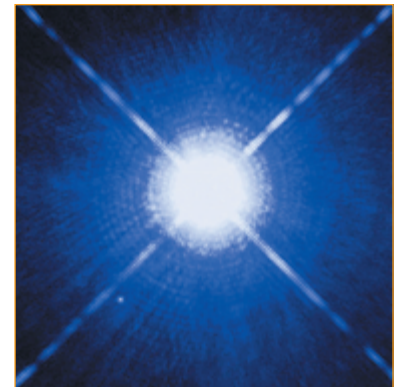


Рис. 1.7. Сіріус — зоря першої величини



**Абсолютна зоряна**

**величина** — міра справжньої світності, тобто енергії, яку небесне тіло випромінює у певному діапазоні хвиль

**Світність** — певна кількість енергії, яку випромінює астрономічний об'єкт з усієї поверхні за одну одиницю часу

**За одиницю світності** береться потужність випромінювання Сонця  $4 \cdot 10^{26}$  Вт

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  $m = +2m$ .

Відносно цього стандарту найслабші зорі, які ще можна побачити неозброєним оком, мають зоряну величину  $+6m$ , у бінокль видно зорі до  $+8m$ , у шкільний телескоп видно світила до  $+11m$ , а за допомогою найбільших телескопів сучасними методами можна зареєструвати слабкі галактики до  $+28m$ . Дуже яскраві небесні світила мають від'ємну зоряну величину. Наприклад, найяскравіша зоря нашого неба Сіріус має видиму зоряну величину  $m = -1,6m$ , для найяскравішої планети Венери  $m = -4,5m$ , а для Сонця  $m = -26,7m$ .

**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, що 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  $\approx +5^m$ .

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:

$$M = m + 5 - 5 \lg r \quad (1.9)$$

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

$$L = \frac{E}{E_{\odot}} = 10^{0,4(5-M)} \quad (1.10)$$

**Температуру зорі** можна визначити за допомогою законів випромінювання чорного тіла. Найпростіший метод вимірювання температури зорі полягає у визначенні її кольору. Правда, неозброєним оком можна визначити тільки колір яскравих зір, адже 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.

**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
Альтаїр	10

**Радіус зір.** Для визначення радіуса зорі не можна застосувати геометричний метод, адже зорі розташовуються настільки далеко від Землі, що навіть у великі телескопи до недавнього часу неможливо було виміряти їхні кутові розміри — усі зорі мають вигляд однакових світлих точок (рис. 1.11, 1.12, 1.13).

Для визначення радіуса зорі астрономи використовують *закон Стефана-Больцмана*:

$$Q = \sigma \cdot T^4, \quad (1.14)$$

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

Енергія, яку випромінює вся зоря з радіусом  $R$ , визначається загальною площею її поверхні, тобто:

$$E = 4\pi R^2 \cdot Q = 4\pi R^2 \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (1.15)$$

З іншого боку, таке саме співвідношення ми можемо записати для енергії, яку випромінює Сонце:

$$E_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\odot}^4 \quad (1.16)$$

Отже, з рівнянь (1.10), (1.11) можна визначити невідомий радіус зорі, якщо відомі  $R_{\odot}$  і температура  $T_{\odot}$  Сонця:

$$\frac{R}{R_{\odot}} = (L)^{0,5} \frac{T_{\odot}^2}{T^2}, \quad (1.17)$$

де  $L$  — світність зорі в одиницях світності Сонця.

Виявляється, що існують зорі, які мають радіус у сотні разів більший за радіус Сонця, і зорі, що мають радіус менший, ніж радіус Землі.

Радіус зорі можна визначити, вимірюючи її світність і температуру поверхні.

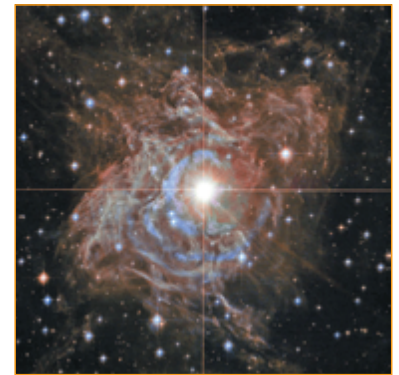


Рис. 1.11. Яскрава зоря Південної півкулі RS Корми

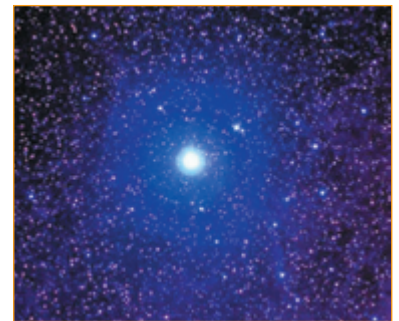


Рис. 1.12. Полярна зоря



### Контрольні запитання

1. Що потрібно визначити для вимірювання відстані до зір?
2. Як визначається світність зір?
3. Яким чином вимірюються відстані до найближчих зір?
4. Як визначається радіус зір?
5. Річний паралакс Проксими Кентавра становить  $0,76''$ . Яка відстань до цієї зорі?

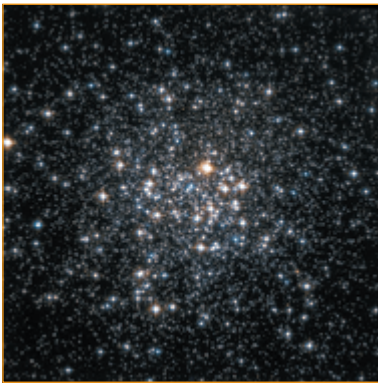


### Спектральна класифікація зір. Діаграма Герцшпрунга–Рассела

**Спектральна класифікація зір.** Зоря — це величезна куля гарячого газу, яка утримується як одне ціле завдяки власній силі тяжіння й розігрівається ядерною енергією. Для зір властиве велике різноманіття, проте серед них можна виділити окремі групи, що мають спільні властивості.



Рис. 1.13. Зорі поблизу Полярної. Їх використовують як стандарт для визначення видимих зоряних величин



Зоряне скупчення M107

Дивлячись на небо, ми бачимо, що зорі різні за кольором. Особливо це помітно під час розглядання спектрів. Основні відмінності спектрів зір полягають в кількості й інтенсивності спостережуваних спектральних ліній, а також у розподілі енергії в безперервному спектрі. Із урахуванням видів спектральних ліній та їх інтенсивності побудована **спектральна класифікація зір**.

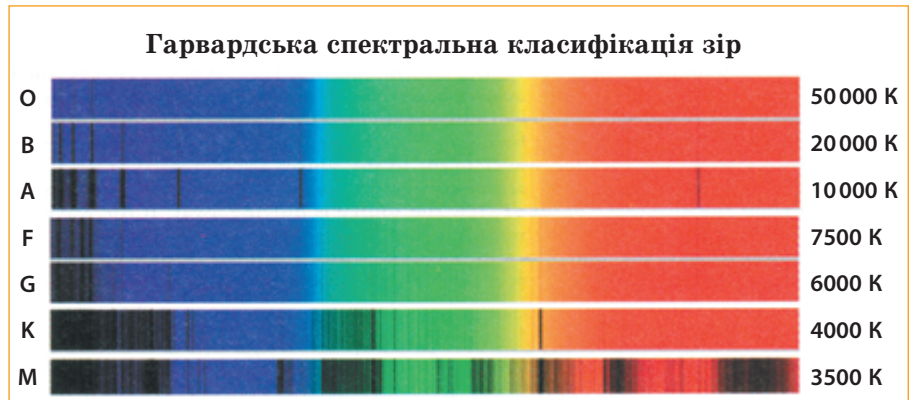


Рис. 2.1. Кольори зір визначають 7 основних спектральних класів. Найгарячіші зорі — сині зорі — належать до спектрального класу *O*, найхолодніші — червоні зорі — до спектрального класу *M*. Сонце має температуру фотосфери 5780 K, жовтий колір і належить до спектрального класу *G*

Відмінності в спектрах зір визначаються передусім відмінностями температур. За температурою зорі розділили на 7 спектральних класів (рис. 2.1), які позначили літерами латинської абетки: *O*, *B*, *A*, *F*, *G*, *K*, *M*.

Найвищу температуру на поверхні мають сині зорі спектрального класу *O*, які випромінюють найбільше енергії у синій частині спектра (рис. 2.2). Кожний спектральний клас поділяється на 10 підкласів: *A0*, *A1*... *A9*.

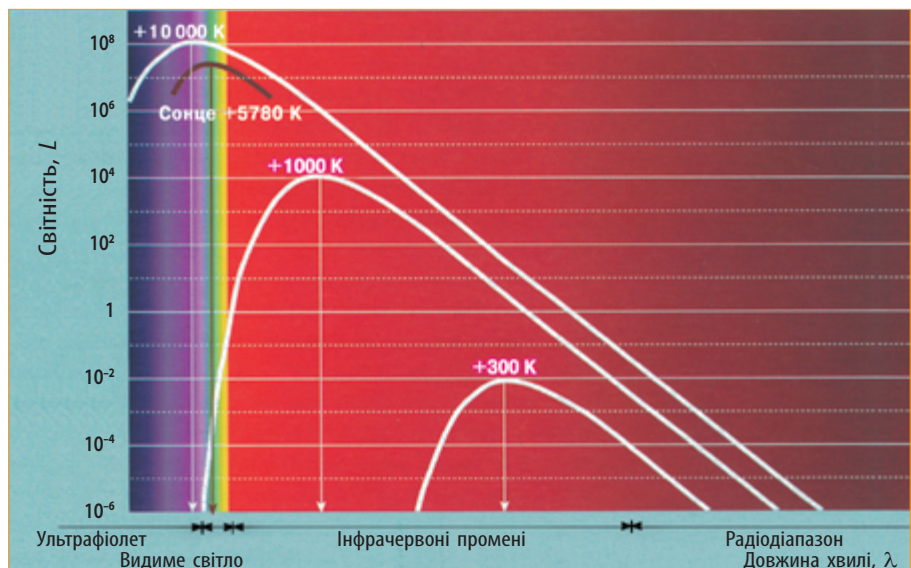


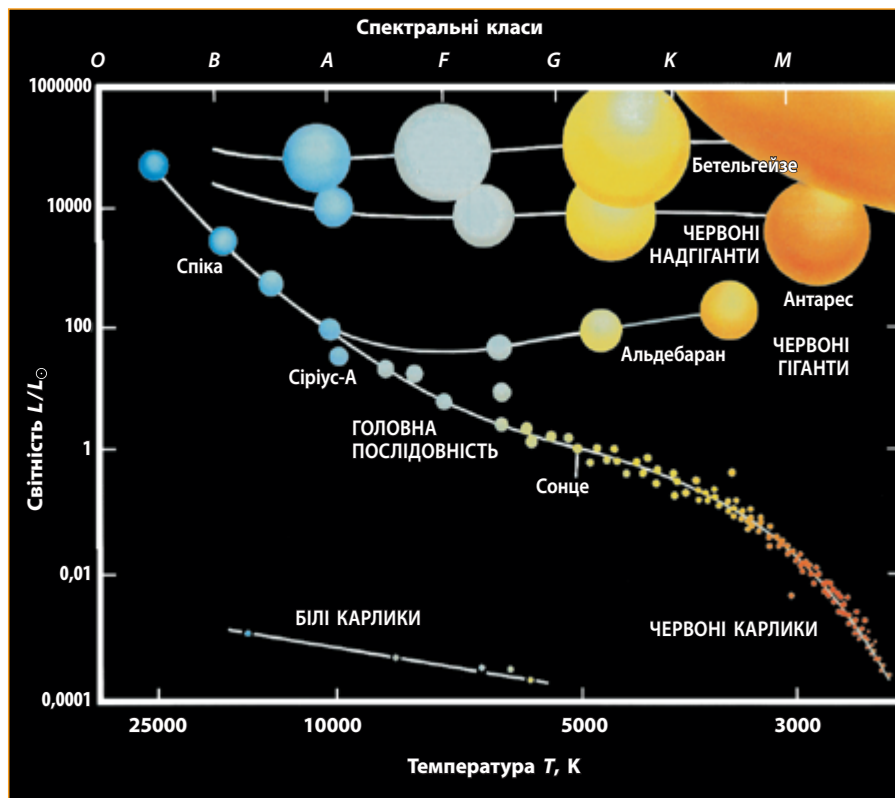
Рис. 2.2. Інтенсивність випромінювання космічних тіл із різною температурою. Гарячі зорі випромінюють більше енергії у синій частині спектра, а холодні зорі — у червоній. Планети випромінюють енергію переважно в інфрачервоній частині спектра

Зазвичай 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, тому що основні хімічні елементи у Всесвіті — водень та гелій, а основна відмінність різних спектральних класів обумовлена температурою зоряних фотосфер.

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.

Астрономи вирішили перевірити, чи багато в космосі таких зір, як наше Сонце. З цією метою Е. Герцшпрунг і Г. Рассел запропонували діаграму, на якій можна позначити місце кожної зорі, якщо відомі її температура і світність. Її названо **діаграмою спектр–світність**, або **діаграмою Герцшпрунга–Рассела** (рис. 2.3). Вона має вигляд графіка, на якому по осі абсцис відзначають спектральний клас, або температуру зорі, а по осі ординат — світність.

Якщо Сонце — середня зоря, то на діаграмі має бути скупчення точок поблизу того місця, яке займає Сонце. Тобто більшість зір мають бути жовтого кольору з такою самою світністю, як і Сонце. Яке ж було здивування астрономів, коли виявилось, що в космосі не знайшли жодної зорі, яку можна вважати копією Сонця. Більшість зір на діаграмі розташована у вузькій смугі, яку називають



**Білі карлики** — зорі, що мають радіус у сотні разів менший від сонячного і густину в мільйони разів більшу за густину 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 K і радіус у десятки разів більший, ніж сонячний. Маса цих зір не набагато більша за масу Сонця. Такі зорі не перебувають у стані рівноваги

Рис. 2.3. Діаграма Герцшпрунга–Рассела. По осі абсцис позначена температура зір, по осі ординат — світність. Сонце має температуру 5780 K 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, розташована у вузькій смугі, яку називають головною послідовністю зір

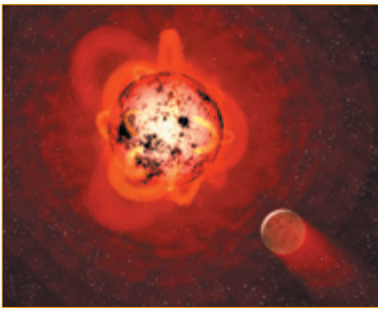


Рис. 2.4. Червоний карлик



Рис. 2.5. Порівняльні розміри Сонця і червоного гіганта



Рис. 2.6. Білий карлик

головною послідовністю. Діаметри зір головної послідовності відрізняються у кілька разів, а їхня світність згідно із законом Стефана–Больцмана визначається температурою поверхні. До цієї смуги належать Сонце і Сіріус.

Суттєва різниця в температурі на поверхні зір різних спектральних 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 (рис. 2.4) мають масу в десятки разів меншу, ніж сонячна.

Окремо від головної послідовності на діаграмі розташовуються білі карлики (ліворуч унизу) та червоні надгіганти (праворуч уверх), які мають приблизно однакову масу, але значно відрізняються за розмірами (рис. 2.5). Гіганти спектрального класу *M* мають майже таку саму масу, як білі карлики (рис. 2.6) спектрального класу *B*, тому суттєво відрізняється середня густина цих зір. Наприклад, радіус червоного надгіганта Бетельгейзе у 400 разів (рис. 2.7) 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  $31 \cdot 0,6 \text{ г/см}^3$ , тобто наперсток речовини білого карлика важив би на Землі 10 000 Н. Ще більшу густину мають нейтронні зорі та чорні діри.

Головна загадка діаграми *спектр–світність* полягає в тому, що в космосі астрономи ще не знайшли хоча б дві зорі, які мають однакові фізичні параметри — масу, температуру, світність, радіус. Наприклад, багато зір належать до спектрального класу *G* (Капелла,  $\alpha$  Кентавра та ін.), але немає зір, які були б точно такі, як Сонце. Напевно, протягом еволюції зорі змінюють свої фізичні параметри, тому мало ймовірно, 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-но народилися, інші мають середній вік, і, крім того, багато зір закінчують своє існування грандіозними спалахами.



### Контрольні запитання

1. Чим пояснюється різниця в температурі на поверхні зір різних спектральних класів?
2. Що таке головна послідовність зір?
3. Який принцип покладений в основу Гарвардської класифікації зір?
4. Які зорі мають вищу температуру поверхні: червоні чи сині?
5. До якого спектрального класу належить Сонце?

Рис. 2.7. Радіуси деяких зір у порівнянні із Сонцем



## Тема.

## Подвійні та нестаціонарні зорі

### 1 Звичайні зорі. Подвійні зорі різних типів. Змінні зорі. Пульсуючі змінні зорі

**Звичайні зорі.** Протягом свого тривалого життя кожна зоря може як збільшувати, так і зменшувати всі свої основні параметри — температуру, світність та радіус. Зорі на головній послідовності перебувають у стані гравітаційної рівноваги, коли зовнішні шари за рахунок гравітації тиснуть до центра, в той час як тиск нагрітих газів діє в протилежному напрямку — від центра (рис. 1.1).

Зоря в стані гравітаційної рівноваги не змінює своїх параметрів, адже інтенсивне випромінювання енергії з поверхні компенсується джерелом енергії в надрах — термоядерними реакціями. Такий процес триває доти, доки половина гідрогену в 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 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.

**Подвійні зорі** — системи, які складаються з двох зір, що описують замкнені орбіти навколо спільного центра мас під дією взаємного тяжіння. Інколи трапляються системи з трьох і більше зір; у такому випадку систему називають **кратною зорею**.

Іноді буває, що дві фізично не пов'язані між собою зорі випадково проєктуються на небосхилі поряд. Такі зорі називають **оптично подвійними** — на противагу «справжнім», фізично подвійним. Класичним прикладом таких зір є Алькор і Міцар (рис. 1.2) у сузір'ї Великої Ведмедиці. Обидві зорі подвійної системи обертаються по еліптичних орбітах навколо спільного центра мас цих зір. Якщо відстань між компонентами дуже велика, орбітальний період може вимірюватися роками, іноді століттями. Для тісних систем їх орбітальний період може становити лише кілька годин. Якщо досить масивні зорі обертаються на близькій відстані одна від одної, то це призводить до того, що зрештою дві зорі зіллються в одну (рис. 1.3).

**Змінні зорі** — зорі, у яких спостерігають зміни блиску хоча б в одному спектральному діапазоні.

Змінні зорі типу Алголь (відома подвійна зоря  $\beta$  Персея) — **фотометричні подвійні**, в яких у проміжках між затемненнями блиск є сталим або ж змінюється в малих межах. Змінні зорі називають **фізично-змінними**, якщо зміни блиску зумовлені процесами,



Рис. 1.1. Зоря в стані рівноваги: зовнішні сили гравітації врівноважені силами газового тиску



Рис. 1.2. Алькор і Міцар

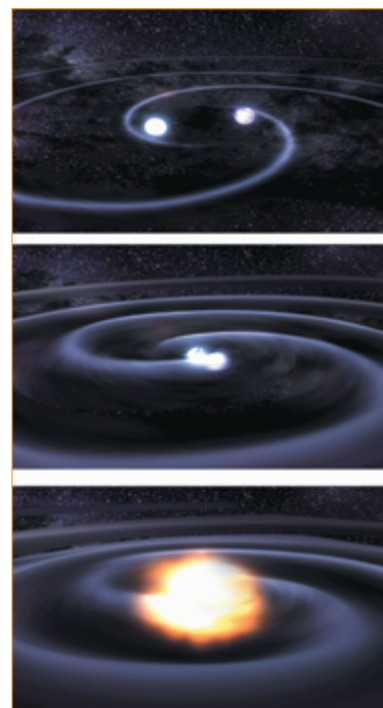
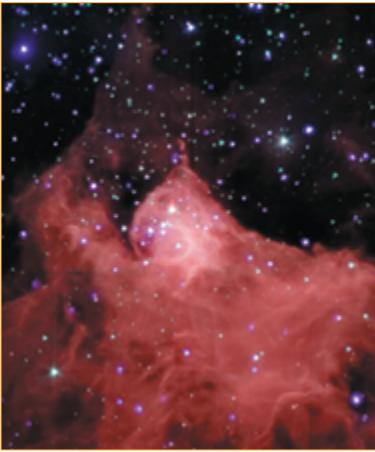


Рис. 1.3. Подвійні зорі. Взаємне тяжіння та подальше злиття



Туманність у сузір'ї Оріон можна побачити навіть неозброєним оком. Відстань до неї близько 1000 св. років

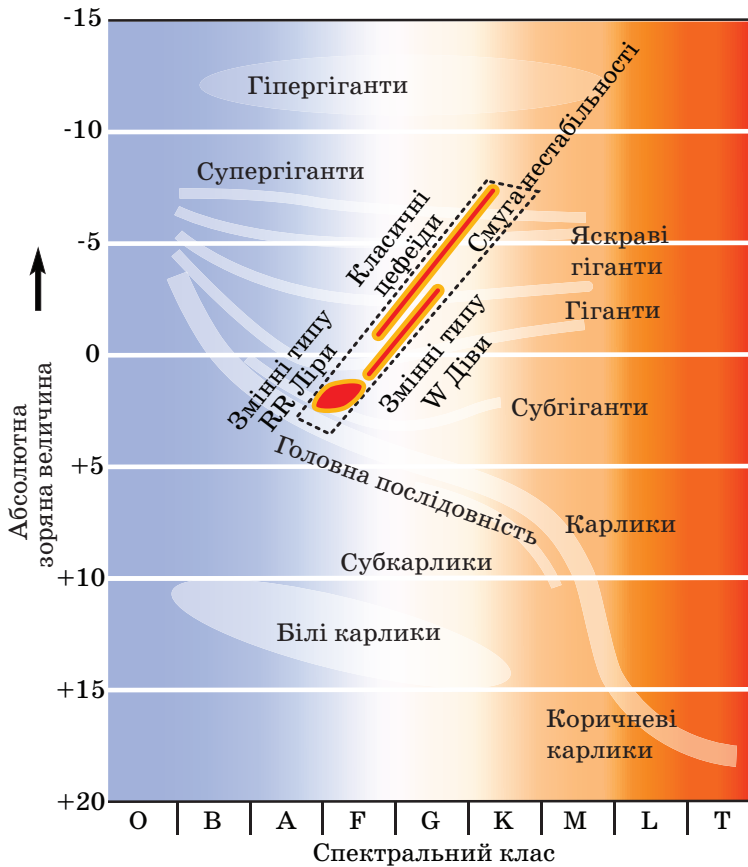


Рис. 1.4. Розташування деяких типів змінних зір на діаграмі Герцшпрунга-Рассела

що відбуваються в самій зорі або на її поверхні, і **оптичними** у випадку, якщо блиск зорі змінюється внаслідок дії зовнішніх щодо неї причин, наприклад під час періодичних затемнень іншою зорею.

Перші дев'ять змінних зір у кожному із сузір'їв позначають літерами латинського алфавіту від *R* до *Z* і додають назву сузір'я, наприклад *T* Тельця. Зорі, відкриті пізніше, позначають двома літерами того самого алфавіту (від *RR* до *QZ*). За такою схемою позначають 334 зорі в кожному сузір'ї. Наступні відкриті змінні зорі позначають літерою *V* і додають номер та назву сузір'я, наприклад *V335* Лебеда (рис. 1.4).

За особливостями змін блиску і причинами, що зумовлюють їх, змінні зорі поділяють на *шість головних класів*: еруптивні; пульсуючі; змінні зорі, що обертаються; спалахуючі й новоподібні; тісні подвійні затемнювані системи; джерела сильного змінного рентгенівського випромінювання.

У кожному з цих класів є об'єкти різної природи, що належать до різних типів змінності блиску. Водночас одні й ті самі об'єкти можуть змінювати блиск майже з усіх можливих причин або з будь-яких їхніх комбінацій, що дає підстави для віднесення їх одразу до кількох класів. Окрім того, є унікальні об'єкти, що не вкладаються у зазначені рамки класифікації.



Рис. 1.5. Цефеїда

Окремі типи змінних зір називають за зорею-прототипом. Змінні зорі типу  $\delta$  Цефея називаються **цефеїдами** (рис. 1.5), зорі типу  $RR$  Ліри — **ліридами**, зорі типу  $W$  Діви — **віргінідами**. Три-валій час усі ці групи об'єднували під назвою *цефеїди*. Проте і раніше їх поділяли на довгоперіодичні (або класичні цефеїди, прототип — зоря  $\delta$  Цефея) і короткоперіодичні (прототип — зоря  $RR$  Ліри). Виділення окремих типів — лірид і віргінід — супроводжувалося змінами в наукових уявленнях щодо масштабів Галактики і галактичного світу в цілому.

Загальноприйнятою теорією, що пояснює зміни, які відбуваються в цефеїдах, є *теорія пульсацій*. Відповідно до цієї теорії цефеїди — це пульсуючі гігантські газові кулі, які в момент максимуму блиску мають найменший об'єм і найвищу температуру. Потім відбувається розширення зорі, причому її температура знижується. Досягнувши найбільшого розширення, зовнішні шари під дією сил тяжіння починають падати вниз, «проскакують» через середнє положення рівноваги і знову стискаються. Цикл починається спочатку.

Період пульсацій цефеїд залежить від маси та радіуса зорі, наприклад  $\delta$  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 назвали *планетарними туманностями* (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Планетарна туманність утворюється, коли порушується рівновага і зоря скидає зовнішні шари

### Види цефеїд

Цефеїди аномальні	Зорі типу VL Волопаса з аномальними для своєї світності періодами пульсацій
Цефеїди довгоперіодичні	Зорі з періодами пульсацій понад одну добу
Цефеїди карликові	Пульсуючі змінні зорі з періодами пульсацій 1–6 год
Цефеїди класичні	Пульсуючі змінні зорі високої світності, які мають стабільні криві блиску
Цефеїди короткоперіодичні	Зорі типу $RR$ Ліри, зміни блиску яких перебувають в межах від 12 до 35 діб
Цефеїди сферичної складової	Пульсуючі змінні зорі, які мають стійкі криві блиску з періодами пульсації від 1 до 30 діб

## 2 Нові та Наднові зорі

**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 літописці в Київській Русі, адже це був рік смерті Ярослава Мудрого. Вважалося, що поява нової зорі віщувала «Боже знамення» на сумну подію. Сьогодні на тому місці, де спалахнула ця таємнича зоря, видно Крабоподібну



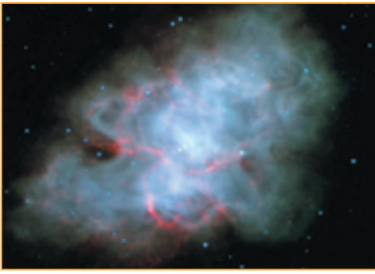


Рис. 2.1. Крабоподібна туманність, яка утворилася після спалаху Наднової у 1054 р.

**Нова зоря** — зоря класу вибухових змінних, блиск якої раптово збільшується на 7–20<sup>m</sup>

**Наднава** — зоря, світність якої несподівано зростає і за декілька днів досягає ( $10^8$ – $10^{10}$ )  $L_{\odot}$

**Пульсари** — галактичні об'єкти, джерела строго періодичного імпульсного випромінювання



Рис. 2.2. Спалах Наднової у сусідній галактиці Велика Магелланова Хмара (1987 р.)

туманність (рис. 2.1). Зорі спектральних класів *O* і *B*, які протягом кількох днів збільшують свою яскравість у сотні мільйонів разів, називають **Новими**. Наразі астрономи практично не мають розбіжностей щодо фізичних процесів спалаху Нових. Вважається, що спалах відбувається на поверхні білого карлика, що входить до тісної подвійної системи. Речовина з зорі-компаньона перетікає на білий карлик, збільшує його масу, запускає ядерні реакції, які розігрівають білий карлик, що призводить до вибуху. Спалах Нової спричиняє скидання оболонки (зі швидкістю близько 1000 км/сек), яку згодом іноді можна спостерігати у вигляді туманності. Маса скинутої оболонки менша за 0,001 маси Сонця. Отже, спалахнувши, зоря не руйнується повністю. Інколи Нова випромінює майже стільки ж енергії, скільки виділяють разом усі зорі в Галактиці — такі зорі мають назву **Наднові**. Наднова зоря — це вибух зорі, яка вже вичерпала внутрішні запаси речовини для термоядерних реакцій, через що перестає світитися з середини, а її оболонка починає стрімко падати на ядро, що спричиняє вибух.

Тобто Нова зоря — це результат перетікання речовини з однієї зорі на білий карлик, а Наднова — це кінець життя досить масивної зорі, коли в неї зупиняється термоядерний синтез у надрах.

Крабоподібна туманність у сузір'ї Тельця є залишком такої Наднової. Вірніше, якщо врахувати, що ця туманність розміщується на відстані 6500 св. років від Землі, то спалах Наднової стався ще 7500 років тому.



### Для допитливих

Після спалаху Нової або 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/см<sup>3</sup>. 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 **пульсарями**. Один із пульсарів було виявлено навіть у центрі Крабоподібної туманності.

Останній спалах Наднової астрономи спостерігали в 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. 2.2). 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 вперше отримали інформацію про далеку космічну подію, яка відбулася майже 200 тис. років тому. Після спалаху зорі всі планети, які оберталися навколо неї, випарувалися і перетворилися на 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. 2.3).

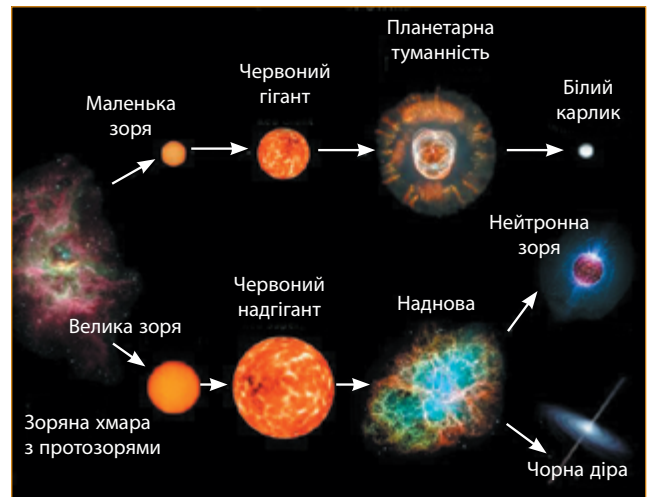


Рис. 2.3. Еволюція зір



### Контрольні запитання

1. Які існують типи змінних зір?
2. Чи є Сонце найгарячішою зорею в Галактиці? Поясніть свою думку.
3. Які зорі змінюють кількість випромінюваного: фотометричні подвійні чи фізично-змінні?
4. Як ви розумієте термін «тісна подвійна зоряна система»? Поясніть.
5. Що означає термін *Нова зоря*?
6. Дві зорі мають однакову температуру поверхонь, але різні світності. Як ви вважаєте, їхні розміри однакові? Чому?
7. До якого спектрального класу належить Сонце? Обґрунтуйте свою відповідь.
8. Яка відстань до Полярної зорі, якщо її річний паралакс становить  $0,003''$ ?
9. Поясніть сутність теорії пульсацій цефеїд. Наведіть приклади.
10. Яка природа спалаху Нової зорі?
11. Із двох зір можна побачити лише одну. Поясніть, як дізнаєтесь про подвійність зорі.
12. Поясніть, чому зорі з меншою початковою масою більше часу перебувають у стадії звичайної зорі, ніж зорі з більшою початковою масою.

## Тема. Сонце як зоря

### 1 Загальні характеристики Сонця, внутрішня будова, атмосфера. Реєстрація сонячних нейтрино



Рис. 1.1. Сонце

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

**Загальні характеристики.** Сонце — одна з мільярдів зір нашої Галактики, центральне тіло Сонячної системи, вік якого близько 5 млрд років. Воно дає Землі тепло і світло, що підтримує життя на нашій планеті. Сонце — найближча до нас зоря, віддалена від Землі лише на 150 млн км, тому ми бачимо його у формі диска (рис. 1.1). Сонце розміщене на відстані близько 10 кпк від центра Галактики, обертається навколо нього зі швидкістю 250 км/с. Вивчення Сонця має дуже важливе практичне значення для розвитку земної цивілізації.

**Температура** Сонця вимірюється за допомогою законів випромінювання «чорного тіла». Сонце випромінює електромагнітні хвилі різної довжини, які нашим оком сприймаються як біле світло. Насправді біле світло складається з цілого спектра електромагнітних хвиль від червоного до фіолетового кольору, але Сонце випромінює найбільше енергії у жовто-зеленій частині спектра, тому астрономи називають Сонце жовтою зорею. Температура на поверхні Сонця становить 5780 К. Сонце є розжареною плазмовою кулею, яка завдяки безперервному перебігу термоядерних реакцій у його надрах зберігає високу температуру, незважаючи на потужне випромінювання з поверхні.

**Світність** Сонця ( $L_s$ ) 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  $1 \text{ м}^2$  поверхні Землі за 1 сек за умови, що Сонце розташоване в зеніті. Для визначення світності Сонця необхідно величину сонячної сталої помножити на площу сфери з радіусом  $R$ :

$$L_s = 4\pi R^2 \cdot q \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}, \quad (1.2)$$

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

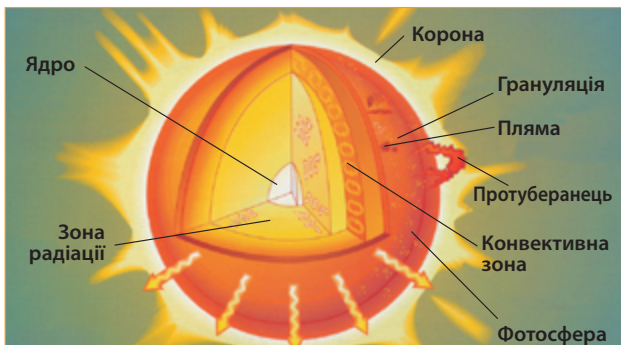


Рис. 1.3. Внутрішня будова Сонця

**Внутрішня будова, атмосфера.** Сонце — величезна розжарена плазмова куля, що має складну будову своїх зовнішніх і внутрішніх шарів. У результаті фізичних процесів, що протікають у 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, фотосфера (рис. 1.3).

Центральна область — **ядро**, воно займає відносно невеликий об'єм, але завдяки великій густині, 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  $1/3R$ .

У зоні променистої рівноваги, або **зоні радіації**, що оточує ядро на відстані до  $2/3R$ , 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 перемішування 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. *sphera photos* — куля світла), 200–300 км завтовшки, сприймається нами як поверхня Сонця (рис. 1.4). 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. 1.5). Над фотосферою розташована **хромосфера** (від грец. *chromos sphaera* — кольорова сфера), де атомами різних речовин утворюються темні лінії поглинання у спектрі Сонця (рис. 1.6). Загальна товщина хромосфери становить 10–15 тис. км, а температура в 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**.

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 більше від потужності такої самої маси сонячної речовини. Правда, Сонце світить протягом мільярдів років, випромінюючи майже одну й ту саму енергію, надійно обігрівачи Землю та інші тіла Сонячної системи.



Рис. 1.6. Спектр Сонця. Темні лінії поглинання утворюються у хромосфері

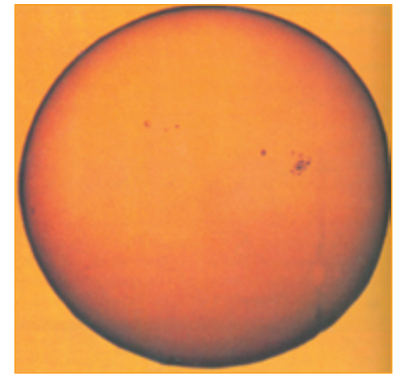


Рис. 1.4. Фотосфера — це найглибший шар атмосфери Сонця, який випромінює світло.

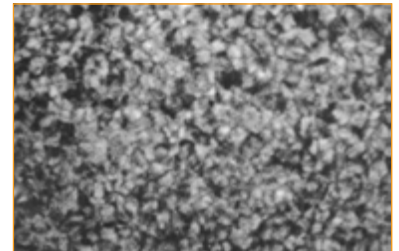


Рис. 1.5. Фотосферна грануляція. Гранули мають діаметр 1000 км — це прояв конвекції

**Сонячний вітер** — безперервний потік плазми сонячної атмосфери, що поширюється від Сонця у приблизно радіальних напрямках. Головними складовими компонентами сонячного вітру є протони та електрони, однак простежуються також  $\alpha$ -частинки, високоіонізовані атоми кисню, заліза та ін.

**Ядро** — центральні області Сонця, де протікають термо-ядерні 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

### Параметри Сонця

Середня відстань до Землі	$1,5 \cdot 10^{11}$ м
Радіус	$109 R_{\oplus}$
Середній діаметр	$1,39 \cdot 10^9$ м
Маса	$1,99 \cdot 10^{30}$ м ( $33\,0000 M_{\oplus}$ )
Середня густина	$1,4$ г/см <sup>3</sup>
Прискорення вільного падіння на екваторі	$274$ м/с <sup>2</sup>
Температура ядра	$1,4 \cdot 10^7$ К
Температура корони	$1,5 \cdot 10^6$ К
Температура фотосфери	$5780$ К
Світність	$4 \cdot 10^{26}$ Вт
Хімічний склад за масою, %	H <sub>2</sub> — 71, He — 27

**Реєстрація сонячних нейтрино.** Інформацію про внутрішню будову Сонця отримують унаслідок теоретичних розрахунків. Ці висновки вчені перевіряють за допомогою метода, який пов'язаний зі спостереженням сонячних нейтрино. Отже, *сонячний нейтрино* є видом випромінювання, який приходить до земного спостерігача з найглибших надр Сонця і несе в собі інформацію про процеси, що там відбуваються.

Нейтрино — «невловима» частинка, яка бере безпосередню участь у термоядерних реакціях. Зокрема нейтрино утворюються в процесі термоядерних перетворень водню на гелій, які, згідно з сучасними уявленнями, служать джерелами внутрішньозоревої енергії. Енергія цих частинок і величина їхнього потоку залежать від температури і характеру ядерних реакцій. Крім цього сонячні нейтрино, що володіють величезною проникаючою здатністю, проходять через всю сонячну товщу практично безперешкодно і досягають Землі. Тому сонячні нейтрино дають інформацію про стан Сонця практично в момент спостереження.

Якби нам вдалося «зловити» сонячні нейтрино, ми в певному сенсі «побачили б», що відбувається в центрі Сонця. Але спостерігати їх можна тільки непрямим шляхом (рис. 1.7), змушуючи взаємодіяти з іншими частинками і реєструючи результати подібних взаємодій.

Підходящою ядерною реакцією може служити взаємодія нейтрино з ядром одного з ізотопів хлору з атомною вагою 37. Вловивши сонячні нейтрино, таке ядро перетворюється на ядро ізоотопу аргону-37, який є радіоактивним, а отже, через певні проміжки часу можна вимірювати, скільки його накопичилося.

Але інші космічні випромінювання також можуть викликати ядерну реакцію перетворення хлору на аргон. Щоб позбутися таких перешкод, вимірювання треба проводити глибоко під землею, куди звичайні космічні частинки проникнути не можуть.

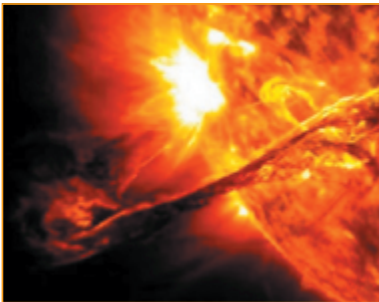


Рис. 1.7. Зовнішня сонячна активність

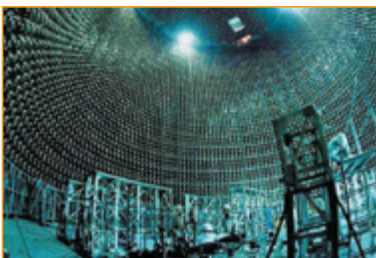


Рис. 1.8. Підземний детектор нейтрино

Ідея такого «детектора» для реєстрації сонячних нейтрино була запропонована Б. Понтекорво і здійснена Р. Девісом. Нейтрино-телескопом служила величезна цистерна, наповнена 600 тоннами перхлоретилену. Апаратура була встановлена в покинутому руднику в штаті Південна Дакота, США (рис. 1.8). Сонячні нейтрино спостерігали протягом тривалого часу кількома серіями. Виявилось, що число зареєстрованих актів взаємодії набагато менше передбаченого теорією.

Для пояснення цього деякі вчені припустили, що сонячний термоядерний реактор працює в «імпульсному режимі». Тобто в надрах Сонця термоядерна реакція час від часу припиняється, і тоді Сонце світить за рахунок запасів енергії, накопичених в попередньому циклі.

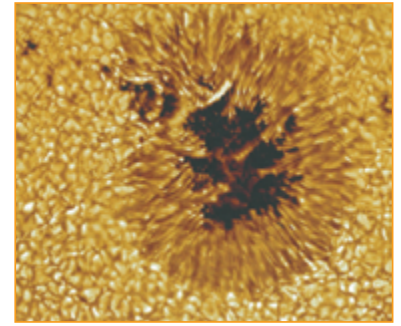


Рис. 2.1. Сонячна пляма — це область фотосфери, де знижується температура, адже сильне магнітне поле у плямі зупиняє конвекцію



### Контрольні запитання

1. Чи є Сонце центральним світилом у Сонячній системі?
2. Чи має Сонце атмосферу?
3. Скільки часу існує Сонце?
4. Про що свідчить наявність гранул у фотосфері Сонця?
5. Що формує речовина корони, витікаючи у міжпланетне середовище?
6. Що вам відомо про регулярність сонячних спалахів?
7. Чи відбувається обмін речовиною між хромосферою і короною?
8. Поясніть, чому плями на диску від Сонця здаються чорного кольору, адже температура в них сягає 4500 К?
9. Сонце не може вибухнути як термоядерна бомба. Доведіть або спростуйте це твердження.
10. Запропонуйте свій метод реєстрації сонячних нейтрино.



## 2 Прояви сонячної активності та їхній вплив на Землю

**Прояви сонячної активності.** 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 фоні більш гарячої фотосфери з температурою 5780 К (рис. 2.1, 2.2). Виникає питання: що знижує температуру всередині плями? Плями на Сонці можуть існувати протягом кількох місяців, тому виникла гіпотеза, що якийсь процес гальмує конвекцію 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 конвекційні процеси всередині плями.

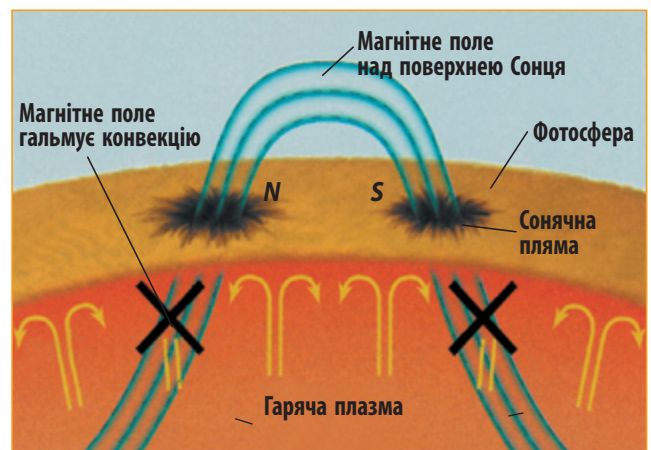


Рис. 2.2. Плями з'єднані між собою попарно, як полюси в магніті, кожна пляма має свою магнітну полярність

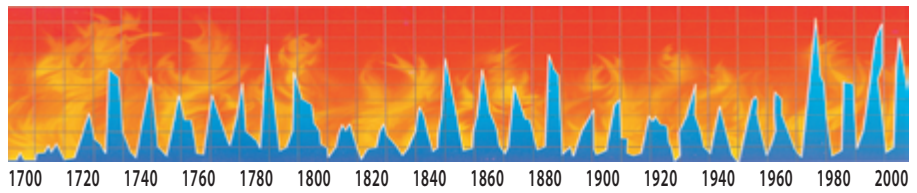


Рис. 2.4. Зміна сонячної активності визначається кількістю плям та їхньою площею

Ще одна загадка активності Сонця захована в її періодичності — цикл зміни кількості плям повторюється приблизно через кожні 11 років (рис. 2.4, 2.5).

**Число Вольфа.** Професор астрономії та директор Цюріхської обсерваторії Р. Вольф протягом півстоліття спостерігав Сонце з метою вивчення статистики сонячних плям. Він з'ясував середню періодичність їхньої найбільшої кількості на Сонці та наявність зв'язку між цією періодичністю і коливаннями магнітного поля Землі. Учений увів в астрономічну практику числа, що характеризують активність плямоутворення на Сонці, — числа Вольфа.

Число Вольфа — один з індексів сонячної активності, який описує потужність процесу плямоутворення на Сонці. Цей індекс описують за формулою:

$$W = k(10g + f), \quad (2.6)$$

де  $g$  — кількість груп плям на сонячному диску;  $f$  — загальна кількість плям в усіх групах;  $k$  — близький до одиниці коефіцієнт, який залежить від умов спостереження. Із циклом сонячної активності число Вольфа змінюється.

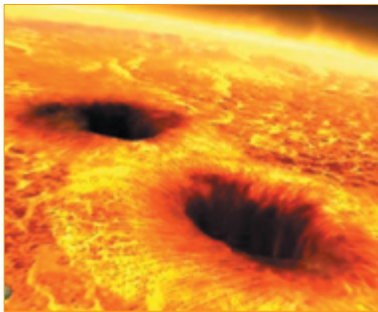


Рис. 2.5. Сонячна активність визначається кількістю плям та їхньою загальною площею



### Для допитливих

Плями поєднані 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 хромосферних спалахів, які вибухають поблизу плям, виділяється така величезна енергія, яку можна порівняти з випромінюванням всієї фотосфери Сонця (рис. 2.7). Не слід плутати спалахи з протуберанціями. **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 речовиною між хромосферою і короною.

**Протуберанці** — утвори в сонячній короні, які відрізняються від навколишнього середовища підвищеною густиною та зниженою температурою

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 рентгенівському діапазонах). Також у міжпланетний простір викидаються потоки заряджених частинок, які летять зі швидкістю до 20 000 км/с. Через кілька годин після спалаху корпускулярні потоки можуть долетіти до Землі й викликати збурення її магнітного поля та світіння іоносфери, що проявляється у вигляді інтенсивних полярних сяйв.

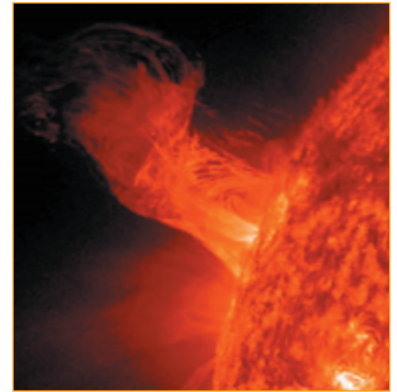


Рис. 2.7. Хромосферний спалах на Сонці

### Контрольні запитання

1. Яке явище астрономи називають сонячною активністю?
2. Назвіть кілька активних утворень на поверхні Сонця.
3. Проявом яких процесів на Сонці є полярні сяйва в атмосфері Землі?
4. Чи впливає сонячна активність на клімат Землі?
5. Поясніть, чим відрізняються між собою мінімум і максимум активності Сонця.
6. Що вам відомо про регулярність сонячних спалахів?
7. Поясніть, чи схожі вода, що кипить, та сонячні гранули.
8. Що таке активна зона на поверхні Сонця?
9. Як сонячна активність впливає на людину? Поясніть.
10. Опишіть механізм впливу сонячного спалаху на атмосферу і магнітосферу Землі.
11. Закінчіть речення: «До зниження температури в сонячних плямах у порівнянні з температурою оточуючої фотосфери призводить...»

### Тема для дискусії

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

### Завдання для спостереження

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

**Увага!** Під час спостережень не можна дивитися на диск Сонця як неозброєним оком, так і в телескоп без спеціального світлофільтра!

### Практичні роботи

- «Визначення чисел Вольфа за спостереженнями у шкільний телескоп»
- «Визначення спектра Сонця»



## Тема. Утворення та еволюція зір

### 1 Еволюція зір. Протозорі. Білі карлики. Нейтронні зорі



Рис. 1.1. За допомогою сучасних телескопів астрономи виявили в космосі сотні величезних газопилових туманностей, де зараз відбувається утворення молодих світів



Рис. 1.2. Туманність у сузір'ї Оріон можна побачити неозброєним оком. Відстань до неї близько 1000 св. років



Рис. 1.3. Туманність у зоряному скупченні Плеяди, з якої утворюються нові зорі

**Еволюція зір. Протозорі.** Астрономи створили теорію еволюції зір завдяки тому, що в космосі можна спостерігати мільярди зір різного віку. Всесвіт — це своєрідний космічний парк, у якому зорі народжуються, певний час світять, а потім гинуть. 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 (рис. 1.1). Наприклад, такі своєрідні «ясла» новонароджених зір можна побачити в сузір'ї Оріон (рис. 1.2) та зоряному скупченні Плеяди (рис. 1.3).

Доля зорі та тривалість її життя залежать від початкової маси зародка зорі — **протозорі**. Якщо вона була в кілька разів більшою, 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 не перетворюються на зорі — вони будуть випромінювати енергію тільки в інфрачервоній частині спектра. Такі космічні тіла ми спостерігаємо навіть у Сонячній системі — це планети-гіганти Юпітер, Сатурн, Нептун. Можливо, що в міжзоряному просторі кількість таких холодних інфрачервоних тіл (їх ще називають *коричневі карлики*) може бути набагато більшою, ніж видимих зір.

**Білі карлики. Нейтронні зорі.** Білі карлики — зорі низької світності з масами, порівняними із масою Сонця, та високо ефективними температурами. Назва «білі карлики» пов'язана з кольором перших відкритих представників цього класу — Сіріуса *B* і 40 Ерідана *B* (рис. 1.4).

Сучасні теоретичні розрахунки показують, що нейтронні зорі і пульсари — це одні й ті самі об'єкти. Внаслідок стискування нейтронної зорі має виконуватися закон збереження моменту імпульсу. Цей закон часто демонструють на льоду фігуристи, коли треба викликати швидко обертання свого тіла навколо осі. Спортсмени спочатку починають повільно обертатися навколо осі з витягнутими в різні сторони 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. 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 понад 2,5 тис. у вигляді **пульсарів** (рис. 1.5), адже більшість таких «прожекторів» не спрямована на Землю.



### Контрольні запитання

1. Яка зоря молодша: *Нова* чи *протозоря*?
2. Яку характеристику зорі підкреслює термін «білий карлик» — низьку світність чи низьку температуру?
4. Опишіть процес утворення протозорі.
5. Чому нейтронна зоря має таку назву?
6. Поясніть, чому протозоря припиняє стиснення.
7. За рахунок якої енергії світяться білі карлики, якщо всередині їх не відбуваються ядерні реакції?

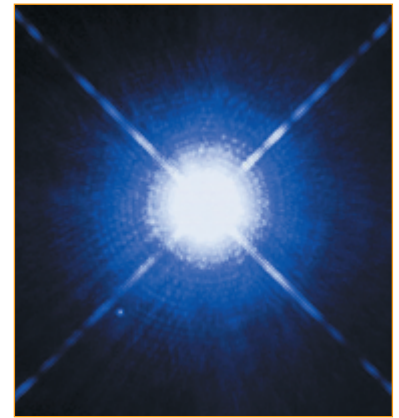


Рис. 1.4. Білий карлик Сіріус В поруч з зорею Сіріус А (Сіріус В — точка у лівому нижньому квадраті)



## 2 Кінцева стадія еволюції Сонця. Чорні діри. Чорні діри зоряних мас в подвійних системах. Надмасивна чорна діра в центрі Галактики

**Кінцева стадія еволюції Сонця.** Теоретичні розрахунки показують, що такі зорі, як Сонце, ніколи не стануть чорними дірами, оскільки вони мають недостатню масу для гравітаційного стиснення до критичного радіуса (рис. 2.1).

У стані гравітаційної рівноваги Сонце може світити 1010 років, але ми не можемо точно визначити його вік, тобто скільки часу пройшло від його утворення. Щоправда, за допомогою радіоактивного розпаду важких хімічних елементів можна визначити приблизний вік Землі — 4,5 млрд років, 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 водень перетвориться на гелій, порушиться рівновага в надрах Сонця, і воно може перетворитися у змінну пульсуючу зорю — *цефеїду*. Потім через нестабільність радіус Сонця почне збільшуватися, а температура фотосфери знизиться до 4000 К — Сонце перетвориться на червоного гіганта. На небосхилі Землі буде світитися велетенська червона куля, кутовий діаметр якої збільшиться в 10 разів у порівнянні із сучасним Сонцем і буде сягати 5°. Блакитного неба на Землі не стане, тому що світність майбутнього Сонця зросте в десятки разів, а температура на поверхні нашої планети буде більш ніж 1000 К. Википлять океани, і Земля перетвориться на страшну гарячу пустелю, чимось схожу на сучасну Венеру.

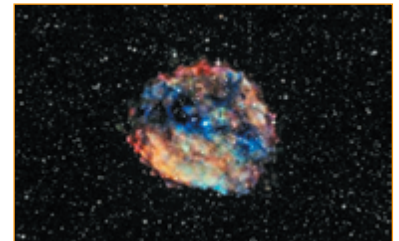


Рис. 1.5. Один із зареєстрованих пульсарів

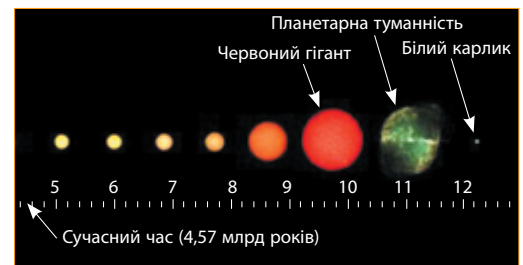


Рис. 2.1. Схема еволюції Сонця

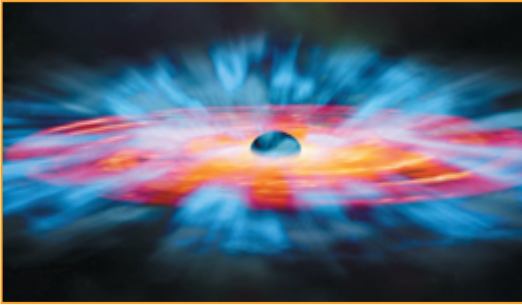


Рис. 2.2. Горизонт події чорної діри

**Чорна діра** — об'єкт, маса  $M$  якого стиснута всередині його сфери Шварцшильда

**Гравітаційний радіус, Сфера (радіус)**

**Шварцшильда** — радіус сферичного тіла, при якому його друга космічна швидкість дорівнює швидкості світла



Рис. 2.3. Комп'ютерна модель сфери Шварцшильда

У Сонячній системі така температура, яка зараз на Землі, буде тільки на околицях — на супутниках Сатурна і Урана. У стадії червоного гіганта Сонце буде світити приблизно 100 млн років, після чого верхня оболонка відірветься від ядра і почне розширюватись у міжзоряний простір у вигляді планетарної туманності. 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 більший, ніж у Землі, але густина сягатиме  $10^{10}$  кг/м<sup>3</sup>. Білий карлик не має джерел енергії, тому температура його поверхні поступово знизиться, і остання стадія еволюції нашого Сонця — холодний білий карлик.

**Чорні діри.** Чорні діри утворюються на останній стадії еволюції зір із масою більш ніж  $3M_{\odot}$ . Така дивна назва пов'язана з тим, що з чорної діри назовні не може вирватися ані випромінювання, ані елементарна частинка. Межу простору, за яку не виходить світло, називають *горизонтом події* чорної діри (рис. 2.2). Радіус чорної діри залежить від її маси і може бути від кількох сантиметрів або метрів до мільярдів кілометрів.

Для того, щоб тяжіння не дало змоги випромінюванню вирватися за горизонт подій, маса  $M$ , що створює це поле, має стиснутися до об'єму з радіусом, який менший від гравітаційного радіуса.

Гравітаційний радіус обчислюють за формулою:

$$R_g = \frac{2MG}{c^2}, \quad (1.8)$$

де  $G$  — гравітаційна стала,  $c$  — швидкість світла.

При стисненні об'єкта у кулю з радіусом рівним радіусу Шварцшильда або менший за нього, відбувається незворотний гравітаційний колапс, тобто об'єкт перетворюється на чорну діру (рис. 2.3, 2.4). Сфера Шварцшильда є межею чорної діри, що виникає під час стиснення сферичної маси, яка не обертається.

Попри те, що безпосередньо спостерігати чорну діру неможливо, її наявність може бути встановлено через взаємодію з іншою речовиною, світлом або іншим електромагнітним випромінюванням. Із зоряних рухів може бути обчислено масу та положення невидимого компонента. Було відкрито кілька подвійних зоряних систем, в яких одна із зір невидима, але має існувати, тому що вона змушує своєю гравітаційною силою іншу, видиму, зорю обертатися навколо їхнього спільного центра мас. Таким чином, ці невидимі зорі є ймовірними кандидатами в чорні діри. Астрономи ідентифікували численних кандидатів у чорні діри зоряних мас у подвійних системах, вивчаючи рух їхніх компаньйонів таким чином.

У 2019 р. отримано перше пряме зображення чорної діри. Також їх спостерігають непрямими методами за викривленням світла в колі їхньої гравітації.

**Чорні діри зоряних мас у подвійних системах.** Чорні діри зоряних мас спостерігаються у складі тісних подвійних систем. Речовина зорі-супутника перетікає на чорну діру по спіралі. При цьому утворюється акреційний диск, який випромінює в рентгенівському й гамма-діапазонах. Перша чорна діра була відкрита 1967 р. в сузір'ї Лебедя. До 2004 р. рентгенівський космічний телескоп *RXTE* вірогідно виявив 15 чорних дір в подвійних зоряних системах в нашій Галактиці.

Маси велетенських чорних дір у ядрах галактик визначають за швидкостями руху зір. Станом на 2004 р. так визначено маси центральних чорних дір у 30 галактиках, зокрема і в нашій. Також чорні діри можуть бути виявлені завдяки явищу гравітаційного лінзування (при проходженні чорної діри між звичайною зорею і спостерігачем відбувається візуальне збільшення яскравості зорі, оскільки гравітаційне поле чорної діри викривляє світлові промені). Це явище також називають кільцями Айнштейна.

Уявіть собі, що космічний корабель наближається 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, тому що 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, адже сигнал через межу чорної діри ніколи не досягне Землі.

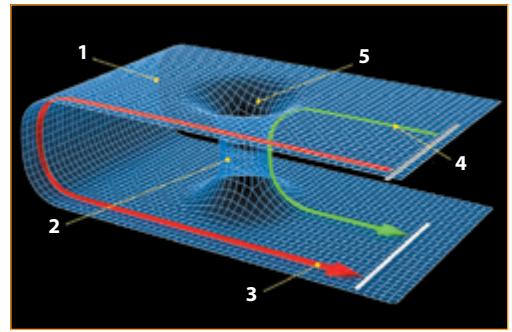


Рис. 2.4. Простір-час всередині сфери Шварцшильда:  
1. Звичайний простір ззовні кротовини.  
2. Тунель між областями простору.  
3. Шлях променя світла звичайним простором.  
4. Шлях променя світла через кротовину.  
5. Вхід у кротовину

**Акреція** — падіння речовини на гравітуюче тіло із навколишнього середовища

**Дізнайтеся про гіпотетичні антиподи чорних дір.**



### Надмасивна чорна діра в центрі Галактики.

Центр Галактики містить компактний об'єкт із дуже великою масою (близько 4,3 млн  $M_{\odot}$ ), розташований у напрямку сузір'я Стрільця. Цей об'єкт має назву Стрілець А\* (англ. *Sagittarius A\**, рис. 2.4), більшість вчених вважає його надмасивною чорною дірою (рис. 2.5).

У 2002 р. міжнародна дослідницька група Інституту Макса Планка на чолі з Райнером Шеделем повідомила про результати спостереження руху зорі S2 навколо об'єкта Стрілець А\* за десять

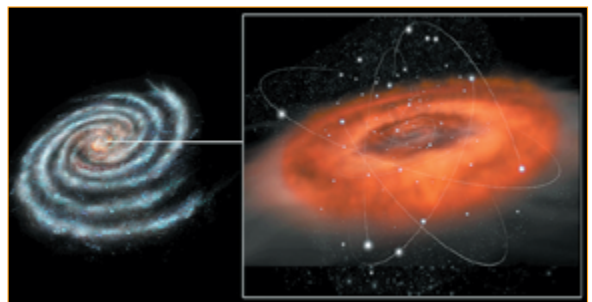


Рис. 2.5. Надмасивна чорна діра Стрілець А\*

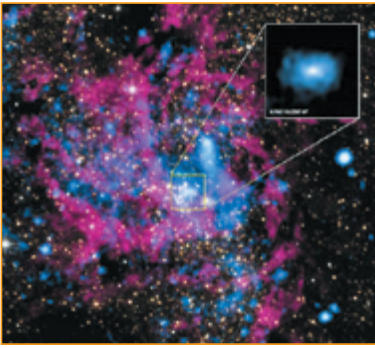


Рис. 2.6. Щільні хмари космічного пилу навколо ядра Галактики

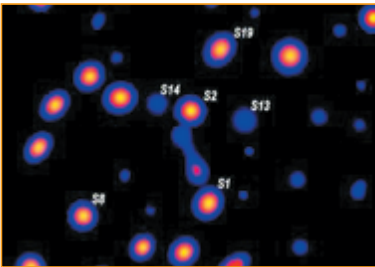


Рис. 2.7. Зорі в межах  $\pm 0,5''$  від центру Галактики



Рис. 2.8. Хмари гарячого газу в центрі Галактики

років. Вони доводили, що Стрілець А\* — об'єкт величезної маси. З аналізу елементів орбіти було визначено, що маса об'єкта становить  $2,6 \pm 0,2$  млн мас Сонця. Ця маса міститься в об'ємі діаметром не більш ніж 120 а. о. Подальші спостереження встановили більш точне значення маси — 3,7 млн мас Сонця, радіусом не більш ніж 45 а. о. Для порівняння: Плутон віддалений від Сонця на 39,53 а. о. Ці спостереження дозволили припустити, що об'єкт Стрілець А\* пов'язаний з чорною дірою.

До кінця 1960-х років не існувало ефективних інструментів для вивчення центральних областей Галактики, оскільки щільні хмари космічного пилу (рис. 2.6), які закривають від спостерігача галактичне ядро, повністю поглинають видиме випромінювання, що йде від нього, і значно ускладнюють роботу в радіодіапазоні.

З появою інфрачервоних детекторів високої роздільної здатності з'явилась можливість спостерігати окремі зорі в центральних областях Галактики (рис. 2.7). Вивчення їхніх спектральних характеристик виявило, що більшість із них належить до молодих зір віком кілька мільйонів років. Всупереч поглядам, які прийняті раніше, було встановлено, що в околицях надмасивної чорної діри активно йде процес зореутворення.

Деякі дослідники вважають, що джерелом газу для цього процесу є два пласкі акреційні газові кільця (рис. 2.8), виявлені в центрі Галактики в 1980-х рр. Проте внутрішній діаметр цих кілець занадто великий, щоб пояснити процес зореутворення в безпосередній близькості від чорної діри. Зорі, що розташовуються в радіусі 10 пк від чорної діри (так звані S-зорі), мають довільний напрямок руху орбітальних моментів, що суперечить акреційному сценарію їх виникнення. Вважається, що це гарячі ядра червоних гігантів, які утворилися у віддалених районах Галактики, а потім мігрували в центральну зону, де їхні зовнішні оболонки були зірвані припливними силами чорної діри.



### Контрольні запитання

1. Яку назву дали об'єкту в центрі Галактики?
2. Які спостереження припускають, що об'єкт Стрілець А\* пов'язаний з чорною дірою?
3. Що являють собою чорні діри?
4. Що є неможливим: космічний корабель підлетів до чорної діри; космічний корабель відлетів від неї? Поясніть свою думку.
5. На підході до сфери Шварцшильда чорної діри гравітаційна сила зростає і на самій сфері стає нескінченною. Поясніть, що відбуватиметься з тілом, яке потрапляє в чорну діру.



### Практичні роботи

- «Визначення параметрів зір за діаграмою Герцшпрунга-Рассела».
- «Моделювання еволюційних шляхів (треків) зір в залежності від значень початкових фізичних характеристик».

# ГАЛАКТИЧНА І ПОЗАГАЛАКТИЧНА АСТРОНОМІЯ

## Тема. Наша Галактика

### 1 Молочний Шлях. Будова Галактики. Зоряні скупчення та асоціації. Туманності. Місце Сонячної системи в Галактиці

**Молочний Шлях. Будова Галактики.** Галактика — гравітаційно пов'язана система зір і зоряних скупчень, міжзоряного газу, пилу й темної матерії. Усі об'єкти в складі галактик беруть участь в обертанні навколо спільного центра мас. Галактики — надзвичайно далекі об'єкти. Відстань до найближчих із них вимірюється в мегапарсеках, а до далеких — в одиницях червоного зміщення. Саме через віддаленість неозброєним оком розрізнити на небі можна лише три з них: туманність Андромеди (видно в Північній півкулі), Велику і Малу Магелланові Хмари (видно в Південній півкулі). Вирізнити окремі зорі в зображеннях інших галактик не вдавалося аж до початку ХХ ст. До початку 1990-х рр. налічувалося не більше 30 галактик, в яких вдалося побачити окремі зорі (всі ці галактики належать до Місцевої групи). Після запуску космічного телескопа «Габбл» і введення в дію 10-метрових наземних телескопів кількість галактик, в яких вдалося розрізнити окремі зорі, значно зросла. Наша Галактика входить до Місцевої групи галактик (рис. 1.1).

За межами Сонячної системи, на відстані більш ніж 100 000 а. о., починається зона тяжіння інших зір. Неозброєним оком на небі можна побачити близько 6000 зір, які утворюють 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**.

У Всесвіті перебувають мільярди галактик, серед яких є і наша Галактика, яку називають Молочний, або Чумацький Шлях; до неї входить наша Сонячна система. На нічному небі ми бачимо її як сріблясту смугу (рис. 1.2). Наша Галактика — це величезна система, у якій обертаються навколо центра (рис. 1.3) мільярди зір. Гарячі зорі розміщені у вигляді диска зі спіральними рукавами. Галактики розташовані в скупченнях і формують комірчасту структуру Всесвіту. Найбільш віддалені космічні об'єкти, які ще можна побачити у сучасні телескопи, — **квасари**. Вони розташовані від нас на відстані 10 млрд св. років.

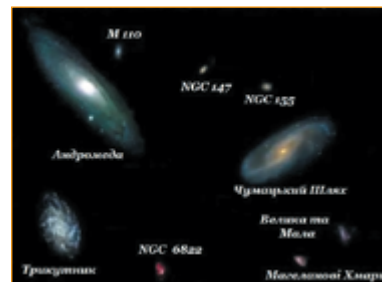


Рис. 1.1. Найближчі до Чумацького Шляху галактики

**Галактика** — велетенська зоряна система, яка складається приблизно із 200 млрд зір, до яких належить і Сонце

**Молочний Шлях** (або наша Галактика) — галактика, у якій розташована Сонячна система і всі окремі зорі, видимі неозброєним оком. У народі її ще називають Чумацьким Шляхом



Рис. 1.2. Молочний, або Чумацький, Шлях

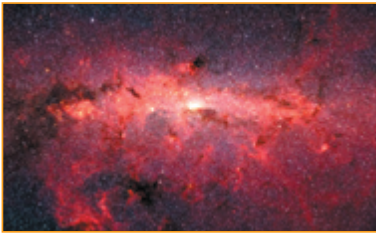


Рис. 1.3. Центр Чумацького Шляху. Знімок з телескопа «Спітцер» в інфрачервоному спектрі



Рис. 1.4. Комп'ютерна модель зближення Чумацького Шляху та галактики Андромеди



Рис. 1.5. Газопилова туманність Трифід у сузір'ї Стрільця

Дуже важко визначити вік, коли сформувався Чумацький Шлях, але наразі вік найдавніших зір у Галактиці оцінюється у 13,6 млрд років, що приблизно дорівнює віку Всесвіту. За сучасними уявленнями, Чумацький Шлях утворився внаслідок зіткнення і злиття невеликих галактик. Свідченням цього є перші зорі з низькою металевістю (відношення вмісту елементів, важчих за гелій, до вмісту водню в зорі, яке є низьким:  $< -1.0$ ), що утворилися на найранішому етапі існування Всесвіту. Такі зорі вчені знаходять у галактичному *гало* — «околиці» Чумацького Шляху, що тягнеться за межі його видимої частини.

За допомогою комп'ютерного моделювання фахівці з Гарвард-Смітсонівського астрофізичного центру дійшли висновку, що наша Галактика та галактика Андромеди (рис. 1.4), які наближаються одна до одної зі швидкістю близько 500 тис. км/год, врешті-решт об'єднаються. Це станеться приблизно за 2 млрд років.

### Параметри нашої Галактики



Кількість зір	$4 \cdot 10^{11}$
Маса	$7 \cdot 10^{11} M$
Діаметр диска	$3 \cdot 10^5$ св. р.
Відстань від Сонця до центра	$\approx 30\,000$ св. років
Галактичний рік	$2,5 \cdot 10^8$ р ( $\approx 250$ млн р)

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 розміщується приблизно в одній площині, тому їх видно на небі як туманну світлу смугу, яку в Україні називають Чумацьким Шляхом.

Назва «Галактика» прийшла з Давньої Греції і в перекладі означає Молочний Шлях. Зверніть увагу, що всі яскраві зорі (сузір'я Оріон, Лебідь, Ліра, Орел) розташовані у смузі Молочного Шляху. У цій площині розташована значна частина газопилових туманностей, з яких утворюються нові покоління зір і планет.

Усі ці об'єкти формують так звану *плоску складову Галактики*, до якої входить і Сонячна система. Старі зорі малої світності, які входять у кулясті скупчення, належать до *сферичної складової Галактики*. За хімічним складом зорі кулястих скупчень містять у сотні разів менше важких хімічних елементів, ніж Сонце,

адже 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 спалаху Нових та Наднових зір.

**Зоряні скупчення та асоціації.** 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. Найчисленніші системи об'єднання зір налічують сотні тисяч об'єктів — це **зоряні скупчення та асоціації**. *Кулясті зоряні скупчення* складаються з мільйонів зір. *Розсіяні зоряні скупчення* мають кілька тисяч об'єктів. Найяскравіші з них — Плеяди (Стожари) та Гіади — видно неозброєним оком у сузір'ї Тельця. У зоряні асоціації входять відносно молоді зорі, які мають спільне походження.

**Туманності.** Деякі туманності світяться, тому що їх висвітлюють сусідні зорі; інші залишаються хмарами темного газу. Оскільки міжзоряний пил поглинає світло, учені можуть визначити місце розташування такої туманності, яка затуляє більш далекі зорі.

Після спалаху зорі планети, які оберталися навколо неї, скоріш за все випаровуються й перетворюються на газову туманність, з якої в майбутньому може утворитися нове покоління зір.

Деякі газові туманності, що оточують зорі, називаються **планетарними**. Вони світяться завдяки енергії випромінювання центральної зорі — ядра планетарної туманності. Нині виявлено понад 1500 галактичних планетарних туманностей, їх знайдено і в найближчих галактиках, наприклад у Магелланових Хмарах.

#### Деякі туманності, за якими легко спостерігати

Сузір'я	Назва	Вид	Півкуля	Спосіб спостереження
Водолій	NGC7293	Планетарна	Південна	У бінокль
Кіль	NG3372	Пилова	Південна	У бінокль
Ліра	M57	Планетарна	Північна	У телескоп
Оріон	M42	Дифузна	Південна	Неозброєним оком
Стрілець	M20	Дифузна	Південна	У телескоп
Лисичка	M27	Планетарна	Північна	У телескоп

**Місце Сонячної системи в Галактиці.** Сонце розташоване поблизу площини Галактики на відстані 25 000 св. років від її ядра (рис. 1.6). Вектор швидкості Сонця відносно найближчих зір спрямований до сузір'я Геркулес. Разом з усіма сусідніми зорями Сонце обертається навколо ядра Галактики зі швидкістю 230 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

**Туманності** — протяжні згущення газу й міжзоряного пилу в Галактиці, які виявляють себе поглинанням (темні туманності) або випромінюванням (світлі дифузні, емісійні туманності). Темні й світлі туманності відрізняються лише виглядом, методами їх виявлення і спостережень, особливістю випромінювання

**Сонячна система** — це Сонце та всі об'єкти, що гравітаційно пов'язані з ним



плоскої складової обертаються навколо центру Галактики поблизу однієї площини, то зорі сферичної складової об'єднані у величезні кулясті скупчення, що обертаються навколо центру 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.



### Контрольні запитання

1. Звідки походить назва «Молочний Шлях»?
2. Які об'єкти формують плоску складову Галактики?
3. Скільки видів зоряних скупчень вам відомо? Чим вони відрізняються?
4. Які об'єкти складають Галактику?
5. Скільки часу космічний корабель буде перетинати Галактику, рухаючись з першою космічною швидкістю? Очисліть.
6. Схарактеризуйте особливості обертання Галактики.

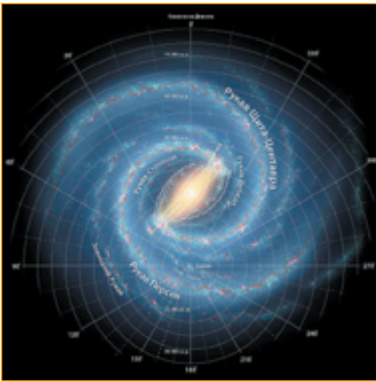


Рис. 2.1. Структура спіральних рукавів Чумацького Шляху.



### 2 Підсистеми Галактики та її спіральна структура

Однією з таємниць Галактики є так звані **спіральні рукави** (рис. 2.1), 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 стискування хмар міжзоряного газу на початковому етапі формування зір. 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, а й в інших спіральних галактиках.

Кожен спіральний рукав описує логарифмічну спіраль із нахилом приблизно  $12^\circ$ . Вважається, що в нашій Галактиці існують чотири основні спіральні рукави, які беруть свій початок у галактичному центрі (рис. 2.2). Кожному з них надана власна назва: Рукав Лебеда, Рукав Кентавра, Рукав Стрільця, Рукав Персея. Також існує ще один невеликий рукав — Рукав Оріона, саме в ньому й розташована Сонячна система.

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

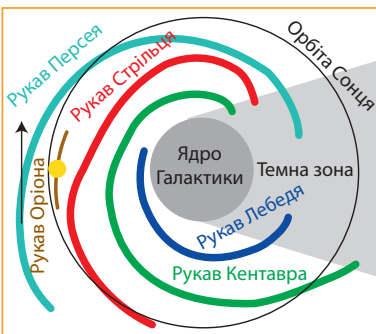


Рис. 2.2 Спіральні рукави нашої Галактики

Поза межами основних спіральних рукавів розташоване Зовнішнє Кільце, або Кільце Єдинорога. Воно складається із газу та зір, що були запозичені від інших галактик мільярди років тому.

*Кільце Єдинорога* — протяжний кільцеподібний ланцюг із зір, тричі обернений навколо Чумацького Шляху (рис. 2.3). Припускається, що структура сформувалася внаслідок виривання частини зір із галактики-супутника Великий Пес припливними силами в ході її довготривалого поглинання Чумацьким Шляхом. Вага Кільця Єдинорога становить 100 млн сонячних мас, завдовжки воно сягає 200 тис. св. років.



**Дізнайтеся про різні типи галактик.**



**Контрольні запитання**

1. Чи має Галактика добре розвинену спіральну структуру?
2. Де зароджуються спіральні рукави Галактики?
3. Який процес називають формуванням зір за допомогою саморозмноження?
4. Внаслідок яких подій сформувалася структура кільця Єдинорога?
5. Доведіть, що Галактика має спіральну структуру.
6. Намалюйте схему будови Галактики.

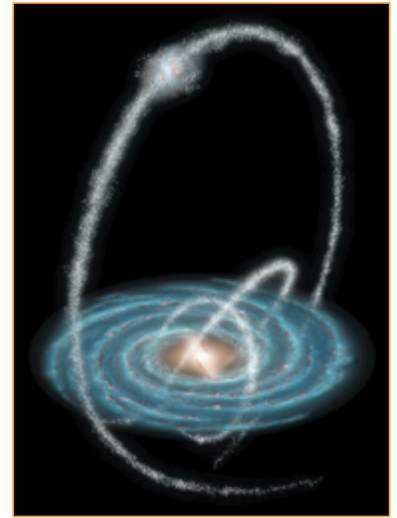


Рис. 2.3. Кільце Єдинорога — протяжний кільцеподібний ланцюг із зір, тричі обернений навколо Чумацького Шляху

## Тема. Галактики і Всесвіт



### Класифікація галактик.

#### Типи, склад і структура галактик

**Галактики** — ізольовані зоряні системи, що містять, крім зір, газ і пил. Усі об'єкти в складі галактик беруть участь в обертанні навколо спільного центра мас



Рис. 1.1. Далекі галактики.  
В центрі — кільце Айнштейна

Галактики — надзвичайно далекі об'єкти. Відстань до найближчих із них вимірюється в мегапарсеках, а до далеких — в одиницях червоного зміщення. Саме через віддаленість неозброєним оком розрізнити на небі можна лише три з них: туманність Андромеди (видно в Північній півкулі), Велику і Малу Магелланові Хмари (видно в Південній півкулі). Вирізнити окремі зорі в зображеннях інших галактик не вдавалося аж до початку ХХ ст. До початку 1990-х років налічувалося не більше 30 галактик, в яких вдалося побачити окремі зорі (всі ці галактики належать до Місцевої групи). Після запуску космічного телескопа «Габбл» і введення в дію 10-метрових наземних телескопів кількість галактик, в яких вдалося розрізнити окремі зорі, значно зросла (рис. 1.1). Наша Галактика й галактика М31 (в сузір'ї Андромеди) входять до Місцевої групи галактик (рис. 1.2, 1.3).

За морфологічними ознаками галактики поділяють на чотири типи:

- еліптичні E;
- спіральні S (рис. 1.4);
- лінзоподібні SO;
- неправильні Ir (рис. 1.5).

Маса галактик варіюється від  $10^7$  до  $10^{12}$  мас Сонця, для порівняння — маса нашої Галактики становить близько  $2 \cdot 10^{11}$  мас Сонця. Діаметр галактик — від 5 до 250 кілопарсек (16–800 тис. св. років). Для порівняння — діаметр нашої Галактики близько 100 тис. св. років, а надгігантська галактика IC 1101 має діаметр приблизно 6 млн св. років.



Рис. 1.3. Лінзоподібна галактика PGC 83677 в сузір'ї Кома Беренц

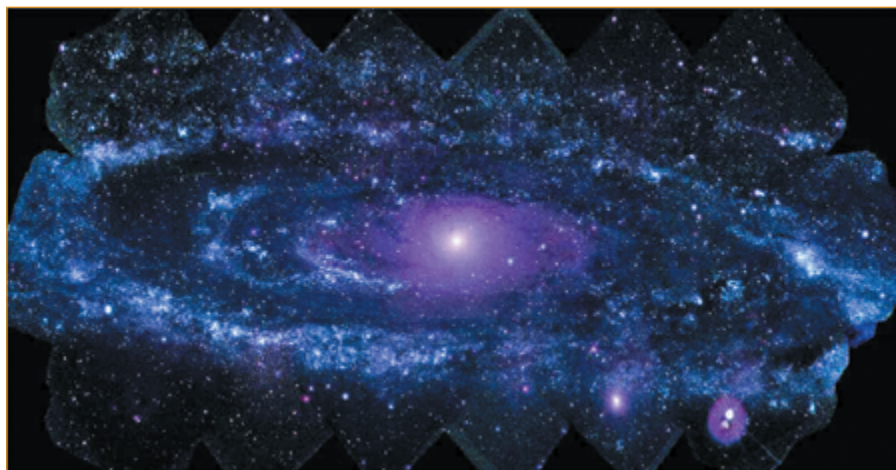


Рис. 1.2. Галактика М31 в ультрафіолетовому світлі Магелланової Хмари

Найбільші скупчення галактик спостерігаються в сузір'ях Діви та Волосся Вероніки (рис. 1.6). 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. 1.7). На останньому, четвертому, ступені ієрархічної структури скупчення галактик майже не взаємодіють між собою.

**Велика Стіна.** 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 порожні області — **порожнечі**. Деякі порожнечі мають діаметр 300 млн св. років — на сьогодні це найбільш відомі утворення у Всесвіті. Найімовірнішим 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, адже ми їх бачимо на обідках величезних космічних бульбашок (рис. 1.8).

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. 1.9).

## 2 Закон Габбла. Просторовий розподіл галактик

**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 віддалення галактик збільшується прямо пропорційно відстані до цих галактик (закон Габбла):

$$V = Hr, \quad (1.10)$$

де  $V$  — швидкість руху галактики;  $r$  — відстань до неї;  $H$  — стала Габбла. За останніми вимірюваннями  $H \approx 70$  км/(с · Мпк).



Рис. 1.4. Спиральна галактика NGC 24, розташована в сузір'ї Скульптор. Відкрита 1785 р. В. Гершелем



Рис. 1.5. Неправильна галактика NGC 1427A



Рис. 1.6. Сузір'я Волосся Вероніки

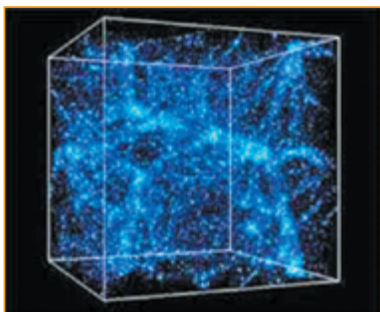


Рис. 1.8. Волокниста структура Всесвіту

**Джети** — релятивістські струмені плазми, що вириваються з центрів (ядер) активних галактик, квазарів, радіогалактик

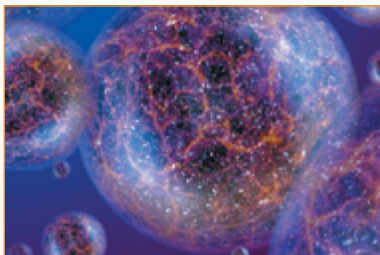


Рис. 1.9. Просторова модель Всесвіту



Рис. 1.11. Галактика IC 3639 з неясним активним ядром

Галактичні ядра мають ознаки активності (рис. 1.11), якщо:

- спектр електромагнітного випромінювання об'єкта набагато ширший від спектра звичайних галактик і може сягати від радіо- до жорсткого гамма-випромінювання;
- спостерігається «змінність» джерела випромінювання. Як правило, це відбувається із періодом від 10 хвилин у рентгеновському діапазоні до 10 років в оптичному й радіодіапазоні;
- є особливості спектра випромінювання, за якими можна дійти висновку про рух гарячого газу з великою швидкістю;
- є видимі морфологічні особливості, зокрема викиди й «гарячі плями»;
- є особливості спектра випромінювання та його поляризації, за якими можна дійти висновку про наявність магнітного поля та його структуру.

**Просторовий розподіл галактик.** Прояви перелічених особливостей можуть бути різні, галактики можуть виявляти не всі перелічені ознаки, а лише деякі з них. Традиційно галактики поділяють на чотири класи: *сейфертовські*, *радіоактивні*, *лацертиди* та *квазари* (рис. 1.12).

Активні ядра галактик є важливим напрямком спостережних і теоретичних астрофізичних досліджень. Дослідження цієї області включають використання спостережних оглядів для пошуку активних ядер галактик у широкому діапазоні світностей і червоних зміщень, перевірку моделей космічної еволюції і росту чорних дір, вивчення фізики акреції на чорні діри і електромагнітного випромінювання активних ядер галактик, вивчення властивостей джетів (рис. 1.13) і викидів речовини з активних ядер галактик, а також вивчення впливу акреції на чорну діру і квазарної активності на еволюцію галактики.



### Контрольні запитання

1. Які типи галактик вам відомі?
2. Назвіть найближчі до нас галактики. У якій півкулі неба їх можна спостерігати?
3. Назвіть ученого, який встановив, що галактики розбігаються.
4. До складу якої групи галактик входить наша Галактика?
5. Чим еліптичні й неправильні галактики відрізняються від спіральних? До якого типу належить наша Галактика?
6. Поясніть, чи можуть відбуватися зіткнення галактик.
7. Сформулюйте і поясніть закон Габбла. Як за допомогою закону Габбла можна виміряти відстань до галактик?
8. З якою характеристикою галактик пов'язане явище червоного зміщення ліній у їхніх спектрах?
9. Галактики розбігаються (червоне зміщення). Чи розбігаються також зорі в межах однієї галактики?

# Тема. Утворення та еволюція Всесвіту

## 1 Космологія. Перші моделі будови Всесвіту та їхні парадокси. Рівняння Фрідмана

### Космологія. Перші моделі будови Всесвіту та їхні парадокси.

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 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 найбільш відомі космологічні парадокси: фотометричний, гравітаційний та «теплової смерті» Всесвіту.

**Фотометричний парадокс** був сформульований 1744 р. швейцарським астрономом Ж. Шезо та доповнений німецьким астрономом І. Ольберсом 1826 р. Коротко суть цього парадокса можна виразити в такому запитанні: «Якщо Всесвіт нескінченний, то чому вночі темно?». Здається, що на це запитання відповісти дуже просто, адже зміну дня і ночі 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. Проте з власного досвіду ми бачимо, що вночі небо набагато темніше, ніж удень. Математики запропонували таку модель Всесвіту, в 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 замкнута крива (рис. 1.1). Замкнутий двовимірний простір — поверхня сфери, яка не має межі, але площа поверхні сфери є скінченною величиною (рис. 1.2).

Ми живемо у тривимірному просторі, і важко уявити собі такий замкнутий Всесвіт, який не має межі, але має скінченний об'єм і, отже, обмежену кількість зір і галактик. У такому Всесвіті немає центру, 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 замкнутий, то мандрівник, подорожуючи в одному напрямку, може здійснити навколосвітню подорож і повернутися в точку старту. В історії *земної цивілізації* першу таку подорож здійснив Магеллан, який довів, що поверхня Землі є замкнутим двовимірним простором. У тривимірному Всесвіті космонавти ніколи не зможуть завершити таку навколосвітню подорож, тому перевірку можна зробити тільки за допомогою теоретичних міркувань.

**Космологія** (космос і грец. *logos* — вчення) — розділ астрономії, в якому вивчають Всесвіт як ціле

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

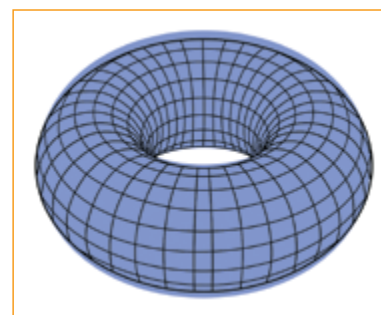


Рис. 1.1 Модель одновимірного простору Всесвіту

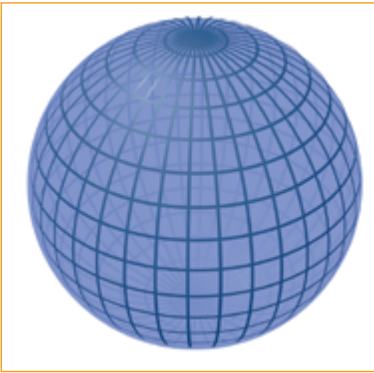


Рис. 1.2. Модель двовимірного простору Всесвіту

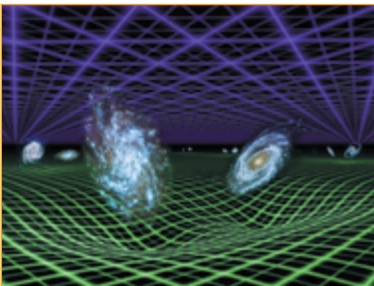


Рис. 1.3. Ньютонівська теорія тяжіння непридатна для розрахунку сильних полів тяжіння

**Гравітаційний парадокс** — космологічна проблема, яка виникає із класичної теорії тяжіння і яку можна сформулювати таким чином: «У нескінченному Всесвіті з евклідовою геометрією і ненульовою середньою густиною речовини гравітаційний потенціал усюди набуває нескінченних значень».

На даний момент цей парадокс не виникає, оскільки Ньютонівську теорію всесвітнього тяжіння, як з'ясувалося на початку ХХ ст., не можна застосовувати для опису сильних гравітаційних полів тяжіння (рис. 1.3) і, зокрема, розподілу нескінченної кількості речовини у безмежному просторі. У цих випадках треба використовувати теорію відносності Айнштейна.

**Парадокс теплової смерті.** Теплова смерть — термін, що описує кінцевий стан будь-якої замкненої термодинамічної системи (рис. 1.4). При цьому ніякого направленого обміну енергією спостерігатися не буде, оскільки всі види енергії перейдуть в теплову. Термодинаміка розглядає систему, що перебуває в стані теплової смерті як систему, в якій термодинамічна ентропія максимальна.

Висновок про теплову смерть Всесвіту був сформульований Р. Клаузіусом 1865 р. на основі другого закону термодинаміки. За цим законом, будь-яка фізична система, що не обмінюється енергією з іншими системами (для Всесвіту в цілому такий обмін, очевидно, виключений), прагне до найбільш вірогідного рівноважного стану — до так званого стану з максимумом ентропії. Такий стан відповідав би тепловій смерті Всесвіту.

Ще до створення сучасної космології були зроблені численні спроби спростувати висновок про теплову смерть Всесвіту. Найбільш відома з них флуктуаційна гіпотеза Л. Больцмана (1872), відповідно до якої Всесвіт одвічно перебуває в рівноважному ізотермічному стані, але за законом випадку то в одному, то в іншому його місці інколи відбуваються відхилення від цього стану; вони відбуваються тим рідше, чим більшу область захоплюють і чим значнішим є ступінь відхилення.

**Рівняння Фрідмана.** Російський математик і геофізик О. Фрідман працював у галузі фізики атмосфери і релятивістської космології. У 1923 р. він отримав розв'язки гравітаційних рівнянь А. Айнштейна, з яких випливало існування нестационарних моделей Всесвіту, що відрізнялися від стаціонарного Всесвіту Айнштейна. Особливості розширення Всесвіту за Фрідманом визначені критичною густиною.

$$\rho_{\text{кр}} = 3H^2/(8\pi G), \quad (1.5)$$

де  $H$  — стала Габбла,  $G$  — гравітаційна стала.

Якщо середня густина матерії у Всесвіті менша від критичної, то його розширення триватиме необмежено — Всесвіт відкритий. Якщо ж середня густина більша за критичну, то після досягнення певного максимального радіуса Всесвіт почне стискуватися — Всесвіт замкнений. На сучасному етапі розбігання галактик підтверджує розширення Всесвіту. Однак це не остаточний висновок, адже існує проблема прихованої маси. Низка ефектів (зокрема

дозоряний синтез гелію і реліктове випромінювання), що передбачені Фрідманом в моделі Всесвіту, доповнені і підтверджені фізичними гіпотезами інших вчених про високу температуру Всесвіту на ранніх етапах.

## 2 Теорія Великого Вибуху. Основні етапи еволюції Всесвіту. Реліктове випромінювання. Спостережені дані про прискорене розширення Всесвіту. Темна матерія та темна енергія як складові Всесвіту

**Теорія Великого Вибуху. Основні етапи еволюції 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:  $T = 1/H$ .

На перший погляд здається, що для побудови теорії еволюції Всесвіту велике значення має визначення місця Великого Вибуху (рис. 2.1). 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, а й зміну параметрів самого Всесвіту. Іншими словами, галактики не летять відносно решти

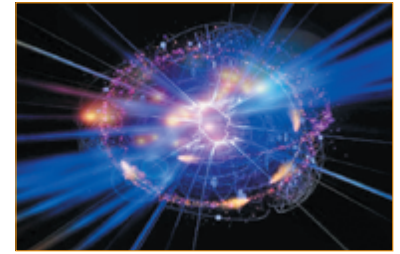


Рис. 1.4. Теплова смерть — термін, що описує кінцевий стан будь-якої замкнутої термодинамічної системи

**Великий Вибух** — термін, за допомогою якого об'єднано сучасні уявлення про початкові стадії розвитку Всесвіту, що пояснюють його еволюцію і властивості. В основу сучасної астрономічної картини світу щодо еволюції Всесвіту покладено **модель гарячого Всесвіту**

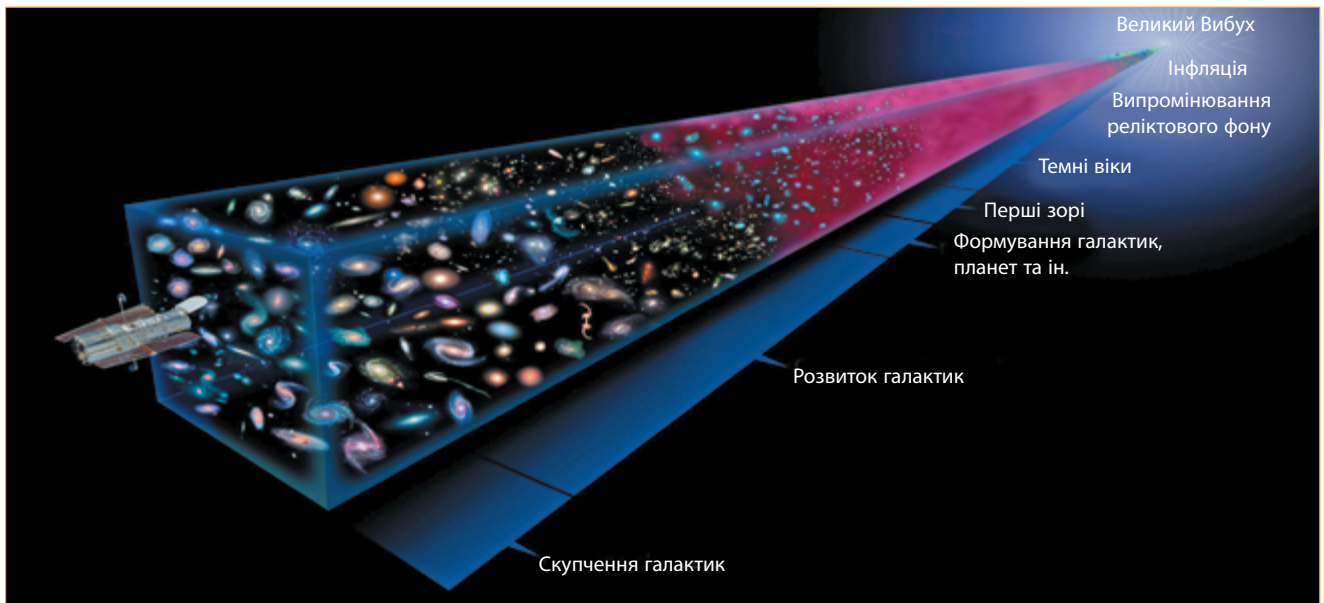


Рис. 2.1. Комп'ютерна модель розвитку Всесвіту від Великого Вибуху до нашого часу



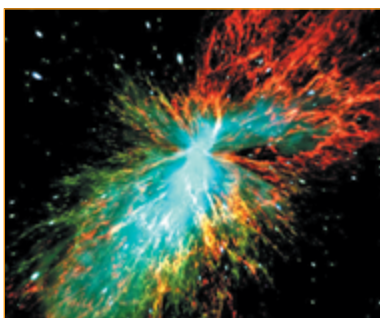


Рис. 2.2. Реліктове випромінювання — кванти світла, що утворилися 15 млрд років тому. Вони відділилися від елементарних частинок і почали самостійне поширення у Всесвіті

Всесвіту, тому що 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.

За сучасними даними, стала Габбла  $H \approx 70 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ , тобто Великий Вибух міг відбутися приблизно 15 млрд років тому. Якщо врахувати, що вік нашої Галактики не може бути більший 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.

**Основні етапи еволюції Всесвіту.** Всесвіт на початку існування мав настільки маленькі розміри, що тоді не було ані галактик, ані зір і навіть ще не існували елементарні частинки. Густина і 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, стали утворюватись елементарні частинки, атоми і галактики. Усю історію нашого Всесвіту можна розділити на чотири ери — *адронна, лептонна, випромінювання та речовини* (див. таблицю).

Ера Всесвіту	Вік Всесвіту, років	Фази еволюції	Температура, К	Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$
Речовини	$1,5 \cdot 10^{10}$	Сучасна епоха	2,7	$5 \cdot 10^{-27}$
	$1,2 \cdot 10^{10}$	Виникнення життя на Землі		
	$10^{10}$	Формування Сонячної системи		
	$6 \cdot 10^9$	Утворення перших зір		
	$5 \cdot 10^9$	Утворення нашої Галактики		$10^{-26}$
	$10^9$	Квазари		
	$3 \cdot 10^8$	Поява хмар водню та гелію		
	$10^8$	Утворюються атоми водню та гелію		$10^{-13}$
Випромінювання	$3 \cdot 10^5$	Формування речовини. Всесвіт стає нейтральним і темним	3	$10^{-10}$
	300 с	Кінець ери випромінювання	10	
Лептонна	10 с	Утворюються ядра дейтерію та гелію	$10^4$	$10^{16}$
	$10^{-4} \text{ с}$	Електрони і позитрони в стані теплової рівноваги з випромінюванням	$10^{10}$	
Адронна	$10^{-7} \text{ с}$	Розділення електромагнітної та слабкої взаємодії	$10^{15}$	
	$10^{-10} \text{ с}$	Утворення нейтронів і протонів	$10^{27}$	
	$10^{-32} \text{ с}$	Відділення сильної взаємодії		
	$10^{-43} \text{ с}$	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, адже 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.

**Реліктове фонове випромінювання** (рис. 2.2, 2.4). Ті кванти електромагнітного випромінювання, що відірвалися від елементарних частинок в еру випромінювання, доходять до Землі звідусіль і відповідають електромагнітному випромінюванню чорного тіла з температурою 2,7 К (рис. 2.3).

На початку існування кванти мали велику енергію, тому випромінювання відбувалося у високочастотній частині спектра електромагнітних хвиль у гамма-діапазоні. Із часом гаммакванти 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 та 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 зараз максимум випромінювання перебуває в *радіодіапазоні на хвилі завдовжки 1 мм*. Інтенсивність і частота такого випромінювання не залежать від

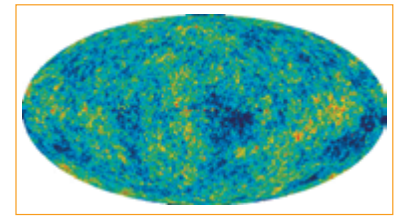


Рис. 2.4. Анізотропія реліктового випромінювання за даними супутника WMAP

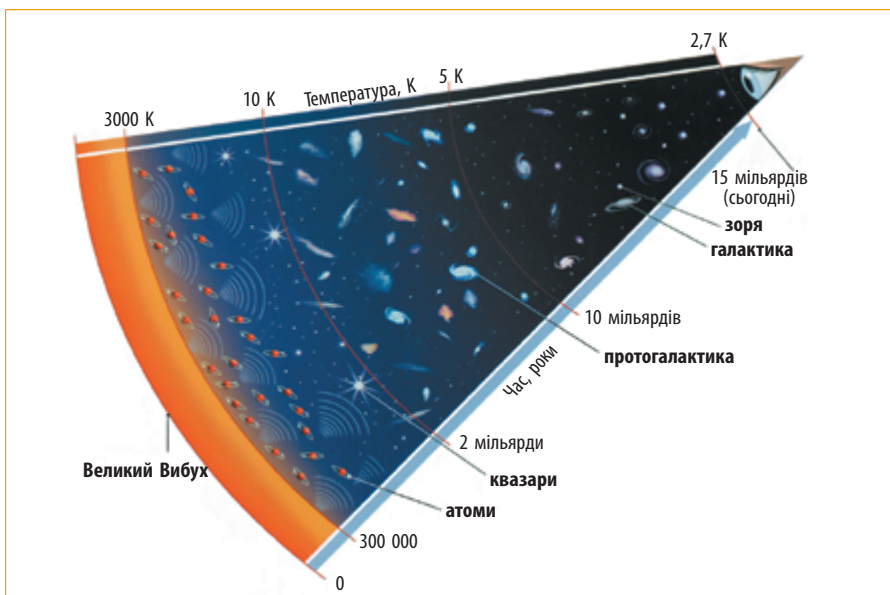


Рис. 2.3. Чим далі від Землі розміщується космічний об'єкт, тим молодшим ми його бачимо, адже світло від нього досягає поверхні Землі через мільярди років. На межі видимої частини Всесвіту з відстані 10 млрд св. років надходить випромінювання, яке утворилося за часів Великого Вибуху. На відстані 5 млрд св. років ми бачимо квазари, з яких пізніше формуються галактики

**Реліктове випромінювання** — випромінювання Всесвіту, яке домінує в діапазоні довжин хвиль від міліметрів до метра

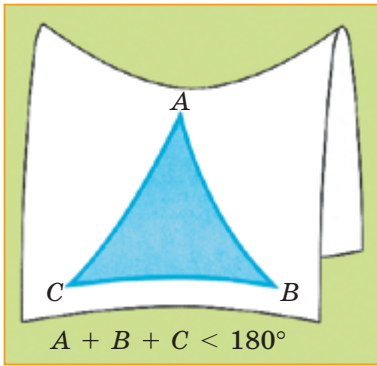


Рис. 2.5. У відкритому Всесвіті справедлива неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику менша від  $180^\circ$

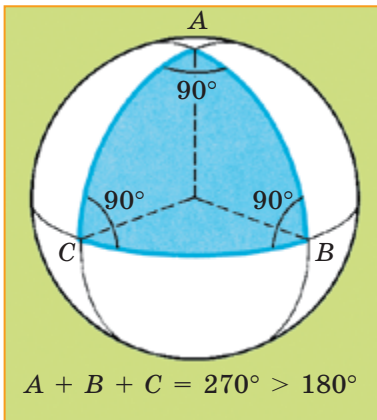


Рис. 2.6. Для закритого Всесвіту є правильною неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику більша за  $180^\circ$

напрямку, і це свідчить про те, що середня температура Всесвіту повсюди однакова. Цікаво, що передбачив існування гарячого раннього Всесвіту ще 75 років тому уродженець міста Одеси Дж. Гамов (США), але зареєстрували ці реліктові електромагнітні хвилі тільки в 1965 р.

**Спостережні дані про прискорене розширення Всесвіту. Темна матерія та темна енергія як складові Всесвіту.** Гравітаційна взаємодія речовини в майбутньому може зменшити швидкість розширення Всесвіту. Виявляється, якщо середня густина Всесвіту має критичне значення  $5 \cdot 10^{-27}$  кг/м<sup>3</sup>, 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  $\rho_0$ . 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. 2.5). 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. 2.6).

За кілька мільярдів років розбігання галактик може зупинитися, а потім почнеться стиснення Всесвіту, тому що гравітаційна сила змусить галактики зближуватись. Зближення галактик призведе до трагічних наслідків для живих організмів, оскільки енергія фонового випромінювання і температура Всесвіту будуть зростати (рис. 2.7). 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. 2.8).

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:  $E_k + E_p = 0$ .

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.

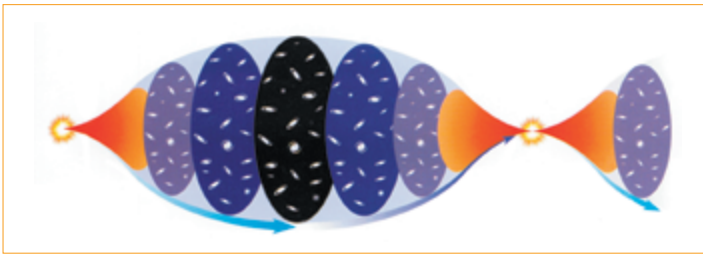


Рис. 2.7. Еволюція закритого Всесвіту. Такий світ збільшується до певних максимальних розмірів, після чого галактики почнуть зближуватись. Початок і кінець такого Всесвіту мають нескінченно велику температуру і густину

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 та ін. Астрономи, які займаються проблемами космології, запропонували гіпотезу щодо існування нового класу елементарних частинок, яким дали таку умовну назву — Слабко Взаємодіючі Масивні Частинки (СВМЧ). Такий Всесвіт нагадає казкову птаху Фенікс, яка періодично згоряє, а потім із попелу відроджується молодію.



### Для допитливих

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 *темною енергією*. 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.



### Контрольні запитання

1. Яка доля закритого Всесвіту?
2. Опишіть модель гарячого Всесвіту.
3. У чому полягає сутність теорії Всесвіту, який розширюється?
4. Про що свідчить реліктове випромінювання Всесвіту?
5. Галактика перебуває на відстані 100 млн пк. Обчисліть, скільки років летить світло від неї до Землі.
6. З якою швидкістю віддаляється від нас галактика, яка розташовується на відстані  $10^9$  св. років від Землі?



### Тема для дискусії

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

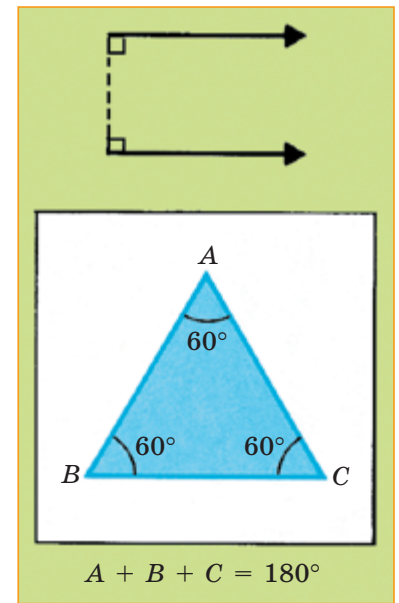


Рис. 2.8. У геометрії Евкліда паралельні прямі не перетинаються, а сума кутів у трикутнику дорівнює  $180^\circ$

## Тема. Можливість існування позаземного життя у Всесвіті. Інші всесвіти



Рис. 1. Радіотелескопи, за допомогою яких можна приймати радіосигнали від позаземних цивілізацій



Рис. 2. Від Землі поширюється своєрідна інтелектуальна хвиля, яку випромінюють земні радіостанції



Рис. 3. «Піонер-10» пролітає повз Юпітер (художнє зображення)

**Історичний огляд пошуків позаземного життя.** 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. 1).
2. Обмін інформацією за допомогою автоматичних систем, керувати якими будуть комп'ютери і роботи.
3. Зустріч живих представників інопланетних цивілізацій.

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, адже періодичні сигнали випромінюють нейтронні зорі. Від Землі поширюється своєрідна інтелектуальна хвиля, яку випромінюють земні радіостанції (рис. 2). 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», «Піонер-11» (рис. 3) і «Вояджер-1», «Вояджер-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. 4).

У ХХ ст. було започатковано проект *SETI* (англ. *Search of Extra Terrestrial Intelligence* — пошуки позаземного розуму). Цей проект передбачав відправити в космос ретельно зашифроване повідомлення для представників інших цивілізацій. Виникає запитання: для чого ми ведемо пошуки інопланетних цивілізацій? Чи може контакт із позаземним розумом принести нам якусь додаткову інформацію і допомогти людству вижити в цьому світі? Справа в тому, що наша цивілізація зараз перебуває у своєрідній ізоляції, тому що 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 і 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 вже може здійснювати міжзоряні 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 «зоряних воєн», і ми маємо бути готові до цього (рис. 5).

**Людина у Всесвіті.** Загальні характеристики живих істот можна описати за допомогою деяких термінів теорії складних систем, поведінку та еволюцію яких вивчає наука *синергетика*. Усі живі істоти за допомогою генів створюють величезний об'єм інформації, яка зберігається і передається нащадкам (рис. 6). Обсяг інформації, який зберігає тільки одна клітина живого організму, оцінюється в  $10^{22}$ – $10^{23}$  біт. Для порівняння нагадаємо, що обсяг інформації, яку зберігають сучасні комп'ютерні диски, у мільярди разів менший.

Біологічна еволюція живих організмів відбувається у напрямку збільшення обсягу інформації, який передається нащадкам. Наприклад, загальна маса усіх живих істот 100 млн років тому була не менша, ніж маса сучасних живих істот, але обсяг 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 тис. років тому з появою розумної людини — *Homo sapiens*. Біологи доводять, що тоді на Землі паралельно існували два види



Рис. 4. 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 105 років.



Рис. 5. Контакти між цивілізаціями можуть призвести до конфліктів — своєрідних «зоряних воєн», і ми маємо бути готові до цього.



Рис. 6. Ланцюг ДНК, за допомогою якого записується і зберігається інформація про живий організм

**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 обсяг інформації про себе і навколишній світ

розумних людей — кроманьйонці та неандертальці. Хоча неандертальці були фізично сильні та могутні, 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.

**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 добору. Можна дійти висновку, що походження життя — диво, 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, адже у фазі стиснення смертельне короткохвильове фонове випромінювання могло б знищити все живе. 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. *antropos* — людина): «Ми спостерігаємо Всесвіт таким, яким ми його бачимо, тому що 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.



Рис. 7. Оптимістична оцінка тривалості існування нашої цивілізації — 100 000 років

Прогнози еволюції людської 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 наприкінці

XX ст., коли значно зріс середній вік людей, населення Землі сягнуло за 7 млрд. Скільки часу може існувати окрема цивілізація, ми не знаємо, адже 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 перевищує 10 000 років. Відповідно до цієї шкали земна цивілізація наближується до смерті, адже 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 вирішені, тому оптимістична оцінка тривалості існування нашої цивілізації — 100 000 років (рис. 7). Тобто за цією шкалою наша цивілізація тільки народжується, і в майбутньому нас чекає розквіт, освоєння міжзоряного простору та зустрічі з інопланетними цивілізаціями.

*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 озонових 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 (рис. 8).
5. Цивілізація може покінчити 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.

**Ідея існування інших світів.** Імовірність існування життя на інших тілах Сонячної системи досить низька, тому пошуки позаземних цивілізацій зараз ведуться поблизу інших зір. Нещодавно виявлено понад тисячу темних супутників зір, що свідчить про існування інших планетних систем, де можуть бути досі невідомі цивілізації.

**Антропний принцип** — науковий принцип, який стверджує, що існування життя суттєво залежить від найзагальніших властивостей Всесвіту

**Відкрита система** обмінюється з навколишнім середовищем енергією та інформацією



Рис. 8. Катастрофічне зіткнення з астероїдом або кометою може призвести до загибелі цивілізації



**Мультивсесвіт, багатосвіт** — гіпотетична множина всіх можливих паралельних Всесвітів (включно з тим, в якому існуємо ми)

Рівняння Дрейка — математична формула, за допомогою якої можна визначити число цивілізацій в нашій Галактиці Чумацький Шлях, з якими у людства є шанс вступити в контакт. Рівняння застосовується в таких галузях, як ксенобіологія, астросоціобіологія та пошук позаземного розуму.

Рівняння було запропоноване радіоастрономом Ф. Дрейком (США) як спроба оцінити кількість позаземних цивілізацій у нашій Галактиці, які можуть вступити з нами в контакт. Головне призначення рівняння: дати вченим змогу кількісно оцінити параметри, що визначають кількість позаземних цивілізацій. Також воно тісно пов'язане із парадоксом Фермі.

Рівняння Дрейка виглядає таким чином:

$$N = R \cdot f \cdot n \cdot k \cdot d \cdot q \cdot L,$$

де:

- $N$  — кількість позаземних цивілізацій в нашій Галактиці;
- $R$  — швидкість утворення зір у Галактиці, усереднена протягом усього часу її існування (близько 10 зір на рік);
- $f$  — частка зір, що мають планетні системи;
- $n$  — середня кількість планет, що входять до планетних систем та екологічно придатні до життя;
- $k$  — частка планет, на яких дійсно виникло життя;
- $d$  — частка планет, на яких після виникнення життя розвинулись його розумні форми;
- $q$  — частка планет, на яких розумне життя досягло фази, що забезпечує можливість зв'язку з іншими світами, цивілізаціями;
- $L$  — середня тривалість існування таких позаземних (космічних) цивілізацій.

**Мультивсесвіт.** Гіпотези щодо існування мультивсесвіту висловлювали фахівці з космології та астрономії, фізики, філософи. Які припущення висуває сучасна наука?

Уявіть, що земна цивілізація розвинулася настільки, що ми можемо спостерігати Всесвіт від краю до краю. Але він — усього лише крапля в космічному океані, і за межами нашого поля зору існують інші галактики, зорі, планети, віддалені від нас на численні мільярди світлових років. І хоча наш Всесвіт величезний, разом із ним існує ще незліченна кількість інших Всесвітів. Вони простягнулися на величезних теренах простору-часу. І хоча ці Всесвіти розширюються неминуче і швидко, простір-час, який їх вміщує, розширюється ще швидше, розводячи їх далі один від одного, гарантуючи, що вони ніколи не зустрінуться. Саме так формулює наука ідею мультивсесвіту (рис. 9).

Але якщо це припущення виявиться правдивим, то воно буде не просто чіткою гіпотезою, а підтвердженою послідовністю фундаментальних законів світобудови.

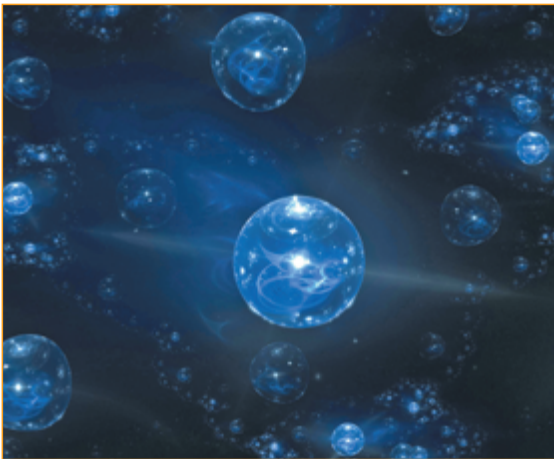


Рис. 9. Комп'ютерна модель однієї з гіпотез щодо мультивсесвіту

Ідея мультивсесвіту виникає з фізики, необхідної для опису Всесвіту, який ми нині спостерігаємо і в якому мешкаємо. Чим далі ми зазираємо в космос, тим далі ми бачимо в часі. Більш віддалені галактики ми бачимо молодими, тому менш розвиненими. У їхніх зорях менше важких елементів, їх видимий розмір менший, оскільки вони зазнали менше злиттів, там більше спіральних і менше еліптичних галактик. Тож якщо ми дійдемо до меж нашої здатності бачити, виявимо найперші зорі Всесвіту, а за ним — царину тьми, у якій єдиним світлом буде залишкове світіння Великого Вибуху.

Висуваючи ідею мультивсесвіту, науковці пропонують зробити крок ще далі, уявити, що простір, де відбувся Великий Вибух, нескінченно розширюється. У ньому постійно народжується з вибухів і віддаляється одне від одного незчисленна кількість Всесвітів.

Таке уявлення світобудови здається фантастичним, але воно може стати першим метафізичним явищем, що витікає із законів фізики. Приймаючи його, людина вперше зрозуміє обмеженість того, чого може навчити її світ, в якому вона живе. Існує необхідна нам інформація, але ми ніколи не зможемо її отримати, щоб підняти ідею до рівня наукового факту. До тих пір учені здатні лише припускати, але ані підтвердити, ані спростувати той факт, що наш Всесвіт — лише дрібна частинка грандіозного мультивсесвіту, неможливо.



### Контрольні запитання

1. Які можуть бути типи контактів з іншими цивілізаціями?
2. Яким чином можна оцінити кількість позаземних цивілізацій в нашій Галактиці?
3. У який спосіб людство намагається установити контакти з позаземними цивілізаціями?
4. Чим загрожує зустріч з позаземними цивілізаціями?
5. У чому полягає сутність антропного принципу?
6. Сформулюйте причини, які можуть викликати загибель нашої цивілізації.
7. Що таке відкрита система?
8. Які песимістичні і які оптимістичні прогнози існування нашої цивілізації?
9. Чи висока імовірність життя на інших планетах?
10. Як обчислюється рівняння Дрейка?
11. Які можуть бути типи контактів з іншими цивілізаціями?
12. Чим загрожує зустріч з позаземними цивілізаціями?
13. Що таке антропний принцип?
14. Що таке відкрита система?
15. Які песимістичні і які оптимістичні прогнози існування нашої цивілізації?
16. Які можливі причини загибелі людської цивілізації?

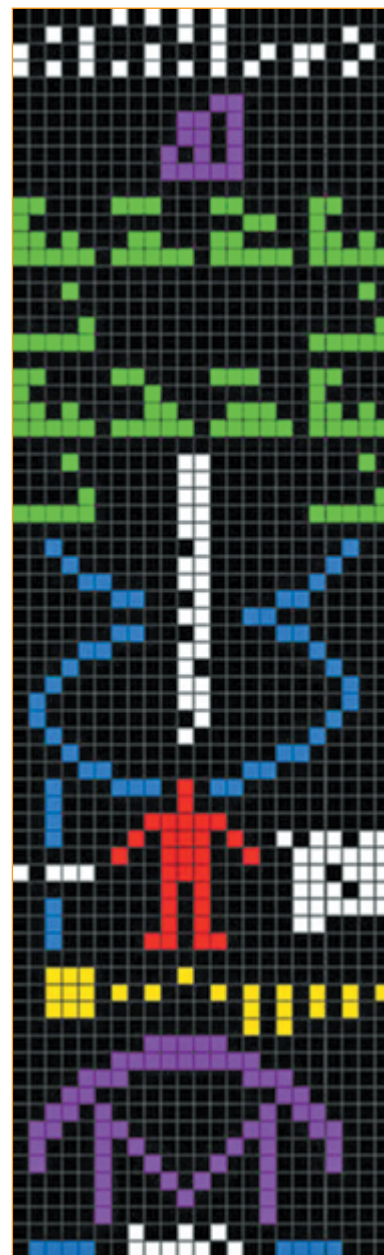


Рис. 10. Послання METI — радіопослання, зроблене 1974 р. з телескопа Аресібо (Пуерто-Ріко) у напрямку сузір'я зоряного скупчення Геркулес для повідомлення представникам позаземних цивілізацій головних даних про Сонячну систему, Землю та її мешканців — людей. Вважають, що радіопослання надійде до імовірного адресата за 25 тис. років

## Приклади розв'язання задач

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. 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 перетнеться з орбітою Землі, тобто якщо відстань у перигелії  $r_{\min} < 1$  а. о.

- а) 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.

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

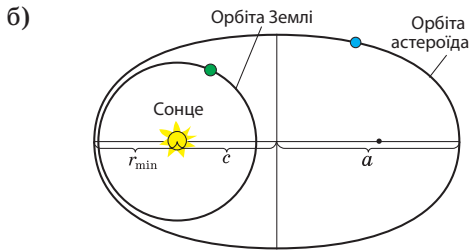


Рис. П.1.

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

$$c = ea;$$

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

$$r_{\min} = 1,09 \text{ а. о.}$$

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

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

Дано:

$$T = 1 \text{ доба}$$

$$H = ?$$

а)

*Розв'язання:*  
За допомогою третього закону Кеплера визначаємо велику піввісь орбіти супутника:

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

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.

$$a_1 = 41\,900 \text{ км.}$$

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

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

5. 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.

6. 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  $g=3,78$  м/с<sup>2</sup>, на Венері  $g=8,6$  м/с<sup>2</sup>, на Марсі  $g=3,72$  м/с<sup>2</sup>, на Землі  $g=9,78$  м/с<sup>2</sup>.

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

7. 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.

8. Визначте радіус зорі Вега, яка випромінює у 55 разів більше енергії, ніж Сонце. Температура поверхні становить 11 000 К. Який вигляд мала б ця зоря на нашому небі, якби вона світила на місці Сонця?

Дано:  
 $L = 55$   
 $T = 11\,000$  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  $R_{\odot} = 695\,202$  км — радіус Сонця;  $T_{\odot} = 6000$  °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 °С. Таким чином, умови на нашій планеті стали б непридатними для будь-яких форм життя.



**Виконайте тестові завдання із автоматичною перевіркою на сайті «Інтерактивне навчання».**



# ДОДАТКИ

## ГРЕЦЬКИЙ АЛФАВІТ

Α, α	альфа
Β, β	бета
Γ, γ	гамма
Δ, δ	дельта
Ε, ε	епсилон
Ζ, ζ	дзета
Η, η	ета
Θ, θ	тета

Ι, ι	йота
Κ, κ	каппа
Λ, λ	лямбда
Μ, μ	мю
Ν, ν	ню
Ξ, ξ	ксі
Ο, ο	омікрон
Π, π	пі

Ρ, ρ	ро
Σ, ς, σ	сігма
Τ, τ	тау
Υ, υ	іпсилон
Φ, φ	фі
Χ, χ	хі
Ψ, ψ	псі
Ω, ω	омега

## ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНЕЙ

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

## АСТРОНОМІЧНІ ЗНАКИ І СИМВОЛИ

Символи	
Земля	⊕
Сонце	☉
Місяць	☾
Меркурій	☿
Венера	♀
Марс	♂
Юпітер	♃
Сатурн	♄
Уран	♅
Нептун	♆
Плутон	♇
Зоря	*

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

Позначки	
Градус дуги	$1^\circ = 60'$
Мінута дуги	$1' = 60''$
Секунда дуги	$1''$
Година часу	$1^h = 60^m$
Хвилина часу	$1^m = 60^s$
Секунда часу	$1^s$
Доба	$1^d = 24^h$
Рік	$1^a = 365^d 5^h 48^m 46^s$
Схилення	$\delta$
Пряме сходження	$\alpha$
Географічна широта	$\varphi$
Географічна довгота	$\lambda$

### 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 <i>M31</i> (Андромеда)	$2,3 \text{ млн св. р.} \approx 10^{22} \text{ м}$
Стала Габбла	$70 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$

## ДОВІДКОВІ ДАНІ ПРО ЗЕМЛЮ

Параметр	Величина
Екваторіальний радіус, км	6 378,140
Полярний радіус, км	6 356,755
Середній радіус, км	6 371,004
Поверхня Землі, км <sup>2</sup>	5,0949·10 <sup>8</sup>
Суходіл, %	29,2
Водна поверхня, %	70,8
Маса Землі, кг	5,973·10 <sup>24</sup>
Маса води у всіх її формах, кг	1,43·10 <sup>21</sup>
Маса атмосфери Землі, кг	5,158·10 <sup>18</sup>
Лінійна швидкість точки екватора, м/с	465,12
Середня швидкість руху Землі по орбіті, км/с	29,765
Прискорення сили тяжіння на Землі (на широті 45°), м/с <sup>2</sup>	9,806

## СПЕКТРАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ ЗІР

Спектральний клас	Колір	Температура, К	Типові зорі
O	Блакитний	20 000	Наос (ζ Корми)
B	Білий, блакитний	15 000	Беллактрис (γ Оріона)
A	Білий	10 000	Сиріус
F	Жовтий, білий	8 000	Альтаір (α Орла)
G	Жовтий	6 000	Сонце
K	Жовтий, помаранчевий	4 500	Альдебаран (α Тільця)
M	Помаранчевий, червоний	3 000	Бетельгейзе (α Оріона)

## ТЕРМІН ЖИТТЯ ЗІР

Спектральний клас	Термін життя (років)
O	< 10 <sup>6</sup>
B	10 <sup>7</sup>
A	10 <sup>8</sup>
F	10 <sup>9</sup>

Спектральний клас	Термін життя (років)
G	10 <sup>10</sup>
K	10 <sup>11</sup>
M	> 10 <sup>11</sup>



## НАЙЯСКРАВІШІ ЗОРІ

№ п/п	Назва	Сузір'я	$m$	Відстань $пк$	Світність $L = E/E_{\odot}$	Темпера- тура $K$	Радіус $R/R_{\odot}$
1	Сіріус	$\alpha$ Вел. Пса	-1,46	2,7	22	11 000	1,3
2	Канопус	$\alpha$ Кіля	-0,75	55,0	20 000	7500	85,0
3	Арктур	$\alpha$ Волопаса	-0,05	11,1	113	5000	14,0
4	Рігель	$\alpha$ Кентавра	-0,01	1,3	1,4	5800	1,2
5	Вега	$\alpha$ Ліри	+0,03	8,1	55	11 000	2,0
6	Капелла	$\alpha$ Візничого	+0,08	13,7	151	5600	13,0
7	Рігель	$\beta$ Оріона	+0,13	250,0	50 000	12 000	52,0
8	Проціон	$\alpha$ Мал. Пса	+0,37	3,5	7,6	7000	2,0
9	Бетель- гейзе	$\alpha$ Оріона	+0,47	150,0	13 000	3000	426,0
10	Ахернар	$\alpha$ Ерідана	+0,51	40,0	870	15 000	4,0
11	Гадар	$\beta$ Кентавра	+0,63	150,0	10 000	20 000	8,0
12	Альтаір	$\alpha$ Орла	+0,76	5,1	11,3	9000	1,4
13	Альдеба- ран	$\alpha$ Тельця	+0,86	20,0	160	4500	21,0
14	Антарес	$\alpha$ Скорпіона	+0,91	130,0	6300	3000	300,0
15	Спіка	$\alpha$ Діви	+0,91	80,0	2400	25 000	2,6
16	Поллукс	$\beta$ Близнят	+1,14	11,0	37	5000	4,5
17	Фомаль- гаут	$\alpha$ Півд. Риби	+1,19	7,7	17	10 000	1,4
18	Денеб	$\alpha$ Лебеда	+1,25	500,0	70 000	10 000	90,0
19	Регул	$\alpha$ Лева	+1,35	27,0	200	13 000	2,8
20	Кастор	$\alpha$ Близнят	+1,58	16,0	50	11 000	2

**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	Півн. Сибір, Росія	100	
Бовтиська	с. Бовтишка, Черкаська обл.	31	65 ± 1,2 млн р.
Оболонська	с. Оболонь, Семенівський р-н, Полтавська 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.

**АСТРОНОМІЧНІ ОБСЕРВАТОРІЇ УКРАЇНИ І СВІТУ**

Назва	Місто	Країна	Рік заснування
Головна астрономічна обсерваторія НАНУ <a href="http://www.mao.kiev.ua">http://www.mao.kiev.ua</a>	Київ	Україна	1944
Київська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.observ.univ.kiev.ua">http://www.observ.univ.kiev.ua</a>	Київ	Україна	1845
Кримська астрофізична обсерваторія <a href="http://www.crao.crimea.ua">http://www.crao.crimea.ua</a>	Научний	Україна	1908
Львівська астрономічна обсерваторія <a href="http://astro.franko.lviv.ua">http://astro.franko.lviv.ua</a>	Львів	Україна	1769

Назва	Місто	Країна	Рік заснування
Миколаївська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.mao.nikolaev.ua">http://www.mao.nikolaev.ua</a>	Миколаїв	Україна	1821
Одеська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.astro-observatory.odessa.ua">http://www.astro-observatory.odessa.ua</a>	Одеса	Україна	1871
Полтавська гравіметрична обсерваторія <a href="mailto:pgo@poltava.ukrtel.net">pgo@poltava.ukrtel.net</a>	Полтава	Україна	1926
Ужгородська лабораторія космічних досліджень <a href="http://www.univ.uzhgorod.ua">http://www.univ.uzhgorod.ua</a>	Ужгород	Україна	1957
Харківська астрономічна обсерваторія Із 2002 р. Інститут астрономії <a href="http://astron.kharkov.ua">http://astron.kharkov.ua</a>	Харків	Україна	1806
Харківський інститут радіоастрономії <a href="http://www.nbu.gov.ua/institutions/rai">http://www.nbu.gov.ua/institutions/rai</a>	Харків	Україна	1985
Паризька астрономічна обсерваторія <a href="http://www.obspm.fr">http://www.obspm.fr</a>	Париж	Франція	1671
Гринвіцька астрономічна обсерваторія <a href="http://www.nmm.ac.uk">http://www.nmm.ac.uk</a>	Лондон	Англія	1675
Вільнюська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.astro.ff.vu.lt">http://www.astro.ff.vu.lt</a>	Вільнюс	Литва	1753
Краківська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.oa.uj.edu.pl">http://www.oa.uj.edu.pl</a>	Краків	Польща	1795
Пулковська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.gao.spb.ru">http://www.gao.spb.ru</a>	С.-Петербург	Росія	1839
Ондржейовська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.expats.cz/ondreioobservatory">http://www.expats.cz/ondreioobservatory</a>	Прага	Чехія	1898
Маунт-Вілсон обсерваторія <a href="http://www.mtwilson.edu">http://www.mtwilson.edu</a>	Каліфорнія	США	1904
Астрофізична обсерваторія у Вікторії <a href="http://www.nrc-cnrc.gc.ca">http://www.nrc-cnrc.gc.ca</a>	Брит. Колумбія	Канада	1910
Абастуманська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.genao.org">http://www.genao.org</a>	Абастумані	Грузія	1932

Назва	Місто	Країна	Рік заснування
Бюроканська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.aras.am/bao.html">http://www.aras.am/bao.html</a>	Бюрокан	Вірменія	1946
Спеціальна астрофізична обсерваторія <a href="http://www.sao.ru">http://www.sao.ru</a>	Півн. Кавказ	Росія	1966
Астрономічна обсерваторія Мауна-Кеа <a href="http://www.ifa.hawaii.edu/mko">http://www.ifa.hawaii.edu/mko</a>	Гавайї	США	1970
Американська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.lco.cl">http://www.lco.cl</a>	Лас-Кампанес	Чилі	1976
Шемахинська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.shao.az">http://www.shao.az</a>	Шемаха	Азербайджан	1960
Науковий інститут космічного телескопа «Габбл» <a href="http://www.stsci.edu/hst/">http://www.stsci.edu/hst/</a>		США	2010
Дуже Великий Телескоп (VLT) <a href="http://www.eso.org/vlt">http://www.eso.org/vlt</a>	Пустеля Атакама	Чилі	1998
Обсерваторія Роке-де-лос-Мучачос <a href="http://www.ias.es">http://www.ias.es</a>	Ла-Пальма, Канарські острови	Іспанія	1985
Аресібська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.naic.edu">http://www.naic.edu</a>	Аресібо	Чилі	1963
Обсерваторія Лландо де Чайнантор <a href="http://www.almaobservatory.org">http://www.almaobservatory.org</a>	Пустеля Атакама	Чилі	1997

## ДОВІДКОВІ ДАНІ ПРО МІСЯЦЬ

Параметр	Величина
Мінімальна відстань від Землі, км	356 410
Максимальна відстань від Землі, км	406 740
Середня відстань від Землі, км	384 400
Середній ексцентриситет орбіти	0,0549
Середній нахил площини орбіти до екліптики	5°08'43"
Період обертання по орбіті, діб	27,32
Середня періодичність зміни фаз Місяця, діб	29,53
Середній кутовий радіус Місяця	15'33"
Маса, кг	$7,35 \cdot 10^{23}$

Параметр	Величина
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	3340
Прискорення сили тяжіння, м/с <sup>2</sup>	1,62
Друга космічна швидкість, км/с	2,38
Максимальна температура вдень, °С	+13
Мінімальна температура вночі, °С	-170
Освітленість від повного Місяця на земній поверхні, лк	0,25
Освітленість від повної Землі на місячній поверхні, лк	16
Середня відображувальна здатність від усієї місячної поверхні, %	12,44
Відображувальна здатність материкових областей, %	13,44
Відображувальна здатність морських областей, %	7,3
Загальна площа поверхні Місяця, км <sup>2</sup>	3,8·10 <sup>7</sup>
Площа морів на всій поверхні, %	16,9
Площа морів на видимому боці, %	31,2
Площа поверхні, яку можна спостерігати в результаті лібрації, %	59

### ХРОНОЛОГІЯ КОСМІЧНИХ ПОДІЙ

Дата	Подія
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.

Дата	Подія
200 000 000 р. до н. е.	Початок юрського періоду — виникли перші плазуни і птахи.
67 000 000 р. до н. е.	Початок кайнозойської ери — з'явилися квіткові рослини і ссавці.
65 000 000 р. до н. е.	Катастрофічне зіткнення Землі з астероїдом, коли загинули динозаври.
4 000 000 р. до н. е.	З'явилися австралопітеки — людиноподібні мавпи, прародичі людини.
2 000 000 р. до н. е.	Початок антропогенного періоду — виникли розумні люди.
200 000 р. до н. е.	З'явилися неандертальці — підвид людини розумної.
40 000 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 Стоунхендж — давню астрономічну обсерваторію 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.

Дата	Подія
222 р. до н. е.	Аристарх 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.	Клавдій Птолемей 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 юліанський календар на Русі.
1054 р.	Спалах Наднової в сузір'ї Тельця, про яку є згадки в літописах Київської Русі.
1091 р.	Перші згадки про політ боліда в літописах Київської Русі.
1330 р.	Вільям Оккам сформулював принцип, який відомий як «Бритва Оккама».
1483 р.	Надруковано першу книгу з астрономії українського астронома часів середньовіччя Юрія Дрогобича (Котермака).
1543 р.	Миколай Коперник 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.

Дата	Подія
1676 р.	Рене Рьомер за допомогою супутників Юпітера вперше визначив швидкість світла.
1687 р.	Ісаак Ньютон сформулював закон всесвітнього тяжіння.
1728 р.	Джеймс Брадлей 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 відкрив атмосферу Венери під час її проходження по диску Сонця.
1766 р.	Йоганн Тіціус відкрив закон планетних відстаней, який назвали правилом Боде-Тіціуса.
1772 р.	Петер Паллас у Сибіру знайшов метеорит масою близько 500 кг.
1781 р.	Вільям Гершель відкрив Уран.
1782 р.	Джон Гудрайк висунув припущення, що зоря Алголь ( $\beta$ 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 одним із перших виміряв паралакс Веги ( $\alpha$ 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 Леверьє.
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 — «формула Погсона».
1860 р.	Джеймс Максвелл створив теорію електромагнітного поля.



Дата	Подія
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 Деймос — 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 вивів формулу для визначення швидкості ракети.
1908 р.	Упав Тунгуський метеорит (Сибір, Росія).
1913 р.	Генрі Рассел побудував діаграму «Спектр—світність зір».
1917 р.	Альберт Айнштайн 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 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 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.

Дата	Подія
1932 р.	Лев Ландау 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.

Дата	Подія
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.
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.	Змонтовано найбільший у світі телескоп-рефлектор із діаметром дзеркала 10 м (Гавайї, США).
1994 р.	Падіння на Юпітер комети Шумейкерів-Леві.
1995 р.	Виведено на орбіту перший український штучний супутник Землі «Січ».
2012 р.	АМС «Вояджер-1» пролетів геліопаузу — межу міжзоряної та сонячної плазми.
13 333 р.	Північний полюс світу внаслідок прецесії опиниться поблизу зорі Вега в сузір'ї Ліра.

## ДАТИ НОВОГО МІСЯЦЯ (2019—2057 рр.)

Рік	Місяць		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	2020	2039	25	23	25	23	23	21	21	19	18	17	16	15
2021	2040	13	12	14	12	12	10	10	8	7	6	5	4	
2022	2041	2	1	3	2	1, 31	29	29	27	26	25	24	23	
2023	2042	21	20	21	20	20	18	18	16	15	14	13	12	
2024	2043	10	9	10	9	9	7	7	5	4	3	2	1, 31	
2025	2044	29	28	29	28	28	26	26	24	23	22	21	20	
2026	2045	19	17	19	17	17	15	15	13	12	11	10	9	
2027	2046	8	6	7	6	6	4	4	2	1	1, 30	29	28	
2028	2047	26	25	26	25	25	23	23	21	20	19	18	17	
2029	2048	15	14	15	14	14	12	12	10	9	8	7	6	
2030	2049	4	3	4	3	3	2	1, 31	28	27	26	25	24	
2031	2050	23	22	23	21	21	19	19	17	16	15	14	13	
2032	2051	11	10	11	10	10	8	8	6	5	4	3	3	
2033	2052	1, 31	—	1, 31	29	29	27	27	25	24	23	22	22	
2034	2053	20	19	20	18	18	16	16	14	13	12	11	11	
2035	2054	10	8	9	7	7	5	5	3	2	1, 31	29	29	
2036	2055	28	26	28	26	26	24	23	22	21	20	19	18	
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

## ГЕОГРАФІЧНІ КООРДИНАТИ МІСТ УКРАЇНИ

№	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	Дніпро	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-Франківський	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	Кропивницький	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

### ЗАТЕМНЕННЯ МІСЯЦЯ, ЯКІ МОЖНА ПОБАЧИТИ В УКРАЇНІ (2019—2062 рр.)

Дата	Час	Фаза	Дата	Час	Фаза
21.01.19	7-10	повне	08.11.41	6-30	0.17
17.07.19	00-31	0.65	12.02.55	0-42	повне
19.08.35	4-08	0.10	17.06.57	5.25	0.76
12.02.36	00-13	повне	11.12.57	2-52	0.92
07.08.36	5-50	повне	06.06.58	22-12	повне
06.06.39	21-54	0.84	30.11.58	5-14	повне
30.11.39	18-55	0.94	05.04.61	0-54	повне
18.11.40	21-02	повне	25.03.62	5-34	повне
16.05.41	3-42	0.05	18.09.62	21-29	повне

### ЗАТЕМНЕННЯ СОНЦЯ, ЯКІ МОЖНА СПОСТЕРІГАТИ В УКРАЇНІ (2020—2187 рр.)

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

П — повне затемнення, К — кільцеподібне затемнення, Ч — часткове затемнення. Максимальна фаза затемнення подана за київським часом.

## Література

1. *Програма «Астрономія»* / Я. С. Яцків, В. М. Івченко, А. М. Казанцев, О. П. Ващенко, І. П. Крячко. Наказ МОН України від 23.10. 2017 № 1407 — К., 2017.
2. *Астрономія: 11 кл.: підручник для загальноосвіт. навч. закл.: рівень стандарту, академічний рівень* / М. П. Пришляк; за заг. Ред. Я. С. Яцківа. — Харків: Вид-во «Ранок», 2011.— 160 с.: іл.
3. *Астрономічний енциклопедичний словник* / За загальною редакцією І. А. Климишина та А. О. Корсунь.— Львів, 2003.— с. 548 рис. 137
4. *Тола Х., Атлас астрономії* / Пер. з англ. О. В. Буйвол. — Харків: Вид-во «Ранок», 2006.— 96 с.: іл.
5. *Челлонер Дж., Атлас космосу* / Пер. з англ. О. В. Буйвол. — Харків: Вид-во «Ранок», 2005.— 80 с.: іл.
6. [uk.wikipedia.org](http://uk.wikipedia.org) — сайт мереживої енциклопедії
7. <https://www.eso.org> — сайт Європейської Південної обсерваторії (ESO).
8. <https://spacegid.com> — освітній ресурс.
9. <https://www.nasa.gov/> — сайт Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору (НАСА)

## Безкоштовні програми для дослідження та отримання інформації про Всесвіт

- **Stellarium** — програма для перегляду зоряного неба, віртуальний планетарій.
- **Celestia** — симулятор космосу, що дозволяє подорожувати Всесвітом у трьох вимірах.
- **Celestia Origin** — змістовний збірник унікальних аддонів (додатків) для космічного симулятора Celestia.
- **SpaceEngine** — космічний симулятор-планетарій, що дозволяє досліджувати Всесвіт у трьох вимірах.
- **Aladin** — інтерактивний небесний атлас, що дозволяє користувачу роздивлятися та досліджувати оцифровані астрономічні світлини.
- **WorldWide Telescope** — програма, що допомагає шанувальникам астрономії досліджувати Всесвіт.
- **SkyChart** — атлас космічних об'єктів, що дозволяє отримувати карти неба шляхом використання різних каталогів.

# Зміст

<b>Вступ</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>Зоряне небо та рухи світил</b> . . . . .	<b>9</b>
Тема. Зоряне небо . . . . .	9
Тема. Небесна сфера і добовий рух світил . . . . .	16
Тема. Час та календар . . . . .	21
Тема. Закони руху небесних тіл . . . . .	24
Тема. Методи та засоби астрономічних досліджень . . . . .	37
<b>Сонячна система</b> . . . . .	<b>47</b>
Тема. Будова Сонячної системи . . . . .	47
Тема. Планети Сонячної системи . . . . .	56
Тема. Малі тіла Сонячної системи . . . . .	83
Тема. Космогонія Сонячної системи а відкриття екзопланет . . . . .	89
<b>Зорі</b> . . . . .	<b>94</b>
Тема. Узагальнені характеристики стаціонарних зір . . . . .	94
Тема. Подвійні та нестаціонарні зорі . . . . .	101
Тема. Сонце як зоря . . . . .	106
Тема. Утворення та еволюція зір . . . . .	112
<b>Галактична і позагалактична астрономія</b> . . . . .	<b>117</b>
Тема. Наша Галактика . . . . .	117
Тема. Галактики і Всесвіт . . . . .	122
Тема. Утворення та еволюція Всесвіту . . . . .	125
Тема. Можливість існування позаземного життя у Всесвіті. Інші всесвіти . . . . .	132
Приклади розв'язання задач . . . . .	138
<b>Додатки</b> . . . . .	<b>141</b>
<b>Література</b> . . . . .	<b>157</b>
<b>Безкоштовні програми для дослідження та отримання інформації про Всесвіт</b> . . . . .	<b>157</b>



## Відомості про користування підручником

№ з/п	Прізвище та ім'я учня / учениці	Навчальний рік	Стан підручника	
			на початку року	у кінці року
1				
2				
3				
4				
5				

Навчальне видання

*ПРИШЛЯК Микола Павлович*  
*КРАВЦОВА Ольга Миколаївна*

### «АСТРОНОМІЯ

**(профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Яцківа Я. С.)»**  
**підручник для 11 класу закладів загальної середньої освіти**

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України**

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Редактор *О. В. Гноїнська*.

Художнє оформлення *В. І. Труфена*. Технічний редактор *А. В. Плisko*.  
Комп'ютерна верстка *В. А. Лукашової*. Коректор *Н. В. Красна*

Окремі зображення, що використані в оформленні підручника, розміщені в мережі Інтернет для вільного використання

Підписано до друку 07.06.2019 р. Формат 84×108/16.

Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.

Ум. друк. арк. 16,80. Обл.-вид. арк. 16,00.

Тираж 5750 прим. Зам. № 3406-2019

ТОВ Видавництво «Ранок»,

вул. Кібальчича, 27, к. 135, Харків, 61071.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5215 від 22.09.2016.

Адреса редакції: вул. Космічна, 21а, Харків, 61145.

E-mail: office@ranok.com.ua. Тел. (057) 719-48-65, факс (057) 719-58-67.

Підручник надруковано на папері українського виробництва

Надруковано у друкарні ТОВ «ТРИАДА-ПАК»,  
пров. Сімферопольський, 6, Харків, 61052.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5340 від 15.05.2017.

Тел. +38 (057) 712-20-00. E-mail: sale@triada.kharkov.ua

# 11

# Астрономія

## Профільний рівень

### Підручник вирізняє наявність таких матеріалів:

- Тексти та ілюстрації для мотивації навчальної діяльності
- Додаткові рубрики для кращого розуміння найбільш важливого матеріалу
- Покрокові описи виконання практичних робіт
- Відомості про досягнення світової та вітчизняної астрономії
- Приклади розв'язання типових задач
- Запитання для самоперевірки з урахуванням інноваційних методів та прийомів навчання
- Завдання проблемно-пошукового характеру

### Інтернет-підтримка дозволить:

- здійснити інтерактивне онлайн-тестування за кожною темою;
- ознайомитися з додатковими матеріалами за темами уроків

ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**



ISBN 978-617-09-5239-4



9 786170 952394



Інтернет-підтримка  
[interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua)

