

ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**

Микола Пришляк



Інтернет-  
підтримка

# АСТРОНОМІЯ

# 11

## РІВЕНЬ СТАНДАРТУ

## КЛАС

ЗА НАВЧАЛЬНОЮ ПРОГРАМОЮ  
АВТОРСЬКОГО КОЛЕКТИВУ  
ПІД КЕРІВНИЦТВОМ ЯЦКІВА Я. С.

*Stella fixa Diametra  
2 minut.*



## 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, ζ, 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		Знаки	
Земля	⊕	Овен	♈
Сонце	☉	Телець	♉
Місяць	☾	Близнята	♊
Меркурій	☿	Рак	♋
Венера	♀	Лев	♌
Марс	♂	Діва	♍
Юпітер	♃	Терези	♎
Сатурн	♄	Скорпіон	♏
Уран	♅	Стрілець	♐
Нептун	♆	Козоріг	♑
Плутон	♇	Водолій	♒
Зоря	*	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>	$5,0949 \cdot 10^8$
Суходіл, %	29,2
Водна поверхня, %	70,8
Маса Землі, кг	$5,973 \cdot 10^{24}$
Маса води у всіх її формах, кг	$1,43 \cdot 10^{21}$
Маса атмосфери Землі, кг	$5,158 \cdot 10^{18}$
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

Микола Пришляк

**А**

# СТРОНОМІЯ

**11**

**РІВЕНЬ СТАНДАРТУ**

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

**КЛАС**

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 (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Яцківа Я. С.) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / М. П. Пришляк. — Харків: Видво «Ранок», 2019.—144 с. : іл.**

ISBN 978-617-09-5238-7

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 978-617-09-5238-7

© Пришляк М. П., 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 мандри крізь простір і час;
- розглянете історію зародження науки астрономії та еволюцію уявлень людини про Всесвіт;
- навчитесь розпізнавати сузір'я на нічному небі й за допомогою небесних світил орієнтуватись на місцевості та вимірювати час;
- 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;
- познайомитесь з видатними українськими вченими, які зробили вагомий внесок в освоєння космосу.







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 на пил планетні системи.

Ви дізнаєтесь, що сучасна астрономія використовує для спостережень найдосконалішу техніку. Спостереження ведуть у різних діапазонах електромагнітного випромінювання: радіодіапазоні, інфрачервоному, видимому, ультрафіолетовому, рентгенівському й у гамма-променях. Сучасні приймачі випромінювання передають інформацію безпосередньо на комп'ютери. Завдяки новітнім технологіям науковці отримують надзвичайно якісні зображення космічних тіл, віддалених від Землі на відстані у кілька сотень світлових років; здатні наочно відтворювати процеси, які відбувалися у Всесвіті мільйони років тому або відбуватимуться у неоглядному майбутньому.

Працюючи за матеріалами підручника, ви отримаєте можливість самостійно перевіряти набуті знання та закріплювати практичні навички. Крім того, рубрика «Для допитливих» познайомить вас із цікавими фактами, які стосуються певної теми й підвищать інтерес до вивчення предмета.

Посилання на електронні матеріали розміщено на сторінках підручника зі спеціальною позначкою *i*.

### Умовні позначення

- |  |   |
|--|---|
|  Контрольні запитання       |  Для допитливих    |
|  Тема для дискусії          |  Висновки          |
|  Завдання для спостереження |  Дізнайтеся більше |

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

# Вступ

## Предмет астрономії. Її розвиток і значення в житті суспільства. Короткий огляд об'єктів дослідження в астрономії

**Астрономія — фундаментальна наука, яка вивчає об'єкти Всесвіту та Всесвіт в цілому.** Астрономія (грец. *αστρον* — зоря і *νόμος* — закон) — наука, що вивчає походження, будову, рух та розвиток небесних тіл, їх систем й усього Всесвіту. Вона виникла кілька тисячоліть тому, коли в людства з'явилася потреба у вимірюванні часу, визначенні суходільних та морських шляхів, у передбаченні сезонних явищ (дощів, посух, снігопадів). Відтоді знання про космос набули постійного розвитку й спонукали людину на пошук, оскільки кожне нове відкриття породжувало й нові питання.

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 відкриє перед ученими нові можливості дослідження космічного простору.

**Галузі астрономії. Зв'язок астрономії з іншими науками.** Астрономічні методи мають надзвичайно велике значення не тільки в космонавтиці, а й для навігації у мореплавстві та авіації. При складанні географічних і топографічних карт, календарів для народного господарства, вирахуванні настання морських припливів і відпливів, визначенні 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.

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 їх 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, їх системах та в космічному просторі.

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

**Історія розвитку астрономії. Псевдонауковість астрології та її завбачень.** Розвиток астрономічної науки пройшов довгий шлях від вірувань у небесні надзвичайні сили до запуску в космос людей і автоматичних станцій для дослідження не тільки навколосемного простору, а й інших планет Сонячної системи.

Ніхто не знає, коли людина вперше помітила, що за висотою зір над горизонтом можна визначати нічний час та зміну пір року. Але час, коли зоряні скупчення люди стали називати сузір'ями, дали їм імена і почали стежити за їх рухом, перетворивши споглядання «небесних вогнищ предків» на найважливішу практичну науку, що здатна передбачити, коли краще за все сіяти та збирати врожай, чекати сезону дощів й розливу річок, як безпомилково знайти потрібний шлях у невідомій місцевості.

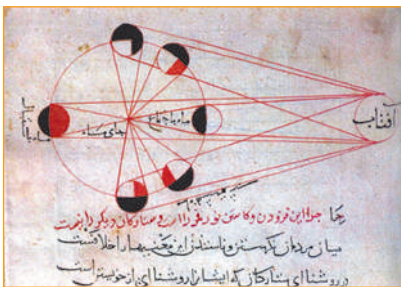
Мабуть, саме тоді й виникли перші астрономічні обсерваторії. Прикладом може слугувати загадкове спорудження з гігантських кам'яних плит і грубо обтесаних брил — Стоунхендж. Положення його каміння можна пов'язати з різноманітними астрономічними явищами, що дає привід вважати це диво прадавньої архітектури першою величезною астрономічною обсерваторією.

Багато тисячоліть мудреці різних країн намагалися зрозуміти й описати будову космічного простору (до речі, давньогрецьке слово «космос» означає «порядок усіх речей, що оточують нас»). Давні мислителі, зокрема Аристарх Самоський (310–230 рр. до н.е.), вважали, що в центрі Всесвіту розташоване Сонце.



Стоунхендж. Вік споруди налічує 5–6 тис. років





Ілюстрація з книги Аль-Біруні, де показані різні фази Місяця

Проте з часом ці геніальні здогадки були забуті — й на довгі століття в астрономії провідною стала так звана *геоцентрична система світу*, 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).

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).

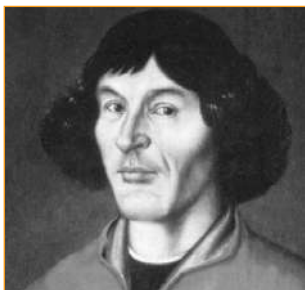
Омар Хайям (1048–1131) висунув надзвичайно сміливе припущення про імовірність населеності далеких світів й нескінченність нашого Всесвіту. Аль-Біруні (973–1048) у працях з астрономії висловив гіпотезу про рух Землі навколо Сонця. Він підкреслював однакову вогняну природу Сонця й зір, на відміну від темних тіл — планет; зазначав, що зорі мають набагато більші розміри в порівнянні із Землею. Також Аль-Біруні описав різні фази Місяця.

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

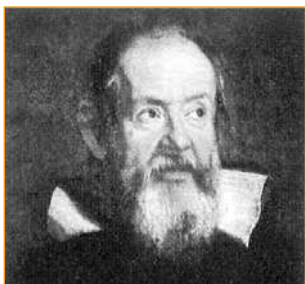
Теорія геоцентричної будови Всесвіту проіснувала до XVI ст., коли відбувся перший революційний переворот у світогляді. Польський астроном Миколай Коперник (1473–1543) у праці «Про обертання небесних тіл» представив власну *геліоцентричну систему світу*. За його теорією, центральне місце належить Сонцю, 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.

Остаточо затвердив вчення Коперника, отримавши безперечні докази його правдивості, італійський фізик, механік і астроном Галілео Галілей (1564–1642). 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.

Остаточо затвердив вчення Коперника, отримавши безперечні докази його правдивості, італійський фізик, механік і астроном Галілео Галілей (1564–1642). 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.



М. Коперник



Г. Галілей

Сучасник Галілея Йоганн 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.

Англійський вчений XVIII ст. Ісаак Ньютон відкрив основні закони механіки та закон всесвітнього тяжіння. Він довів універсальність сили тяжіння (гравітації), що керує рухом зір і галактик.

Найвидатніший учений XX ст. Альберт Айнштайн (1879–1955) став основоположником загальної теорії відносності, завдяки якій інтенсивного розвитку набув розділ сучасної астрономії, що вивчає походження, будову й еволюцію Всесвіту як єдиного цілого, — космологія.



Й. Кеплер

**Астрологія** (грец. *αστρον* — зірка, *λογος* — вчення) — паранаукова система знань, спираючись на яку, нібито можливо за розташуванням небесних тіл передбачати майбутнє.

Астрономію іноді споріднюють з астрологією, оскільки вони мають схожі назви. Насправді між цими поняттями існує суттєва відмінність. Астрономія спирається на наукові методи дослідження: спостереження, вимірювання величин, спектральний аналіз, перевірку достовірності відомостей у лабораторіях. Для прогнозування будь-яких космічних явищ або їхнього аналізу застосовують закони фізики та механіки, проводять математичні обчислювання.

Якщо для астролога небесні тіла наділені особливими характеристиками, зумовленими їхньою сутністю, то астроном розглядає небесні тіла як фізичні об'єкти з реальними, доведеними шляхом докладного дослідження властивостями.



І. Ньютон

### Відмінності між астрономією та астрологією

Астрономія	Астрологія
Офіційна наука	Паранаукова система знань
Досліджує безпосередньо космічні об'єкти й будову Всесвіту	Вивчає залежність характеру і життєвого шляху людини від впливу небесних тіл
Будь-яке положення підкріплене науковими доказами та дослідженнями	Відсутні наукові докази тверджень

**Значення астрономії для формування світогляду та культури людини. Об'єкти дослідження та просторово-часові масштаби в астрономії.** 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.

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 одне 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.



### 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.



Дізнайтеся більше про історію розвитку астрономії.



### Контрольні запитання

1. Що вивчає астрономія? Що зумовило її формування як науки?
2. З яких розділів складається астрономія? Стисло схарактеризуйте кожний із них.
3. Розкажіть про основні періоди розвитку астрономії. Опишіть головні відмінності між астрономією та астрологією.
4. Як дослідження астрономічних явищ вплинуло на розвиток людства в давнину? Яке значення має астрономія в житті сучасного суспільства?

# Тема 1. Небесна сфера.

## Рух світил на небесній сфері

### 1 Небесні світила й небесна сфера. Сузір'я. Зоряні величини

**Небесні світила і небесна сфера. Основні точки, лінії та площини небесної сфери.** 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 (рис. 1.1). Тому уявну поверхню небосхилу почали називати **небесною сферою** (рис. 1.2). Поняття *небесна сфера* дає змогу визначити кутові відстані між довільними небесними світилками.

**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>)**.

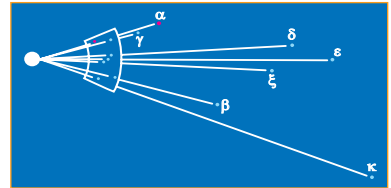


Рис. 1.1. Зорі в сузір'ї Оріон

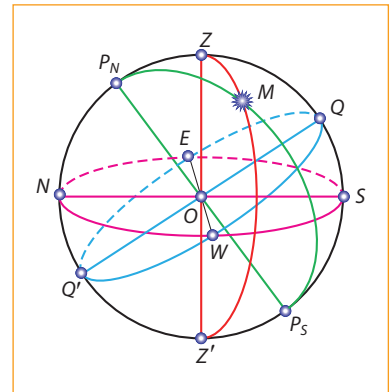


Рис. 1.2. Небесна сфера  
O — центр небесної сфери (місце розташування спостерігача);  
Q — верхня точка небесного екватора; Q' — нижня точка небесного екватора; M — світило

**Небесна сфера** — сферична поверхня довільного радіуса з центром у довільній точці простору, на якій розташування небесних тіл зображають у такому вигляді, як їх видно з цієї точки у певний момент часу

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

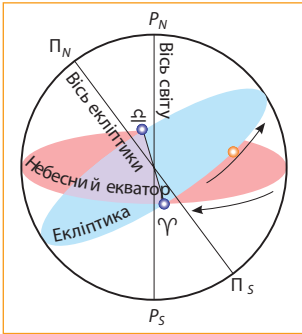


Рис. 1. 3. Екліптика

Точку небесного екватора, через яку Сонце під час свого руху по екліптиці переходить з Південної півкулі неба в Північну, називають *точкою весняного рівнодення*. Точка 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. 1.3). 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.

**Астрономічна одиниця (а. о.)** — середня відстань між центрами Землі та Сонця.  
 $1 \text{ а. о.} \approx 150 \cdot 10^6 \text{ км}$   
**Світловий рік (св. рік)** — відстань, яку проходить світловий промінь за 1 рік, рухаючись зі швидкістю  $300\,000 \text{ км/с}$ .  
 $1 \text{ св. рік} \approx 10^{13} \text{ км}$

**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 ( $P_NMP_S$ )** — 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.

**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  $100\,000 \text{ а. о.}$ , починається зона тяжіння інших зір. Неозброєним оком на небі можна побачити близько  $3000$  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**.

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. 1.4).



Рис. 1.4. Сузір'я Оріон



### 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.

**Зоряні величини.** Уперше умовну шкалу зоряних величин ввів для визначення яскравості зір грецький астроном Гіппарх 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, 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 першої величини, більш слабкі — другої, а найслабші, які ледве видно на нічному небі, — шостої. У XIX ст. англійський астроном Н. Погсон (1829–1891) доповнив визначення зоряної величини ще однією умовою: зорі першої зоряної величини мають бути у 100 разів яскравіші за зорі шостої величини. Видиму зоряну величину позначають літерою  $m$ . Для будь-яких зоряних величин  $m_1$ ,  $m_2$  буде справедливе таке співвідношення їх яскравості  $E_1$  та  $E_2$ :

$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)} \quad (1.5)$$

**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 (1.5) називають формулою Погсона. Яскравість  $E$  фактично визначає освітленість, яку створюють зорі на поверхні Землі, тому величину  $E$  можна вимірювати

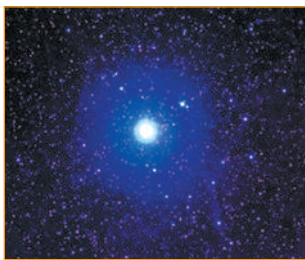


Рис. 1.6. Полярна зоря

люксами — одиницями освітленості, які застосовують у курсі фізики. Згідно з формулою (1.5), якщо різниця зоряних величин двох світил дорівнює одиниці, то відношення блиску буде  $\approx 2,512$ .

Для визначення видимих зоряних величин небесних світил астрономи взяли за стандарт так званий *Північний полярний ряд* — це сукупність 96 зір, розташованих навколо Північного полюса світу. Найяскравіша серед них — Полярна зоря (рис. 1.6) має зоряну величину  $m = +2m$ .

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  $m = -1,47m$ , для найяскравішої планети Венери  $m = -4,5m$ , а для Сонця  $m = -26,7m$ .

### Найяскравіші зорі

Назва	Сузір'я	Відстань (св. р.)	Зоряна величина
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
Альтаір	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



Дізнайтеся про походження назв зір і систему їх позначення.



### Контрольні запитання

1. Що розуміють під небесною сферою? Дайте визначення основних точок, ліній і площин небесної сфери.
2. Пригадайте і сформулюйте різницю між зорями та планетами.
3. Розкажіть, як сузір'я отримали назви. Назвіть найвідоміші сузір'я. Як ви вважаєте, навіщо люди почали об'єднувати зоряні скупчення в сузір'я?



4. Обчисліть точне значення величини (до третього знака) 1 св. року в кілометрах.
5. За яким принципом складена шкала зоряних величин Гіппарха? Що розуміють під зоряною величиною?



## 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*. Вимірявши час  $t$ ,

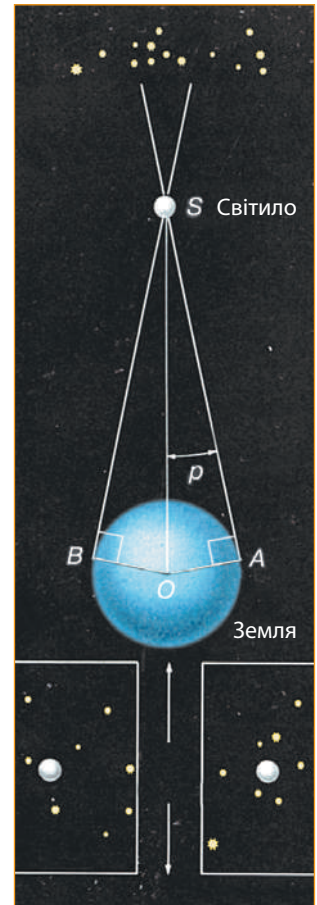


Рис. 2.1. Горизонтальний паралакс  $p$  світила



**Уявна небесна сфера**

довільного радіуса допомагає визначити координати небесних світил

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

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

$$L = c \frac{t}{2}, \quad (2.3)$$

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.

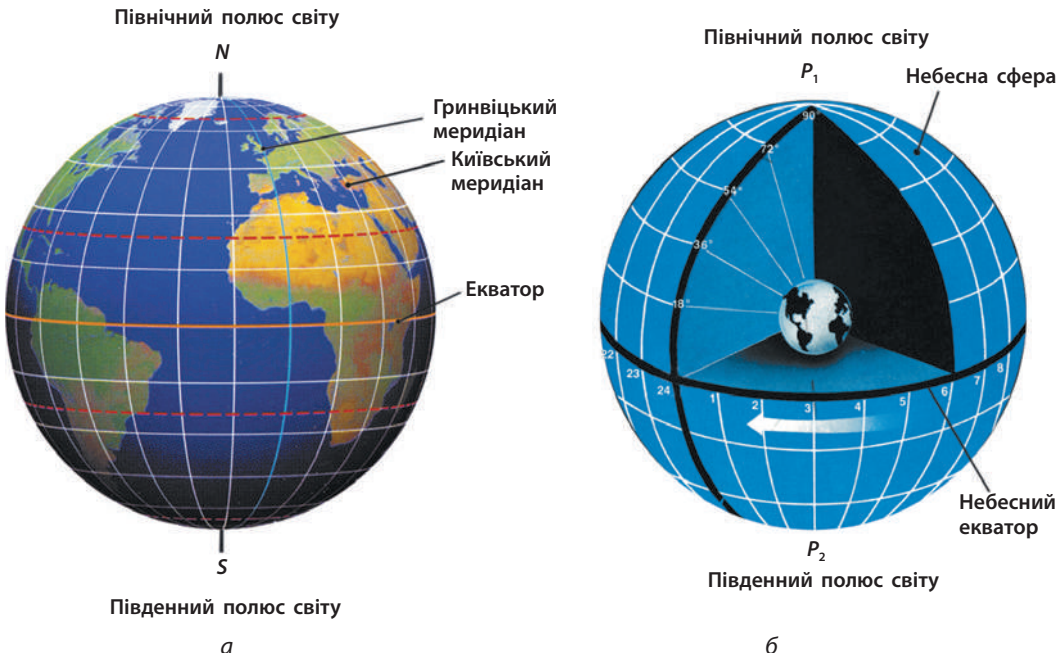


Рис. 2.4. Основні точки і лінії системи координат: а — земної (географічної), б — небесної

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 Октав). 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. Полюсів світу як реальних точок у космічному просторі немає, адже радіус небесної сфери є невизначеним, тому ми можемо позначити тільки напрямок, 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 схилень 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:  $0 \text{ год} \leq \alpha \leq 24 \text{ год}$ ;  $-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$

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.

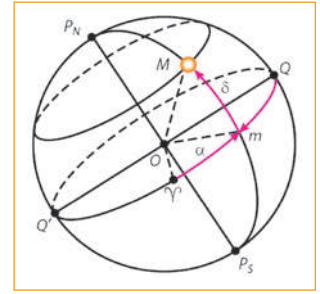


Рис. 2.5. Екваторіальна система небесних координат:  
 $\delta$  — схилення світила;  
 $\alpha$  — пряме сходження.

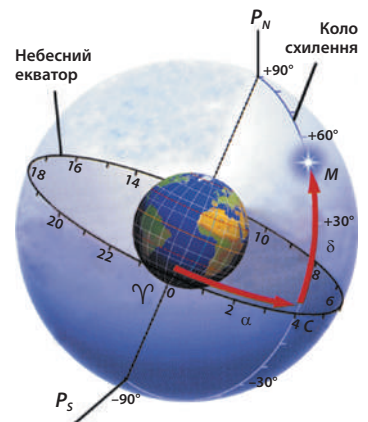


Рис. 2.6. Екваторіальна система небесних координат

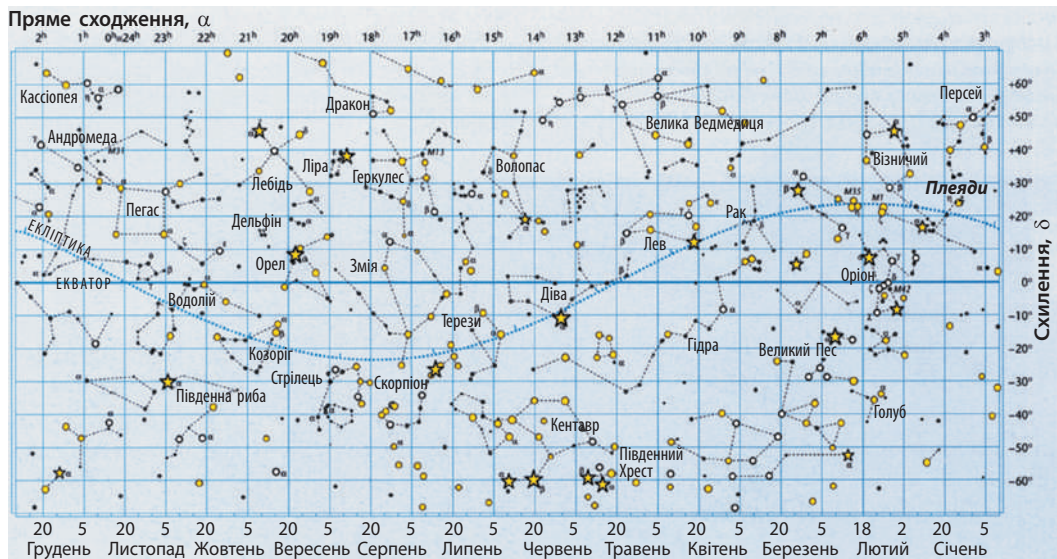


Рис. 2.7. Карта зоряного неба екваторіальної зони. Дати, коли ці сузір'я кульмінують у вечірній час, позначені внизу карти. Відшукайте їх після заходу Сонця в південній частині небосхилу



## 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.



## Дізнайтеся про орієнтування на місцевості.



## 3

## Типи календарів. Астрономія та визначення часу

**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. 3.1 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 похибку на одну добу він дає приблизно через 33 століття.

**Тропічний рік** — проміжок часу між двома послідовними проходженнями центра диска Сонця через середню точку весняного рівнодення

**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



**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.

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

Рис. 3.1. Високосні роки за юліанським календарем. Кружечком обведені роки, які за григоріанським календарем не є високосними

Тепер різниця між юліанським і григоріанським календарями досягла вже 13 днів 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 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.

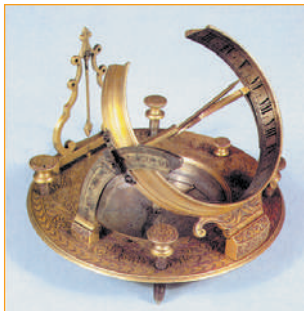


Рис. 3.2. Старовинний сонячний годинник

Хоча годинники протягом віків змінювали вигляд (рис. 3.2, 3.3) 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**.



Рис. 3.3. Перший атомний годинник

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

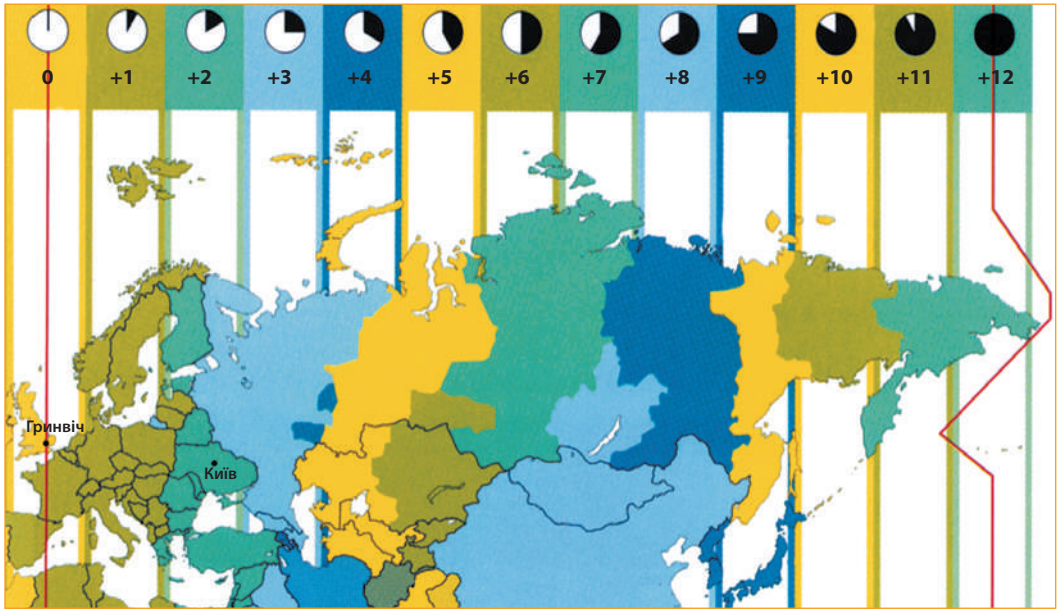


Рис. 3.4. Годинні пояси. Земля поділена на 24 пояси, у кожному з яких всі годинники показують однаковий час. Переїжджаючи з одного поясу в інший, мандрівники переводять стрілки годинників на ціле число годин

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. 3.4).

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.

**Справжня сонячна**

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



**Контрольні запитання**

1. Які існують типи календарів? Чим вони відрізняються?
2. Назвіть одиниці вимірювання часу. Чому протягом багатьох років вони залишаються незмінними?
3. У чому полягає відмінність юліанського календаря від григоріанського?
4. Чому неможливо скласти абсолютно точний календар?

**Місцевий час**

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

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

4

**Видимий рух Сонця. Видимі рухи Місяця та планет**

**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 — Стрілець та ін.

Якщо стежити за Сонцем протягом року, то виявиться, що його рух по екліптиці не є рівномірним (4.1).

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

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

♈ — Овен: 21 березня — 19 квітня. ♉ — Телець: 20 квітня — 20 травня. ♊ — Близнята: 21 травня — 20 червня. ☊ — Рак: 21 червня — 22 липня. ♌ — Лев: 23 липня — 21 серпня. ♍ — Діва: 22 серпня — 21 вересня. ♎ — Терези: 22 вересня — 22 жовтня. ♏ — Скорпіон: 23 жовтня — 21 листопада. ♏ — Стрілець: 22 листопада — 20 грудня. ♏ — Козоріг: 21 грудня — 19 січня. ♏ — Водолій: 20 січня — 18 лютого. ♏ — Риби: 19 лютого — 20 березня.

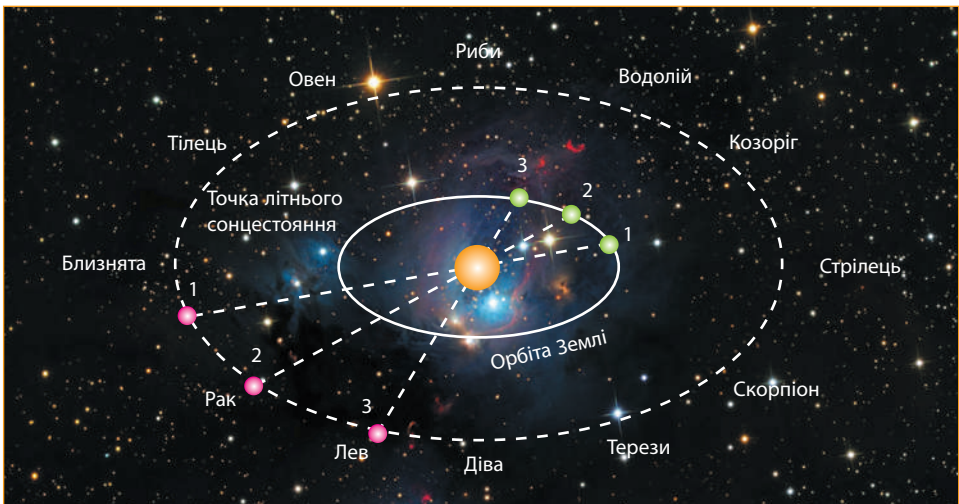


Рис. 4.1. Рух Сонця по екліптиці



## 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. 4.2). 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 однакова тривалість дня — 12 годин.

В інші місяці тривалість дня більша або менша за 12 годин і залежить від географічної широти місця спостереження. Найдовший день у Північній півкулі настає 21–22 червня — початок астрономічного літа, а у Південній півкулі в цей день починається астрономічна зима. Через півроку 21–22 грудня, навпаки, у Північній півкулі настає астрономічна зима, а в Південній — літо (рис. 4.3).

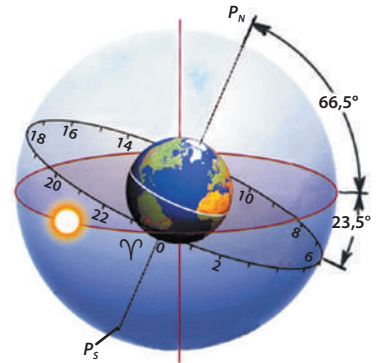


Рис. 4.2. Кут між площинами екватора та екліптики  $23,5^\circ$ , а кут між площиною екліптики та полюсом світу  $66,5^\circ$ . Це є причиною зміни пір року на Землі



Рис. 4.3. 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

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

**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 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. 4.4). 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<sub>1</sub>), 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. 4.4. 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

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. 4.5). 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. 4.6). 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).

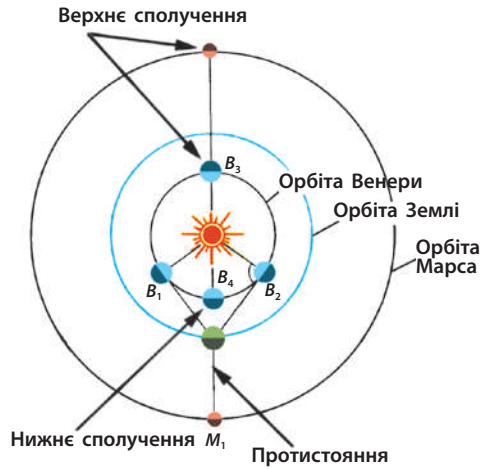


Рис. 4.5. Конфігурації Венери і Марса. Протистояння Марса: планета перебуває найближче до Землі, її видно всю ніч у протилежному від Сонця напрямку. Венера найкраще видно ввечері у східну елонгацію ліворуч від Сонця ( $B_1$ ) та вранці під час західної елонгації праворуч від Сонця ( $B_2$ )



**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

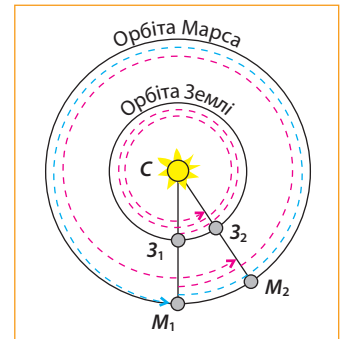


Рис. 4.6. Шлях, що відповідає сидеричному періоду обертання Марса навколо Сонця, зображено пунктиром синього кольору, синодичному — пунктиром червоного кольору.

Положення  $C-3_1-M_1$  та  $C-3_2-M_2$  — два послідовних протистояння Марса

у космічному просторі, тому затемнення відбуваються в різні пори року. Період повторення затемнень, або сарос, знали ще єгипетські жерці 4000 років тому. Сучасні обчислення дають таке значення саросу:  $\Gamma_{\text{сар}} = 6585,33$  доби = 18 років 11 днів 8 год. Протягом одного саросу в різних місцях на поверхні Землі відбуваються 43 затемнення Сонця та 25–29 затемнень Місяця, причому сонячні й місячні затемнення завжди відбуваються парами з інтервалом 2 тижні.



### 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.



## Закони Кеплера. Закон всесвітнього тяжіння

**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. 5.1).

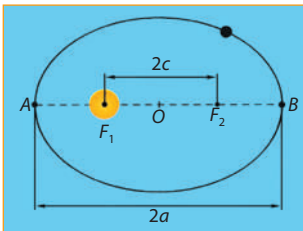


Рис. 5.1. Планети обертаються навколо Сонця по еліпсах.  
 $AF_1 = r_{\min}$  — у перигелії;  
 $BF_1 = r_{\max}$  — в афелії

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

$$r_{\max} \leq r \leq r_{\min} \quad (5.2)$$

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. 5.3). Сума відстаней у перигелії та афелії дорівнює великій осі АВ еліпса:

$$r_{\max} + r_{\min} = 2a \quad (5.4)$$

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

$$e = \frac{c}{a}, 0 < e < 1 \quad (5.5)$$

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. 5.6).

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

**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

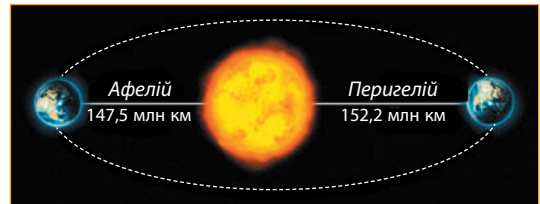


Рис. 5.3. Афелій і перигелій Землі

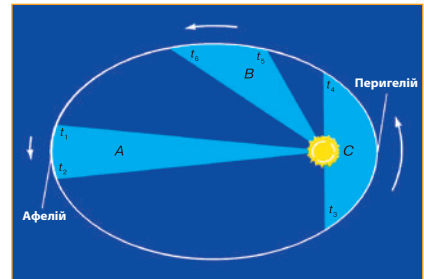


Рис. 5.6. При наближенні до Сонця швидкість планети зростає, а при віддаленні — зменшується. Якщо відрізки часу  $t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = t_6 - t_5$ , то площі  $S_A = S_B = S_C$

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.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (5.7)$$

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 обер-

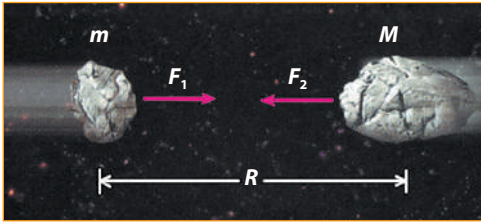


Рис. 5.8. Закон всесвітнього тяжіння

тання 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. 5.8).

$$F = G \frac{mM}{(R + H)^2}$$

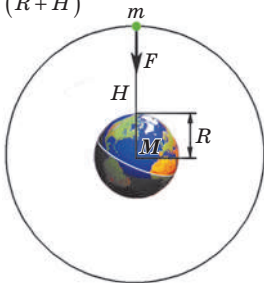


Рис. 5.10. Сила тяжіння, яка діє на космічний корабель, залежить від відстані  $R + H$  між кораблем і центром Землі

$$F = G \frac{Mm}{R^2}, \quad (5.9)$$

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

Слід звернути увагу, що формула (5.9) 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. 5.10).

**Для допитливих**

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

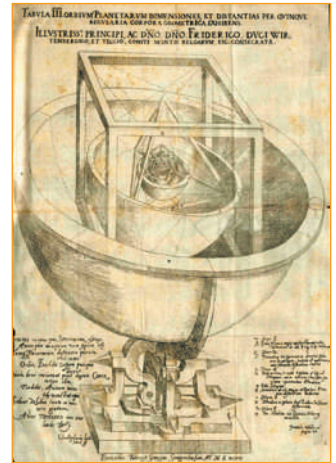
Протягом усього життя Кеплер вірив, що Сонячна система — витвір мистецтва, сповнений містичних явищ. Він не вважав себе астрономом за покликанням, а навпаки захоплювався теологією і мріяв стати священиком. Свій інтерес до теорії Коперника спочатку пояснював необхідністю дослідити різні думки щодо світобудови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



Кубок Кеплера

**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?

## 6 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.

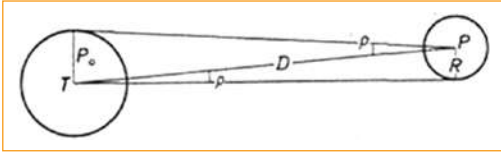


Рис. 6.1. Визначення розмірів небесних тіл

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 тя-

жіння. Прискорення вільного падіння, спрямоване до центру Землі, обчислюють за формулою:

$$g = G \frac{M}{R_{\oplus}^2} \quad (6.2)$$

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 (6.3) обчислити масу Землі (6.4).

$$M = \frac{gR_{\oplus}^2}{G} \quad (6.3)$$

$$M = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ кг} \quad (6.4)$$

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



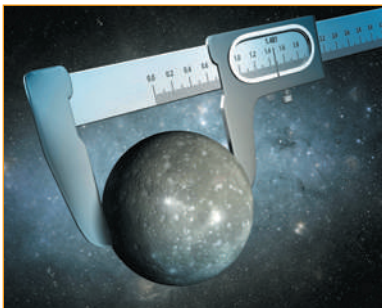
Щоб визначити лінійний розмір небесного тіла, потрібно виміряти кут, під яким ми бачимо його радіус, і знати відстань до нього. На рис. 6.1 спостерігач із центру  $T$  Землі може бачити лише лінійний радіус  $R$  тіла під кутом  $\rho$ .

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

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:  $M_{\odot} = (1,98847 \pm \pm 0,00007) \cdot 10^{30}$  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.

**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?

**Виконайте тестові завдання із автоматичною перевіркою на сайті «Інтерактивне навчання».**

**Висновки.** Сузір'я — ділянки, на які поділена небесна сфера для зручності орієнтування на зоряному небі. Для вимірювання відстаней у космічному просторі використовують астрономічні одиниці та світлові роки.

На картах зоряного неба використовують екваторіальну систему координат, у якій положення зір визначають за допомогою прямого сходження та схилення.

Площина екліптики, по якій відбувається рух Сонця, збігається з площиною орбіти Землі. Уздовж лінії екліптики розташовані 12 зодіакальних сузір'їв, за якими визначають ключові періоди проходження Землі навколо Сонця — дні рівнодення та сонцестояння.

Місяць — природний супутник Землі, рухається навколо нашої планети по еліптичній орбіті у напрямку із заходу на схід (так само, як і Земля). Сидеричний місяць — повний оберт Місяця по орбіті навколо планети за 27,3 доби. Період місячних фаз становить 29,5 земних діб і називається синодичним місяцем.

Закони Кеплера дозволяють з великою точністю визначати форму орбіти і швидкість руху планет Сонячної системи та періоди їх обертання навколо Сонця. Ці закони використовують і для запуску штучних супутників, міжнародних космічних станцій, космічних кораблів та ін.





**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 назвах 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».



## Тема 2. Методи та засоби астрономічних досліджень



### 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.

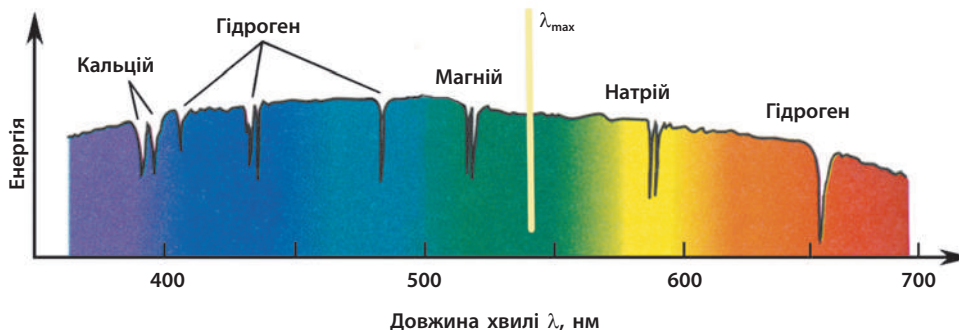


Рис. 1.1. Спектр випромінювання зорі з температурою  $T = 5800$  К. Западини на графіку відповідають темним лініям поглинання, які утворюють окремі хімічні елементи

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 припадає на певну частину спектра  $\lambda_{\max}$  (рис. 1.1). Цим пояснюються різноманітні кольори зір — від червоного до синього (рис. 1.2, 1.3). Використовуючи закони випромінювання чорного тіла, які відкрили фізики на Землі, астрономи вимірюють температуру далеких космічних світил (рис. 1.4). За температури  $T = 300$  К чорне тіло випромінює енергію переважно в інфрачервоній частині спектра, яка не сприймається неозброєним оком.

За низьких температур таке тіло у стані термодинамічної рівноваги має справді чорний колір.

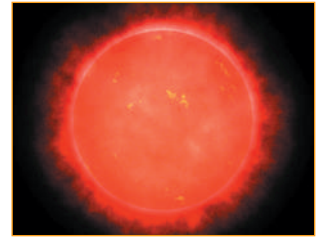


Рис. 1.2. Червоний карлик



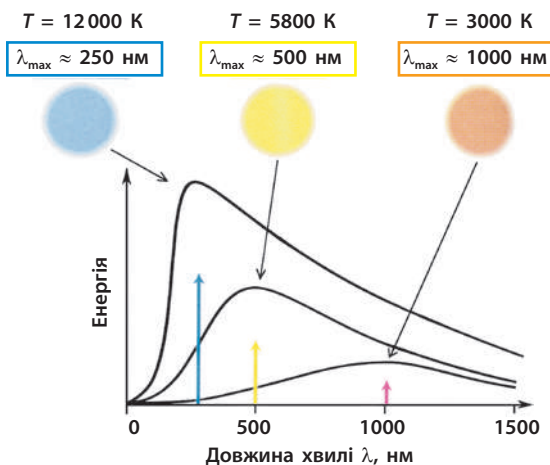
Рис. 1.3. Молоді зорі. Різні кольори зір пояснюються електромагнітним випромінюванням різної довжини



### 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.

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



Рис. 1.5. Народження нової зорі

**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, але навіть не було Сонячної системи. Тобто астрофізичні методи вивчення далекого космосу фактично не відрізняються від експериментів, які проводять фізики на поверхні Землі. До того ж, за допомогою 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.

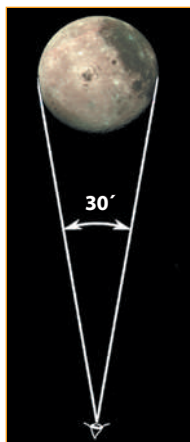


Рис. 1.6. Ми розрізняємо диск Місяця, оскільки його кутовий діаметр 30', у той час як кратери неозброєним оком не видно, адже їх кутовий діаметр менший від 1'



### 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 різноманітний колір зір?
2. За допомогою яких законів астрономи вимірюють температуру далеких космічних світил?
3. Чи можливе проведення астрофізичних експериментів?
4. Підготуйте стисле повідомлення про методи астрофізичних досліджень.
5. Чим визначається чутливість ока?



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

**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, будує 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 *окуляром*.

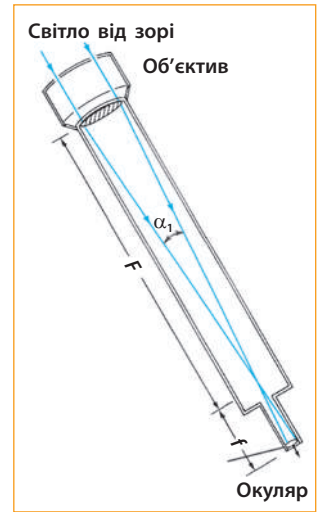


Рис. 2.1. Схема лінзового телескопа (рефрактора)

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

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

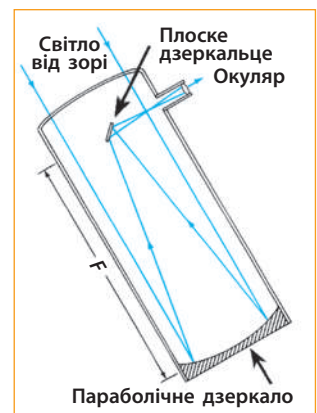


Рис. 2.2. Схема дзеркального телескопа (рефлектора)

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 чітке зображення дає телескоп із більшим діаметром об'єктива.

Крім того телескоп збільшує видиму яскравість світил, яка буде у стільки разів більша за ту, що сприймається неозброєним оком, у скільки площа об'єктива більша від площі зіниці ока.

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

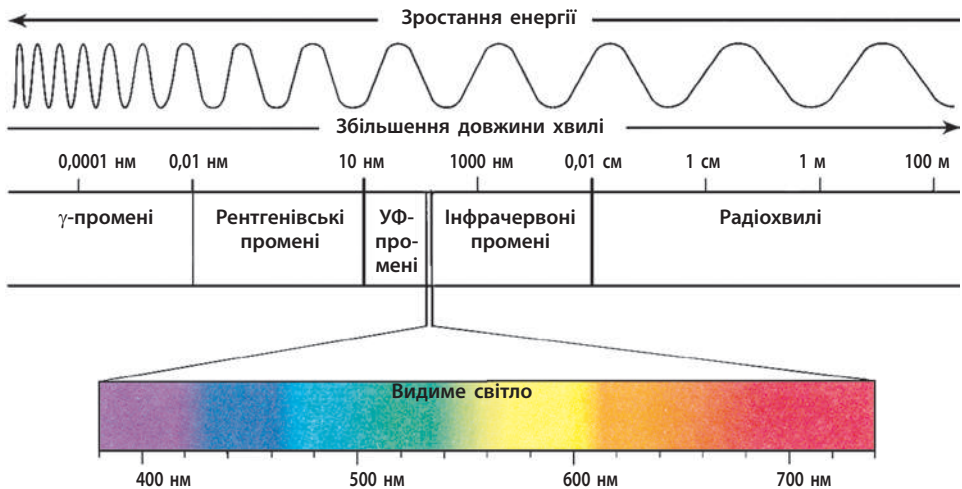


Рис. 2.4. Шкала електромагнітних хвиль

**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 (рис. 2.2), 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, — *dipolів* (рис.2.5).



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

**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.

Переважає 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.



**Дізнайтеся про обсерваторію Супер-Каміоканде, про появу і вдосконалення радіотелескопа.**



**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.

**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



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

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 світил значно збільшують роздільну здатність і чутливість телескопів. До них належать фотопомножувачі та електронно-оптичні перетворювачі, дія яких ґрунтується на явищі зовнішнього фотоелекту.

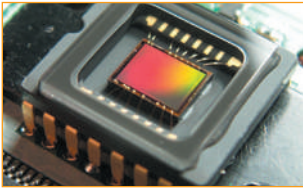


Рис. 2.6. Матриця ПЗЗ

Наприкінці ХХ ст. для отримання зображення почали застосовувати прилади зарядового зв'язку (ПЗЗ), у яких використовується явище внутрішнього фотоелекту. 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.



**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.



**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.



Подивіться, яким бачить космос телескоп «Габбл».



Рис. 3.1 Телескоп БТА на Північному Кавказі



## 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. 3.2 Сегментоване дзеркало новітнього космічного телескопа «Джеймс Уебб»



Рис. 3.3 Телескоп Very Large Telescope в Андах



Рис. 3.4. Космічний телескоп «Габбл»

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 аналізують ще впродовж кількох наступних десятиліть.

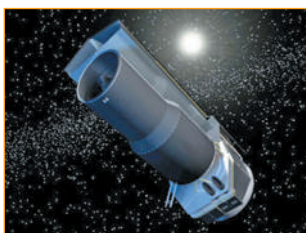


Рис. 3.5. Телескоп «Спітцер»

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 світл.



Кімната центру керування НАСА за місією телескопа «Габбл»

Космічний телескоп «Габбл» (рис. 3.4) — американський оптичний телескоп, розташований на навколосезній орбіті з 1990 р. 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 ХХ ст. Телескоп є першим апаратом із серії «Великі обсерваторії», за його допомогою здійснено багато важливих спостережень.



Рис. 3.6. Обсерваторія Джеміні

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 (Близнюки)** (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 навколосезній 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.



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



### Для допитливих



Головна обсерваторія  
НАН України, Київ

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.



### 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?



Дізнайтеся більше про флагман європейської астрономії.



Виконайте тестові завдання із автоматичною перевіркою на сайті «Інтерактивне навчання».



**Висновки.** Астрономія з оптичної науки перетворилася на всехвильову, оскільки основними джерелами інформації про Всесвіт нині є електромагнітні хвилі та елементарні частинки (нейтрино), що їх випромінюють космічні тіла, а також гравітаційні й електромагнітні поля, за допомогою яких ці тіла взаємодіють.

Нейтрино є стабільною, електрично нейтральною елементарною частинкою, маса якої близька до нуля. Застосування під час астрономічних досліджень нейтринних детекторів (пристроїв — уловлювачів нейтрино) надає унікальну можливість здійснювати космічні спостереження, що були неможливі з оптичними телескопами.

За принципом конструювання оптичні телескопи поділяють на три групи: рефрактори, рефлектори та дзеркально-лінзові. Для реєстрації електромагнітного випромінювання в радіодіапазоні створені радіотелескопи. Сучасні технології щодо конструювання телескопів надають нові можливості у перспективі дослідження космічного простору, отримання нових відомостей про будову Всесвіту й процеси, що відбуваються в ньому.

## Тема 3.

# Наша планетна система

### 1 Земля і Місяць. Планети земної групи: Меркурій, Венера, Марс і його супутники

**Земля.** Наша планета — третя за порядком планета Сонячної системи. Вона має форму сфероїда (кулі, слабко сплюснutoї біля полюсів, рис. 1. 1). Вісь обертання Землі нахилена під кутом  $66,5^\circ$  до площини її орбіти (до площини екліптики). 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 добу. Земля оточена атмосферою, яка простягається в космос більш ніж на 1000 км, що створює на її поверхні сприятливі умови для існування життя (температуру, склад атмосфери, величезну кількість води).

**Хімічний склад атмосфери** є неоднорідним. Найбільшою складовою атмосфери біля поверхні Землі (за об'ємом 78 %) є азот  $N_2$ , який відіграє важливу роль у житті рослин. Кисень  $O_2$  є необхідним елементом для дихання всіх живих істот і складає 21 % об'єму атмосфери (рис. 1.2).

**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  $-25^\circ C$ .

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



Рис. 1.1. Вигляд Землі з космосу



Рис. 1.2. Будова атмосфери Землі

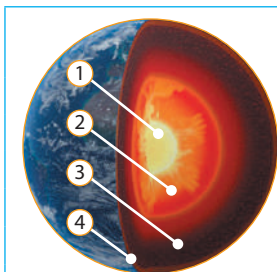


Шаттл на фоні шарів атмосфери Землі (тропосфера має помаранчеве забарвлення)

**Магнітне поле** Землі 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 Землі від смертельних потоків космічних частинок.

**Будова Землі.** Нашу планету можна умовно поділити на кілька шарів. Центральну частину Землі утворює металеве *ядро*. Зовнішня частина ядра перебуває в розплавленому стані при температурі 7000 °С, а внутрішня — тверда. Вище розташовується силікатна оболонка, або *мантія*. На мантії «плаває» *кора*, товщина якої неоднакова — від 5–7 км під океанами, до кількох десятків кілометрів під гірськими районами континентів. Унаслідок конвекції в мантії земна кора розділилася на окремі плити, які повільно зміщуються.

### Параметри Землі



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

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

**Місяць.** Місяць — єдиний природний супутник Землі. Це космічне тіло кулеподібної форми. Через малу силу тяжіння й високу температуру на Місяці відсутня атмосфера. Слідів життя на ньому також поки що не виявлено.

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: два тижні світить Сонце і поверхня нагрівається до температури  $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а потім, після двотижневої ночі, поверхня охолоджується і температура на світанку знижується до  $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ . За високої денної температури молекули газів покидають сферу тяжіння Місяця, тому там неможливе існування густої атмосфери.

На Місяці навіть удень темне небо, як у міжпланетному просторі, там не буває ані вітрів, ані дощів. Зміни пір року не відбувається, тому що вісь обертання Місяця майже перпендикулярна до площини орбіти. На поверхні Місяця навіть неозброєним оком видно темніші ділянки, що були названі *морями* (рис. 1.3), та світліші, які астрономи назвали *материками*. У морях немає ані краплі вологи, у вакуумі вода миттєво закипає і випаровується або замерзає. Вода у твердому стані могла зберегтися під поверхнею на глибині кількох десятків метрів, де протягом доби температура не змінюється і дорівнює  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 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. 1.4). Більшість кратерів мають метеоритне походження, хоча деякі з них могли утворитися під час виверження вулканів, з яких витікала розплавлена лава та заповнювала більш низькі ділянки, — так виникли моря. Виверження вулканів припинилося дуже давно, оскільки вік найстаріших твердих скель на материках — 4,4 млрд років, у той час як лава в морях застигла близько 3 млрд років тому.



Рис. 1.3. Моря на Місяці утворилися після виверження вулканів. Вони мають темніший колір, адже за хімічним складом там більше заліза, а на світліших ділянках більше алюмінію

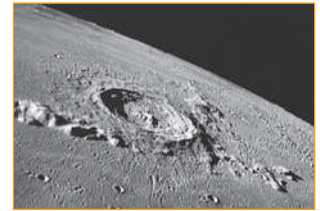
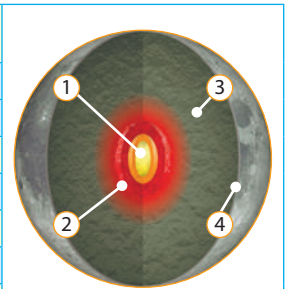


Рис. 1.4. Кратери на Місяці зараз утворюються після падіння метеоритів, хоча 3 млрд років тому там діяли вулкани

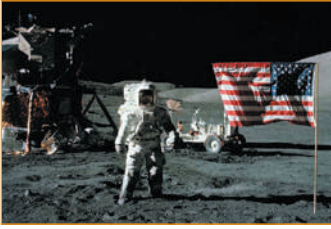
### Параметри Місяця

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	$3,34 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	0,17
Температура поверхні	Від $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$



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





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

Останнім часом у полярних областях Місяця космічні станції виявили запаси водяного льоду. Джерелом виникнення й накопичення місячних полярних льодів можуть бути комети, що впали в ці області.



### Для допитливих

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



### Дізнайтеся більше про Землю і Місяць.

**Планети земної групи.** Планети Сонячної системи за розмірами і будовою поділяють на дві групи (рис. 1.5) — *планети земної групи* (Меркурій, Венера, Земля, Марс) та *планети-гіганти* (Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун).

Планети земної групи мають тверду поверхню та значну густину, 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.

**Меркурій** є найменшою із планет земної групи, яку рідко кому випадало спостерігати неозброєним оком, тому що вона розташована близько до Сонця. Меркурій дуже повільно обертається навколо своєї осі в тому самому напрямку, як і Земля. Сонячна доба на планеті вдвічі довша, ніж період її обертання навколо Сонця. Отже, протягом майже трьох місяців там світить Сонце і стільки ж триває ніч. Світлини поверхні Меркурія, які були зроблені 2008 р. за допомогою АМС «Мессенджер» з відстані 27 тис. км, вражають схожістю його рельєфу з поверхнею Місяця — така сама величезна кількість кратерів, що свідчить про однакову природу цих космічних тіл (рис. 1.6). До речі, один із великих кратерів на Меркурії названий на честь Тараса Шевченка.

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

### Параметри Меркурія

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. 1.5. Порівняльні розміри планет земної групи та планет-гігантів

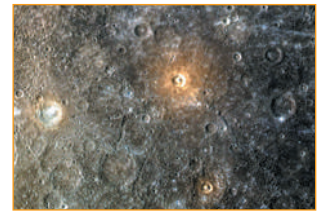
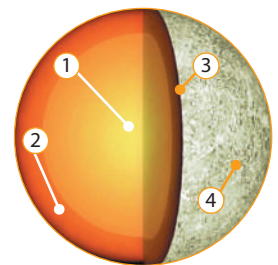


Рис. 1.6. Поверхня Меркурія зі світлин, зроблених «Мессенджером»



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



**Дізнайтеся більше про Меркурій.**

**Венера** — найгарячіша планета Сонячної системи. У неї, як і у Меркурія, немає природних супутників. Планета привертає увагу людей тим, що на нашому небі її яскравість у десятки разів перевищує блиск зір першої зоряної величини. За яскравістю Венера посідає третє місце в Сонячній системі після Сонця й Місяця. Українська народна назва цієї планети — Вечірня, або Вранішня, зоря,

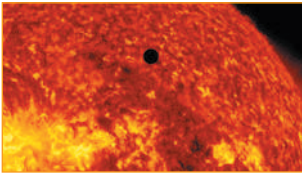


Рис. 1.7. Венера проходить повз Сонце

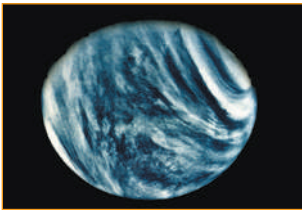


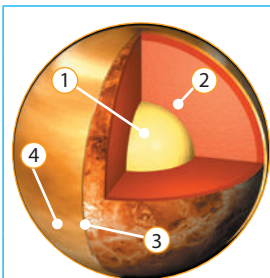
Рис. 1.8. Хмари на Венері, які видно за допомогою телескопа під час спостережень

адже вона першою з'являється на вечірньому небосхилі й останньою гасне на світанку.

Тривалий час Венеру називали планетою загадок, тому що густі хмари приховують її поверхню (рис. 1.7, 1.8). Тільки нещодавно радіоспостереження виявили, що Венера повільно обертається навколо своєї осі у зворотному напрямку (порівняно з обертанням Землі).

Атмосфера Венери складається в основному з вуглецю, який створює на планеті потужний парниковий ефект. В атмосфері часто можна спостерігати спалахи блискавок. Хмари Венери мають шарову структуру, окрім водяної пари у них утворюються краплини сірчаної кислоти, але до поверхні ці кислотні дощі не долітають, оскільки під хмарами температура різко підвищується (на поверхні +480 °С), і краплі випаровуються. Основний шар хмар розташовується на значній висоті (50–70 км), що пояснюється великим атмосферним тиском, який біля поверхні досягає 90 атм. Хмари на Венері скоріше нагадують слабку імлу, в якій видно предмети на відстані до 1 км.

### Параметри Венери



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

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	$5,2 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>
Температура поверхні	480 °С
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	0,9



Дізнайтеся більше про Венеру.

**Марс** — четверта за відліком планета Сонячної системи. Вона являє собою величезну пустелю, більша частина якої вкрита червонуватим піском. Під час протистоянь Марс за яскравістю поступається тільки Венері. Хоча маса та радіус Марса менші, ніж Землі, але тривалість доби (24,6 год.) і зміна пір року (вісь обертання нахилена під кутом 65° до площини орбіти) нагадують нашу планету. Правда, тривалість сезонів на Марсі майже у 2 рази довша, ніж на Землі. Навіть

у невеликі телескопи на Марсі видно білі полярні шапки (рис. 1.9), які свідчать про наявність води в атмосфері планети.

Марс привернув особливу увагу людей після того, як у 1877 р. італійський астроном Д. Скіапареллі відкрив «канали». Тоненькі, ледве помітні лінії, які з'єднували темні ділянки поверхні Марса, нагадували людству зрошувальні системи на Землі. Після дослідження Марса за допомогою АМС було встановлено, що «канали» є своєрідною оптичною ілюзією, яку створюють окремі ділянки марсіанського ландшафту — гори, долини, кратери.

### Параметри Марса

Зоряна величина (максимальна)	-2,0
Середня відстань до Сонця	228,0 млн км
	1,524 а. о.
Період обертання навколо Сонця	1,88 земного року
Період обертання навколо осі	24,62 год
Діаметр по екватору	6794 км
Маса (Земля = 1)	0,107
Середня густина	$3,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Температура поверхні	Від $-130 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+15 \text{ }^\circ\text{C}$
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	0,38

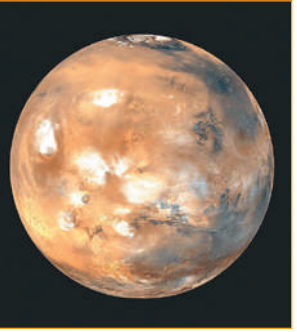
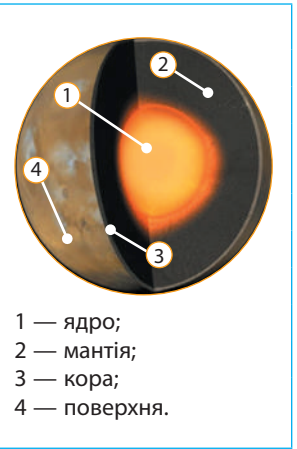


Рис. 1.9. Марс

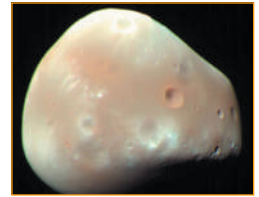


Із близької відстані Марс більше схожий на Місяць, ніж на Землю, оскільки безліч круглих кратерів свідчать про інтенсивне метеоритне бомбардування в минулому. Ряд кратерів на Марсі назвали на честь українських астрономів: Барабашова, Герасимовича, Сімейкіна, Струве, Фесенкова.



### 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  $27 \times 21 \times 29$  км (Фобос) та  $15 \times 12 \times 8$  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.



Деймос



Фобос

**i** Дізнайтеся більше про Марс.



**?** Контрольні запитання

1. Що спільного у планет земної групи? Чому ця група названа саме так?
2. Чому вода на поверхні Місяця не може існувати в рідкому стані?
3. Чому Меркурій не може утримувати сталу атмосферу?
4. Яка планета обертається навколо осі у протилежному в порівнянні із Землею напрямку?
5. На яких планетах земної групи відбувається зміна пір року?
6. Венера розміщується далі від Сонця, ніж Меркурій, але чому температура на її поверхні вища, ніж на Меркурії?

**★** Завдання для спостереження

1. Нарисуйте 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.

## 2 Планети-гіганти: Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун та їхні супутники.

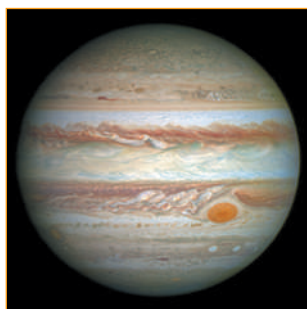


Рис. 2.1. Юпітер

Планети-гіганти 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  $+10\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Крім того, планети-гіганти досить швидко обертаються навколо осі та мають велику кількість супутників.

**Юпітер** виявився найбільшою планетою Сонячної системи (рис. 2.1). Навколо цієї планети обертається численна родина супутників, чотири з яких — Іо, Європа, Ганімед та Каллісто (так звані Галілеєві супутники) — найбільші, які можна порівняти за розміром із Місяцем (рис. 2.2). Маса Юпітера майже в 2,5 рази перевищує сумарну масу решти планет і в 318 разів більша за масу Землі. Основними компонентами атмосфери Юпітера



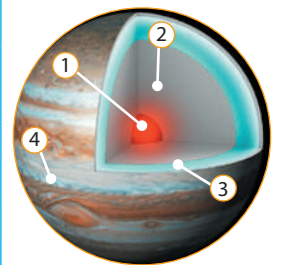
Рис. 2.2. Супутники Юпітера: Іо, Європа, Ганімед, Каллісто

є водень — 74% та гелій — 20%, а у хмарах помічена присутність метану, аміаку та водяної пари. Верхній шар світлих хмар, де атмосферний тиск сягає 1 атм, складається з кристаликів аміаку. Шар хмар з домішками сірки, що розташований нижче, має червоний колір (рис. 2.3). Найнижче розташовані хмари з водяної пари, які утворюються на глибині 80 км від верхніх світлих хмар. Температура і атмосферний тиск із глибиною поступово зростають. Нещодавно з'явилися гіпотези щодо можливості існування життя у хмарах Юпітера, адже його атмосфера має всі компоненти, які були необхідні для появи життя на Землі. Деякі шари хмар теплі та відносно комфортні для існування навіть земних мікроорганізмів.

На глибині 20 000 км водень переходить у металічний стан, і його фізичні властивості нагадують розплавлений метал, який добре проводить електричний струм. Такий агрегатний стан водню (густина  $4 \text{ г/см}^3$  при тиску 106 атм) на Землі не існує. Завдяки електричному струмові, що генерується у цій металевій оболонці, виникає потужне магнітне поле, тому навколо Юпітера утворюються радіаційні пояси, які в 104 рази інтенсивніші від земних. Юпітер є потужним джерелом випромінювання. У центрі Юпітера існує тверде ядро, подібне за хімічним складом до планет земної групи, яке може складатися зі скельних порід.

### 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 °C
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	2,2



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

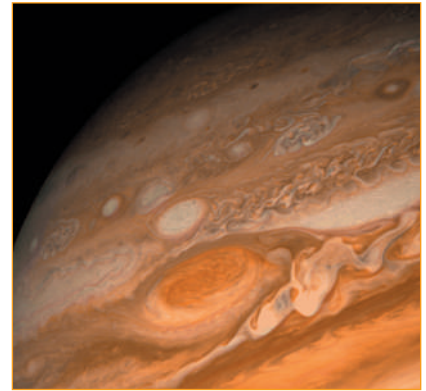


Рис. 2.3. «Велика Червона Пляма», яка розташована в південній півкулі Юпітера і за розмірами майже вдвічі більша, ніж Земля, є велетенським вихором в атмосфері, у якому вітер дме з ураганною швидкістю до 100 м/с



Дізнайтеся більше про Юпітер.





Рис. 2.4. Сатурн

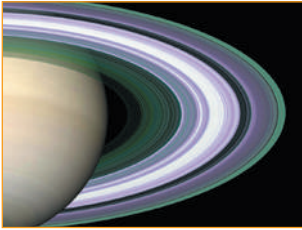


Рис. 2.5. Кільця Сатурна



Космічний корабель НАСА «Кассіні» здійснює занурення між Сатурном та його внутрішніми кільцями

**Сатурн** — друга за розміром планета-гігант, оточена гарними кільцями (рис. 2.4). Світлини, які зробив космічний апарат «Вояджер-2», продемонстрували, що систему кілець утворюють тисячі тонких кілець (рис. 2.5). Кожне з них складається з численних уламків льоду. Товщина кілець становить не більше 2 км.

Сатурн не має того розмаїття кольорів, який ми спостерігаємо в атмосфері Юпітера, але структура атмосфери цих планет дуже схожа. Жовтуватого кольору верхнім шарам атмосфери Сатурна надають снігові хмари з аміаку. На глибині 300 км від верхніх шарів хмар розташовуються хмари води, у яких при підвищенні температури сніг 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 магнітне поле, радіаційні пояси та є джерелом випромінювання.

У Сатурна виявлено багато супутників діаметром від 34 до 5150 км. Поверхні великих супутників вкриті багатьма кратерами різних розмірів. Найбільшим супутником планети є Титан, який можна спостерігати навіть у телескоп шкільного типу. Він майже у півтора рази більший за Місяць, оточений щільною азотною атмосферою. Під час посадки на його поверхню космічної станції «Кассіні» були виявлені озера й річки рідкого азоту і метану.

### Параметри Сатурна

<p>1 — кам'яне ядро; 2 — металевий водень з крапельками гелію; 3 — комірки з циркулюючим воднем та гелієм</p>	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	12 0536 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

**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 центру. 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.

**Дізнайтеся більше про Сатурн.**

**Уран** — третя за розміром планета-гігант — має зеленувато-блакитний колір, тому що 1/7 його атмосфери складає метан (рис. 2.6). Він добре поглинає червоні промені й відбиває блакитні та зелені. Вісь обертання Урана нахилена під кутом усього лише 8° до площини орбіти. Існує одна особливість, яка виділяє Уран з усіх планет Сонячної системи: його екватор нахилений до площини орбіти під кутом 98°. Такий великий кут нахилу призводить до унікальної у Сонячній системі зміни пір року — полярні кола розташовуються майже на екваторі, а тропіки — біля полюсів.

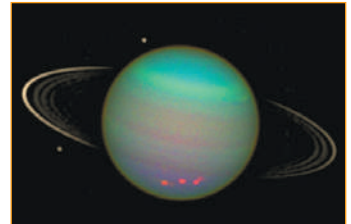


Рис. 2.6. Уран

**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	$1,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$	
Температура поверхні	-217 °C	
Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	0,9	

- 1 — кам'яне ядро;
- 2 — мантія із замерзлих води, метану та аміаку;
- 3 — атмосфера з водню, гелію та метану





Рис. 2.7. Вісь обертання Урана лежить майже у площині орбіти, тому там тропіки збігаються з полярним колом. Тривалість сезонів на Урані 21 земний рік. Осьове обертання Урана, як і Венери, відбувається у напрямку, протилежному напрямку обертання інших планет Сонячної системи



Дізнайтеся більше про Уран.

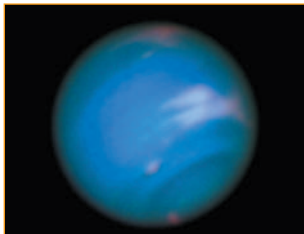


Рис. 2.8. Нептун

Це означає, що Сонце освітлює один із полюсів планети майже 42 земні роки, у той час як на іншому полюсі стільки ж триває полярна ніч (рис. 2.7). Щоправда, спеки там не буває, адже Уран отримує від Сонця набагато менше енергії, ніж Земля. У 1977 р. були відкриті кільця Урана. Планета оточена 11 вузькими кільцями, які розташовані в площині екватора на відстані близько 50 тис. км від центра планети. Товщина кілець не перевищує 1 км. Також Уран оточений великою кількістю супутників.

**Нептун** — найменший серед планет-гігантів. Він розташований на межі Сонячної системи. Планета має внутрішнє джерело енергії, оскільки випромінює у космос тепла майже втричі більше, ніж отримує його від Сонця (рис. 2.8).

Від часу свого відкриття у 1846 р. Нептун зробив повний оберт навколо Сонця тільки у 2011 р. Реальною є гіпотеза про водяні хмари з розчином аміаку, густина яких може перевищувати густину рідкої води в кілька разів (рис. 2.9). Швидкість вітрів у хмарах сягає фантастичної величини — 600 м/с. Чому виникають сильні вітри на такій холодній планеті — це ще одна нерозгадана таємниця планети.

### 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	$1,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
	Температура поверхні	-214 °C
	Сила тяжіння на екваторі (Земля = 1)	1,1

Навколо Нептуна обертаються вісім супутників, найбільший з них — Тритон, який кружляє навколо планети у зворотному напрямку. На світлинах, отриманих 1989 р. космічним апаратом «Вояджер-2», можна побачити, що планету оперізають три замкнені й одне незамкнене кільця. Вони розташовані на відстані від 1,7 до 2,5 радіуси Нептуна.



**i** Дізнайтеся більше про Нептун.

### Найбільші супутники планет Сонячної системи

Планета	Супутник	Діаметр, км	Маса, $\cdot 10^{23}$ кг	Густина, $\text{кг/м}^3$	Температура поверхні, $^{\circ}\text{C}$
♃	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. Які особливості у планет-гігантів?
2. Чому Юпітер можна вважати дуже схожим на зорю?
3. Що викликає гелієві дощі на Сатурні?
4. Чим обумовлена зміна пір року на Урані?
5. Опишіть поверхні планет-гігантів.
6. У чому полягають особливості планет-гігантів?

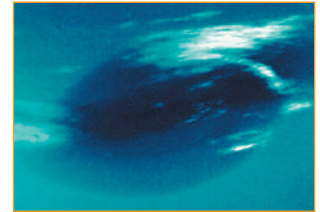


Рис. 2.9. На Нептуні виявлений велетенський вихор із діаметром понад 1000 км, який має назву «Велика Чорна Пляма»

**★** Завдання для спостереження

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

**i** Дізнайтеся, як за допомогою глобуса можна показати розміри планет Сонячної системи та відстані між ними.



### 3 Карликові планети. Пояс Койпера, хмара Оорта. Малі тіла Сонячної системи — астероїди, комети, метеороїди

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



Рис. 3.1. Плутон

Уперше цей новий клас тіл Сонячної системи визначили у серпні 2006 р. на Асамблеї Міжнародного Астрономічного Союзу (МАС) у Празі. Також тоді було змінено статус Плутона, який до цього вважали дев'ятою планетою Сонячної системи: відтоді він став першою планетою-карликом.

У 1930 р. в Ловеллській обсерваторії (США) Клайд Томбо відкрив невідому планету, що обертається навколо осі в зворотному напрямку. Вона отримала назву Плутон (рис. 3.1). У 1978 р. астрономи звернули увагу на те, що на світлині Плутона видно невеликий виступ на його дискуві. Продовжуючи спостереження, учені виявили у Плутона супутник, який отримав назву Харон. Деякі астрономи вважають Харон супутником, інші називають Плутон і Харон подвійною планетою (адже у них періоди обертання навколо осі й відносно один одного є однакові). Пізніше у Плутона були виявлені ще 4 супутники.

Аналізуючи орбіти комет, у 1951 р. астроном Дж. Койпер передбачив існування за Нептуном поясу астероїдів, який назвали **поясом Койпера**. Астрономічні спостереження за допомогою сучасних телескопів підтвердили цю гіпотезу у 1990 р., коли за Плутоном почали відкривати нові об'єкти.

З наукової точки зору стало очевидним, що Плутон більше схожий на них, ніж на решту планет Сонячної системи, причому один із виявлених об'єктів (Ерида) є навіть більшим за Плутон.

Нині до переліку найбільших і найвідоміших карликових планет відносять Ериду, Цереру, Плутон, Гаумеа, Макемаке (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Найбільші карликові планети у порівнянні із Землею

**Дізнайтеся більше, чому Плутон було вилучено з переліку класичних планет Сонячної системи.**



**Хмара Оорта.** Гіпотетична хмара Оорта — сферична хмара крижаних об'єктів, яка є джерелом довгоперіодичних комет. Передбачувана відстань до зовнішніх меж хмари Оорта від Сонця становить від 50 000 а. о. ( $\approx 1$  св. рік) до 100 000 а. о. (1,87 св. року). 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.

**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 (малі планети), комети, метеороїди (або метеоритні тіла), космічний пил і газ.

**Астероїди.** Перший астероїд (від грец. *asteroid* — зореподібний) відкрив італійський астроном Джузеппе Піацці. У січні 1801 р. він побачив слабку зорю, яка наступного вечора трохи перемістилася. Новій планеті дали назву Церера (рис. 3.3). За нею почали уважно спостерігати — вона виявилася невеликою, навіть меншою, ніж Місяць. Яке ж було здивування астрономів, коли за кілька років недалеко від Церери виявили ще одну малу планету — її назвали Палладою. Ці обидва космічні об'єкти, що оберталися навколо Сонця на відстані 2,8 а. о., назвали *малими планетами*, або *астероїдами*. 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. 3.4). 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.

Виявленим астероїдам надають 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 видатних особистостей. Українські астрономи також уславили нашу країну та видатних співвітчизників: навколо Сонця обертаються астероїди Київ, Полтава, Кобзар, Каменяр, Скворода, Довженко, Нарбут та ін.

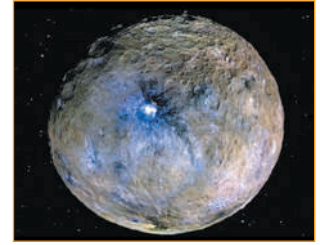


Рис. 3.3. Церера



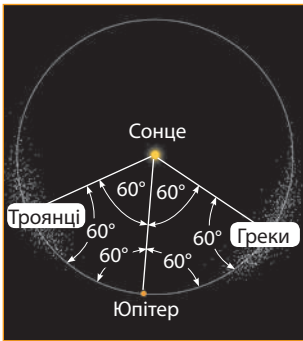
Рис. 3.4. Астероїд-433 «Ерос» має вигляд велетенського сідла завдовжки 33 км. Космічний апарат NEAR, здійснивши у 2001 р. посадку на поверхню астероїда в улоговині поблизу центра, виявив, що його сіра поверхня вкрита шаром реголіту і схожа на поверхню Місяця



Рис. 3.5. Комета Чурюмова-Герасименко



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.



Рис. 3.6 Комета Галлея

**Комети** отримали свою назву від грец. *cometos* — хвостата, чи 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.



Рис. 3.7. Комета Гейла-Боппа

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. 3.5, 3.6, 3.7). 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.

Найзнаменитішою є комета Галлея. Директор Гринвіцької обсерваторії Е. Галлей уперше визначив орбіту комети, яку було видно у 1682 р. Для цього він вивчив стародавні літописи і звернув увагу на те, що одна з комет з'являлася на небі з постійним періодом 76 років. За допомогою третього закону Кеплера Галлей визначив велику піввісь орбіти  $a = 17,94$  а. о. та передбачив її появу у 1758 р. Останній раз комету Галлея спостерігали у 1986 р., а наступний її приліт до Землі очікується у 2062 р.



Рис. 3.8. Ядро комети Галлея на відстані кількох тисяч кілометрів

Головна складова комети — її **ядро** (рис. 3.8). Відповідно до гіпотези відомого американського дослідника комет Ф. Л. Уїппла, 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.

Довжина хвоста комети іноді простягається на мільйони або сотні мільйонів кілометрів, причому напрямком 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.

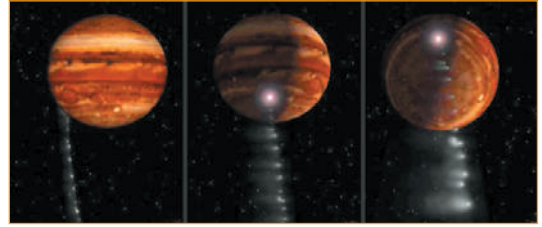


Рис. 3.9. Падіння уламків комети Шумейкерів-Леві на Юпітер

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. 3.9).

**Метеороїди.** Згідно з визначенням Міжнародної метеорної організації, метеороїди за розміром значно менші, ніж астероїди, але набагато більші за атом. Їхня назва у перекладі з грецької означає: «той, що перебуває у повітрі». Метеороїди утворюються внаслідок розпаду комет або подрібнення малих планет після 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 згорає 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 **зорею, що падає**. Сама частинка в цьому випадку називається **метеорним тілом**. Маса таких тіл вимірюється десятими долями грама, іноді — кількома грамами. Весь політ метеорного тіла може тривати від десятих долей секунди до кількох секунд.

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. 3.10). Коли метеоритне тіло з великою швидкістю летить в атмосфері, то через опір повітря воно нагрівається до

**Метеороїд** — невелике небесне тіло, що рухається в міжпланетному просторі

**Метеор** — видимий слід від метеороїда, що увійшов в атмосферу Землі

**Метеорит** — метеороїд, що впав на поверхню Землі



Рис. 3.10. Метеорит, знайдений в Антарктиці

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

### Сонячний вітер

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



Рис. 3.11. Аризонський кратер (США) утворився 10 000 років тому. Його діаметр — 1,2 км, глибина 200 м. Уламки метеорита знаходять на відстані 30 км від кратера



Рис. 3.12. Іллінецький метеоритний кратер

температури вище 10 000 °С 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.

**Метеоритне 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 метеоритні тіла, які летять назустріч руху Землі, коли швидкості боліда та Землі додаються. Швидкість метеоритного 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 метеоритної речовини маса Землі збільшується на 500 000 т на рік.

На Землі астрономи та геологи виявили більше сотні метеоритних кратерів різного діаметра (рис. 3.11), які називають **астроблемами** (від грец. *astrablen* — зоряні рани), але більшість кратерів не збереглися, адже протягом віків атмосферні процеси знищували сліди космічних катаклізмів. Велику кільцеву структуру метеоритного походження діаметром 7 км виявили в Україні в Іллінецькому районі (рис. 3.12) Вінницької області. Геологічні дослідження показують, що початкова маса метеорита перевищувала 10<sup>11</sup> кг.



**Дізнайтеся, як величезні метеорити змінювали життя на Землі.**



### Контрольні запитання

1. Розтлумачте поняття «карликова планета». Які карликові планети ви знаєте?
2. Розкажіть, які космічні об'єкти називають малими тілами.
3. Опишіть склад комети та особливості її руху навколо Сонця.
4. Яким чином комети пов'язані з метеорами й астероїдами?
5. Чим відрізняється метеор від метеорита?
6. Чи існує небезпека зіткнення Землі з астероїдом? Чому?
7. Яка природа походження «зоряних дощів»?



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



### Тема для дискусії

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



## 4 Дослідження тіл Сонячної системи за допомогою космічних апаратів. Гіпотези і теорії формування Сонячної системи

Появу космонавтики зумовили нові запити людства щодо дослідження космосу. Отже, головними завданнями для цієї галузі астрономії стали виведення штучного супутника Землі на її орбіту, політ людини в космічний простір, висадка людини на поверхню Місяця, освоєння планет, розташованих в межах Сонячної системи та за її межами, а також здійснення експедицій до далеких зір. Нині перебування людини в космосі вже не є дивиною, проте людство зробило лише кілька перших кроків тривалого та захоплюючого шляху, який належить подолати космонавтиці.

Значний внесок у створення наукових основ космонавтики, пілотованих космічних кораблів та автоматичних міжпланетних станцій зробили українські вчені. Зокрема, Ю. Кондратюк (О. Шаргей) у 1918 р. обчислив траєкторію польоту на Місяць. Пізніше вона була застосована американськими ученими під час підготовки космічних експедицій «Аполлон».

Початок космічної ери було покладено 4 жовтня 1957 р., коли відбувся запуск ШСЗ під керівництвом С. Корольова (рис. 4.1). Цей видатний конструктор перших у світі космічних кораблів і міжпланетних станцій народився, виріс і отримав освіту за фахом авіаційного конструктора в Україні (Київський політехнічний інститут). Корольов очолював створення АМС, які перші в історії космонавтики досягли Місяця, Венери та Марса. Але найбільшим досягненням на той час став перший пілотований політ космічного корабля «Восток», на якому 12 квітня 1961 року льотчик-космонавт Ю. Гагарін здійснив космічну подорож (рис. 4.2). Відтоді цю дату по всьому світу відзначають як Всесвітній день космонавтики, а Корольова називають батьком космонавтики.

**Космонавтика** — це комплексна науково-технічна галузь, що займається дослідженням та використанням космічного простору за допомогою автоматичних і пілотованих космічних апаратів



Рис. 4. 1. Сергій Корольов під час керування польотом космічного корабля «Восток»



Рис. 4. 2. Юрій Гагарін



Ще однією історичною подією на шляху підкорення людиною космічного простору стала славнозвісна місячна експедиція американських астронавтів Армстронга, Коллінза й Олдріна, що тривала 16–24 липня 1969 р.

Протягом ХХ ст. у розвиток дослідження космічного простору значний внесок зробили космонавти-українці: В. Ляхов, Г. Береговий, В. Жолобов, Л. Кизим, А. Левченко, П. Попович, Г. Шонін, А. Арцебарський, Ю. Каденюк (перший космонавт незалежної України).

 <p>Павло Попович</p>	<p>Здійснив польоти у складі екіпажів космічних кораблів «Восток-4» (1962 р.), «Союз-14» (1974 р.), був командиром корабля). Під час експедиції на «Восток-4» провів перші експерименти з радіозв'язку</p>
 <p>Володимир Ляхов</p>	<p>Здійснив польоти у складі екіпажів космічних кораблів «Союз-32» (1979 р.), «Союз Т-9» (1983 р.), «Союз ТМ-6» (1988 р.). Під час експедиції працював на орбітальних станціях «Салют-6» та «Салют-7»</p>
 <p>Леонід Кизим</p>	<p>Здійснив польоти у складі екіпажів космічних кораблів «Союз Т-3» (1980 р.), «Союз Т-10» (1984 р.), «Союз Т-15» (1986 р.). Під час третьої експедиції працював на орбітальних станціях «Салют-7» та «Мир»</p>
 <p>Анатолій Арцебарський</p>	<p>Здійснив політ у складі екіпажу космічного корабля «Мир» (1991 р.). Під час експедиції здійснив 6 виходів у відкритий космос</p>
 <p>Юрій Каденюк</p>	<p>Здійснив політ у складі екіпажу американського шаттла «Коламбія» (1997 р.). Під час експедиції провів ряд біологічних експериментів щодо впливу стану невагомості на рослини</p>

Орбітальні станції відкрили людству нові можливості у дослідженні космічного простору. Вони стали стаціонарними науковими базами, оснащеними лабораторіями для проведення різних експериментів,

спостережень і дослідів. Створення на орбітальній станції комфортальних умов для проживання дозволило людині перебувати в космосі тривалий час — від кількох днів до кількох місяців.

Уперше запуск гігантських орбітальних станцій — радянської «Салют» та американської «Скайлеб» відбулося в 1970-ті роки. Одним із головних завдань, які ставили перед собою конструктори цих станцій, було дослідити, як впливає на організм людини тривале перебування в космосі.

У 1986 р. на навколосеземну орбіту була виведена станція «Мир» (рис. 4.3.). Протягом років існування на ній було проведено чимало наукових програм.

Починаючи з 1998 р. космічний простір активно досліджують учні різних держав, працюючи на Міжнародній космічній станції (МКС) (рис. 4.4.). Цю пілотовану орбітальну станцію використовують як багатоцільовий космічний дослідницький комплекс. МКС — спільний міжнародний проект, у якому беруть участь 14 держав — США, Росія, Японія, Канада та країни, що входять до Європейського космічного агентства. Основною метою створення станції стала можливість проведення експериментів, які потребують наявності унікальних умов космічного польоту. Головними галузями досліджень на МКС є біологія, фізика, астрономія, космологія та метеорологія.

Метою, яку ставить перед собою міжнародна космонавтика, є освоєння найближчим часом Марса. Тож нині розробляється відповідна програма. Під час міжпланетних польотів космічний апарат (КА) буде летіти по еліпсу, у фокусі якого перебуває Сонце. Найвигідніша траєкторія з найменшою витратою енергії пролягатиме по еліпсу, який є дотичним до орбіт Землі й Марса. Точки старту та прильоту лежать на одній прямій по різні боки від Сонця (рис. 4.5). Такий політ в один бік триватиме понад 8 місяців. Космонавтам, які в недалекому майбутньому відвідають Марс, треба врахувати, що одразу повернутися на Землю вони не зможуть. Справа в тому, що наша планета рухається по орбіті швидше, ніж Марс, і через 8 місяців його випередить. Для повернення космонавтам доведеться чекати на Марсі ще 8 місяців, поки Земля знову займе вигідне положення. Тобто загальна тривалість експедиції на Марс становитиме близько двох років.



Рис. 4. 3. Орбітальна космічна станція «Мир»



Рис. 4. 4. Міжнародна космічна станція (МКС)

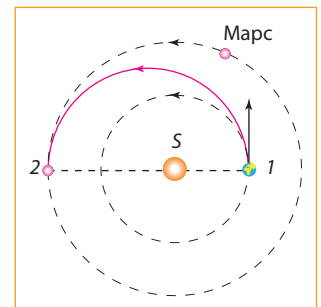


Рис. 4.5 Траєкторія перельоту із Землі на Марс

**Етапи дослідження Сонячної системи  
за допомогою космічних апаратів**

Рік	Подія
1957	Запуск штучного супутника 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 «Луна-2» не виявила 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 осевого обертання Венери (виявилось зворотним), температура і фізичні характеристики поверхні планет
1965	Відкриття реліктового випромінювання. Перші фотографії поверхні Марса («Марінер-4»)
1967	Дослідження атмосфери Венери з апарату, що спускається («Венера-4»)
1969	Висадка «Аполлона-11» на Місяць. Перший вихід людини на поверхню Місяця (США)
1971	Перша м'яка посадка на Марс («Марс-3»)
1975	Перша фотопанорама поверхні Венери («Венера-9», «Венера-10»)
1975	Фотографії Фобоса, Деймоса і поверхні Марса («Вікінг-1», «Вікінг-2»)
1977	Відкриття кілець Урана. Запуск «Вояджера-2», який передав безцінну інформацію про зовнішні дані планет Юпітера, Сатурна (1981), Урана, Нептуна (1989)
1978	Відкриття Харона, супутника Плутона (Дж. У. Крісті, США)
1979	Виявлено кільця у Юпітера
1986	Дослідження комети Галлея АМС «Вега» і «Джотто». У Урана виявлено 10 нових супутників
1990	Запуск космічного телескопа «Габбл»
1995	Автоматичний космічний апарат «Галілео» досяг Юпітера і вперше взяв проби атмосфери

Рік	Подія
1998	Початок функціонування першої багатонаціональної космічної станції. Найбільший на сьогоднішній день штучний об'єкт, побудований в космосі
2001	Перша посадка на астероїд. Астероїд Ерос, космічний апарат NEAR Shoemaker
2003	Посадка на Марс. Марсохід досліджував структуру ґрунту планети
2004	Автоматичний космічний апарат «Кассіні» досяг орбіти Сатурна
2005	Перша м'яка посадка на Титан. Космічний апарат «Кассіні»
2007	Перша успішна посадка в полярному регіоні Марса. Апарат знайшов воду в ґрунті планети
2009	Запуск місії Kepler. Перший космічний телескоп, призначений для пошуку екзопланет, подібних до Землі
2014	Перший штучний зонд для планової і м'якої посадки на комету. Зонд Розетта, комета Чурюмова-Герасименко
2014	Міжпланетний космічний зонд «Нові горизонти» досяг орбіти Плутона
2015	Вперше у космосі було вирощено їжу (салат)
2019	Перша м'яка посадка на зворотній стороні Місяця

**Гіпотези і теорії формування Сонячної системи.** З найдавніших теорій походження Сонячної системи відоме вчення Рене Декарта. Його космогонічна гіпотеза — теорія вихорів — протягом певного часу конкурувала з теорією всесвітнього тяжіння. Він вважав, що Сонце, як і інші зорі, оточене ефірною речовиною, яка 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 мчать навколо Сонця планети. Проте Декарт не зміг сформулювати закони планетних рухів, тому його гіпотеза не отримала подальшого розвитку. Тільки з другої половини XVIII ст. пропонуються еволюційні космогонічні гіпотези такими вченими, як Бюффон, Кант, Лаплас, Рош, Мейєр, Лоньєр, Бікертон.

Зараз загальноприйнятою є гіпотеза, що формування Сонячної системи почалося близько 4,6 млрд років тому з гравітаційного стискування невеликої частини гігантської міжзоряної газопилової хмари. Ця початкова хмара, ймовірно, сягала за розмірами кількох світлових років і була прародичем для кількох зір.

У процесі стискування розміри газопилової хмари зменшувалися і через закон збереження моменту імпульсу зростала швидкість обертання хмари. Центр, де зібралася більша частина маси, ставав усе гарячішим у порівнянні з навколишнім диском. Через обертання хмари швидкості її стискування паралельно і перпендикулярно до осі обертання відрізнялися, що призвело до ущільнення хмари, формування характерного протопланетного диска діаметром близько 200 а. о. і гарячої, щільної протозорі в центрі.



**Дізнайтеся більше про гіпотези і теорії формування Сонячної системи.**



**Контрольні запитання і завдання**

1. Коли відбувся перший політ людини у відкритий космос?
2. Який внесок зробили українські вчені у розвиток космонавтики?
3. Скільки мінімально має тривати політ на Марс?
4. Коли і як утворилася Сонячна система згідно із загальноприйнятою теорією?
5. Скористайтеся додатковими джерелами інформації. Знайдіть відомості про гіпотезу формування Сонячної системи В. Фесенкова і підготуйте стислу доповідь.



**Виконайте тестові завдання із автоматичною перевіркою на сайті «Інтерактивне навчання».**



**Висновки.** Планети земної групи мають порівняно невеликі розміри (їхня загальна маса не перевищує 0,5% маси всіх планет Сонячної системи) і являють собою тверді тіла з високою середньою густиною.

Усі планети земної групи мають схожу будову та складаються з ядра, мантії, твердої кори. Для їхніх поверхонь є характерними кратери, гори, вулкани.

Планети-гіганти за хімічним складом нагадують зорі, не мають твердої поверхні, тому на них неможливо посадити космічний корабель. Під холодними хмарами вони мають гарячі надра, температура яких сягає десятків тисяч градусів.

Астероїди, комети, метеороїди є залишками тієї величезної хмари космічної речовини, з якої утворилися Сонце і великі планети.

Основний пояс астероїдів розташовується між Марсом та Юпітером, але за орбітою Нептуна існують ще мільйони планетоподібних тіл (пояс Койпера) та мільйони кометних ядер (хмара Оорта).

Починаючи з 1957 р., людство почало активно досліджувати Сонячну систему за допомогою космічних апаратів. Багато українських учених взяли участь у розвитку світової космонавтики.

## Тема 4.

# Сонце — найближча зоря

### 1 Фізичні характеристики Сонця. Будова Сонця та джерела його енергії

**Сонце** — одна з мільярдів зір нашої Галактики, центральне світило в Сонячній системі, вік якого близько 5 млрд років. Воно дає Землі тепло і світло, що підтримує життя на нашій планеті. Сонце (рис. 1.1) розташовується на близькій відстані від Землі — усього 150 млн км, тому ми бачимо його у формі диска. Вивчення Сонця має дуже важливе практичне значення для розвитку земної цивілізації.

**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.

**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.

**Будова Сонця.** Сонце — величезна розжарена плазмова куля, що має складну будову своїх зовнішніх і внутрішніх шарів. У результаті фізичних процесів, що протікають в надрах Сонця, безперервно виділяється енергія, яка передається зовнішнім шарам і розподіляється на все більшу площу. Внаслідок цього з наближенням до поверхні температура сонячної плазми поступово знижується. Залежно від температури та характеру процесів, що визначаються цією температурою,



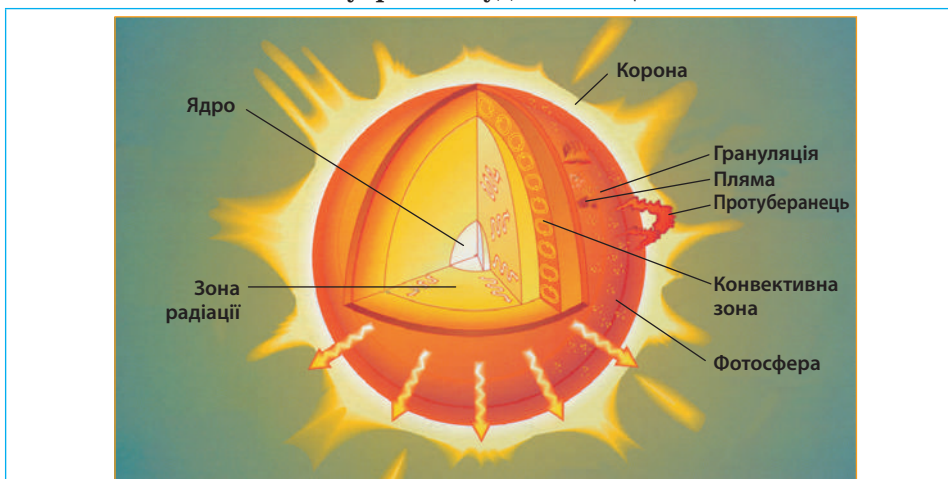
Рис. 1.1. Сонце

**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  $q = 1,4 \text{ кВт/м}^2$

**Ядро** — центральні області Сонця, де протікають термоядерні реакції

Сонце умовно розділяють на такі області з різним фізичним станом речовини та розподілом енергії: ядро, зона радіації, конвективна зона, фотосфера.

### Внутрішня будова 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

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

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

Центральна область (*ядро*) займає відносно невеликий об'єм, але завдяки великій густині, яка збільшується до центру, 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. 1.3). 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. 1.4). Над фотосферою розташована **хромосфера** (від грец. *chromos sphaera* — кольорова сфера), де атомами різних речовин утворюються темні лінії поглинання у спектрі Сонця (рис. 1.5). Загальна товщина хромосфери становить 10–15 тис. км, а температура в її верхніх шарах сягає 100 000 К.

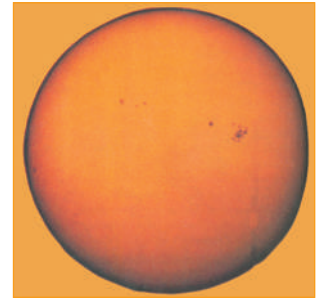


Рис. 1.3. Фотосфера — найглибший шар атмосфери Сонця, який випромінює світло

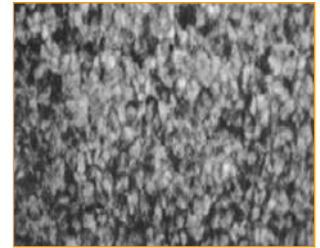


Рис. 1.4. Гранули у фотосфері мають діаметр 1000 км — це прояв конвекції



Рис. 1.5. Спектр Сонця. Темні лінії поглинання утворюються у хромосфері

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 отримуємо, 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 обігріваючи Землю та інші тіла Сонячної системи.





### Контрольні запитання

1. Що таке сонячна стала?
2. Що розуміють під світністю сонця? Чому вона дорівнює?
3. Опишіть внутрішню будову Сонця.
4. На які зони умовно поділені надра Сонця? Які процеси відбуваються в кожній із них?



### Реєстрація сонячних нейтрино

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 внутрішньозіркової 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.

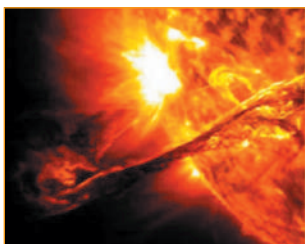


Рис. 2.1. Зовнішня сонячна активність

Якби нам вдалося «зловити» сонячні нейтрино, ми в певному сенсі «побачили б», що відбувається в центрі Сонця. Але спостерігати їх можна тільки непрямым шляхом (рис. 2.1), 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 ізотопу 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.

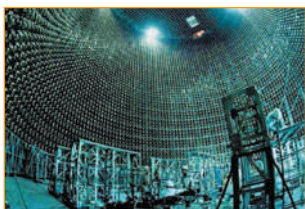


Рис. 2.2. Підземний детектор нейтрино

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. 2.2). 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.

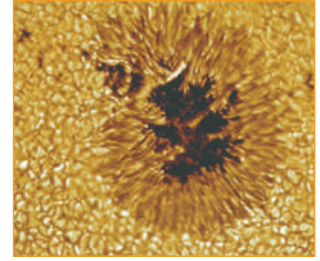


Рис. 3.1. Сонячна пляма — це область фотосфери, де знижується температура, адже сильне магнітне поле у плямі зупиняє конвекцію



### Контрольні запитання

1. Що таке сонячний нейтрино?
2. Як можна зареєструвати сонячний нейтрино?



### 3 Прояви сонячної активності та їхній вплив на Землю

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. 3.1, 3.2). 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.

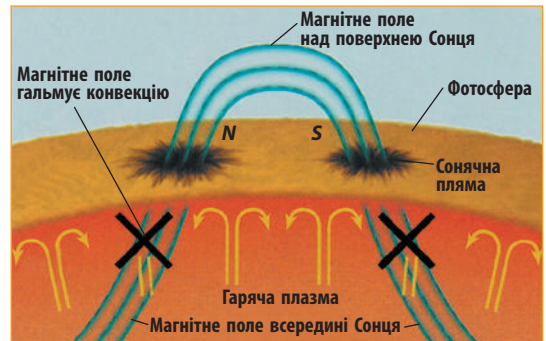


Рис. 3.2. Плями з'єднані між собою попарно, як полюси в магніті, кожна пляма має свою магнітну полярність

Ще одна загадка активності Сонця захована в її періодичності — цикл зміни кількості плям повторюється приблизно через кожні 11 років (рис. 3.3).

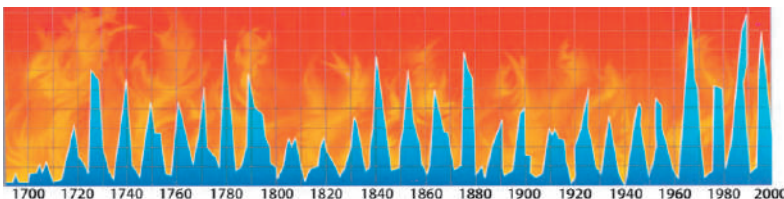


Рис. 3.3. Зміна сонячної активності визначається кількістю плям та їхньою площею



### 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.



Рис. 3.4. Сонце і Земля

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

**Вплив сонячної активності на Землю** (рис. 3.4). 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. Не слід плутати спалахи з протуберанцями. **Протуберанці** (від лат. *protuberans* — здуваюсь) існують постійно — це щільні холодні хмари водню, які піднімаються в корону і рухаються вздовж магнітних силових ліній. Завдяки протуберанцям відбувається обмін речовиною між хромосферою і короною.

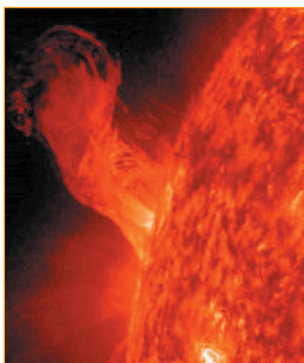


Рис. 3.5. Хромосферний спалах на Сонці

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 1021–1025 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). Під час спалахів у міжпланетний простір також викидаються потоки заряджених частинок, які летять зі швидкістю до 20 000 км/с (рис. 3.5). 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.



Дізнайтеся більше про Сонце та прояви його активності.



Контрольні запитання

1. Яке явище називають сонячною активністю? З якою циклічністю вона відбувається?



2. Назвіть процеси на Сонці, які можуть суттєво впливати на стан земної атмосфери.
3. Що є джерелом енергії Сонця?
4. Обчисліть, яку сонячну енергію зміг би поглинути за 1 год дах вашого будинку опівдні.



### Завдання для спостереження

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

Підрахуйте загальну кількість сонячних плям та намалуйте 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.



**Виконайте тестові завдання із автоматичною перевіркою на сайті «Інтерактивне навчання».**



**Висновки.** 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, атмосфера.

Сонячний нейтрино є видом випромінювання, який приходить до земного спостерігача з найглибших надр Сонця і несе в собі інформацію про процеси, що там відбуваються. Для реєстрації нейтрино використовуються підземні лабораторії.

### Хромосферний

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

### Магнітна буря

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

# Тема 5. Зорі. Еволюція зір

## 1 Зорі та їх класифікація

**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.

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**.

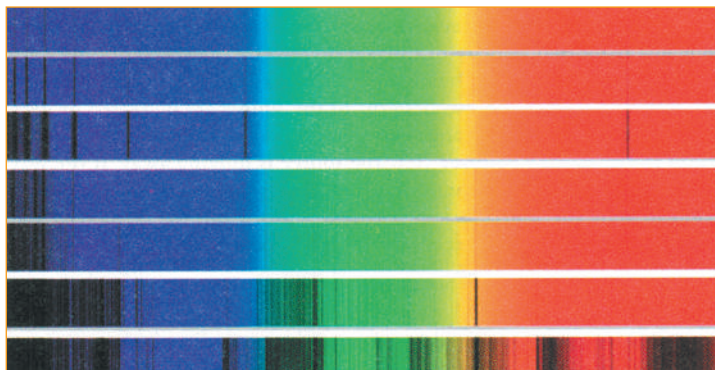
Відмінності в спектрах зір визначаються передусім відмінностями температур. За температурою зорі розділили на 7 спектральних класів (рис. 1.1), які позначили літерами латинської абетки: *O*, *B*, *A*, *F*, *G*, *K*, *M*.

Найвищу температуру на поверхні мають сині зорі спектрально-го класу *O*, які випромінюють найбільше енергії у синій частині спектра (рис. 1.2). Кожний спектральний клас поділяється на 10 підкласів: *A0*, *A1*... *A9*.

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 — гідроген та гелій, а основна відмінність різних спектральних класів обумовлена температурою зоряних фотосфер.

**Вимірювання 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 вдавалося. Для вимірювання відстаней до зір астрономи змушені визначати річні

Рис. 1.1. 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 К, жовтий колір і належить до спектрального класу *G*



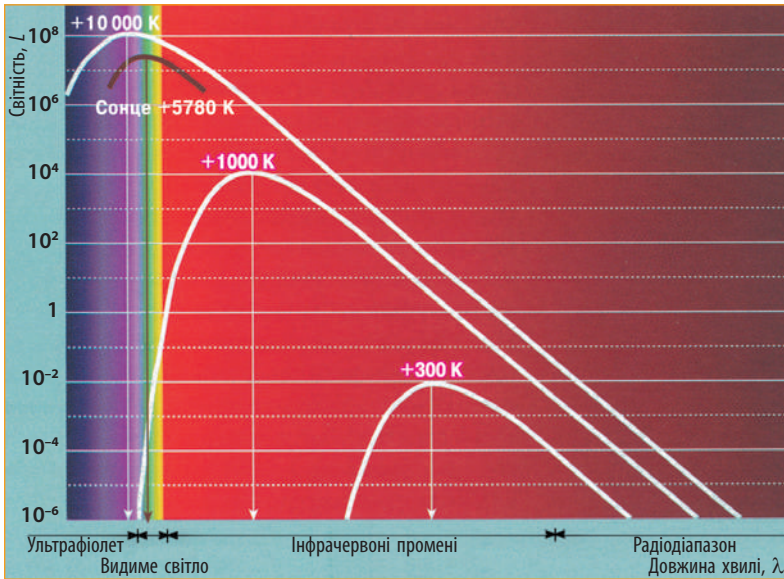


Рис. 1.2. Інтенсивність випромінювання космічних тіл із різною температурою. Гарячі зорі випромінюють більше енергії у синій частині спектра, холодні — у червоній. Планети випромінюють енергію переважно в інфрачервоній частині спектра

паралакси, які пов'язані з орбітальним рухом Землі навколо Сонця (рис. 1.3). 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 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

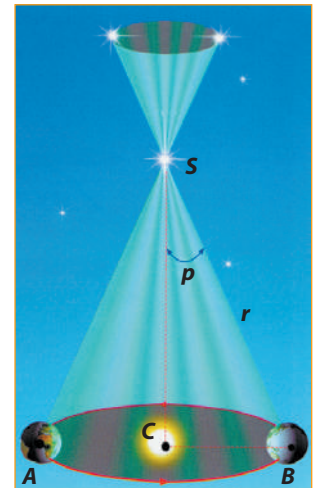


Рис. 1.3. Річний паралакс визначає кут, під яким було б видно від зорі велику піввісь земної орбіти (1 а. о.) в перпендикулярному до променя зору напрямку

Відстань від Землі до зорі визначається з прямокутного трикутника *CBS*:

$$r = \frac{BC}{\sin p} = \frac{1 \text{ а. о.}}{\sin p} \quad (1.4)$$

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).

$$1 \text{ пк} = \frac{1 \text{ а. о.}}{\sin 1''} = 206\,265 \text{ а. о.} \approx 3,08 \cdot 10^{13} \text{ км} \quad (1.5)$$

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

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

$$r \approx 1/p'' \text{ пк} \quad (1.6)$$

**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  $r_0 = 10 \text{ пк}$ , 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:

$$M = m + 5 - 5 \lg r \quad (1.7)$$

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

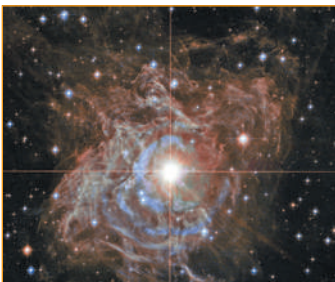
$$L = \frac{E}{E_{\odot}} = 10^{0,4(5-M)} \quad (1.8)$$

**Абсолютна зоряна**

**величина  $M$**  визначає яскравість, яку мала б зоря на стандартній відстані 10 пк

**Світність** зорі визначає потужність випромінювання зорі

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



Яскрава зоря Південної півкулі RS Корми

Світність  $L$  деяких зір

Зоря	$L$
Сонце	1
Денеб	90 000
Рігель	70 000
Бетельгейзе	25 000
Полярна	17 600

Зоря	$L$
Капелла	150
Арктур	102
Вега	54
Сіріус	23
Альтаір	10

**Радіус зір.** Для визначення радіуса зорі не можна використати 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.

Для визначення радіуса зір астрономи використовують закон Стефана-Больцмана:

$$Q = \sigma \cdot T^4, \quad (1.9)$$

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:

$$E = 4\pi R^2 \cdot Q = 4\pi R^2 \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (1.10)$$

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

$$E_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\odot}^4 \quad (1.11)$$

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

$$\frac{R}{R_{\odot}} = (L)^{0,5} \frac{T_{\odot}^2}{T^2}, \quad (1.12)$$

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.

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.

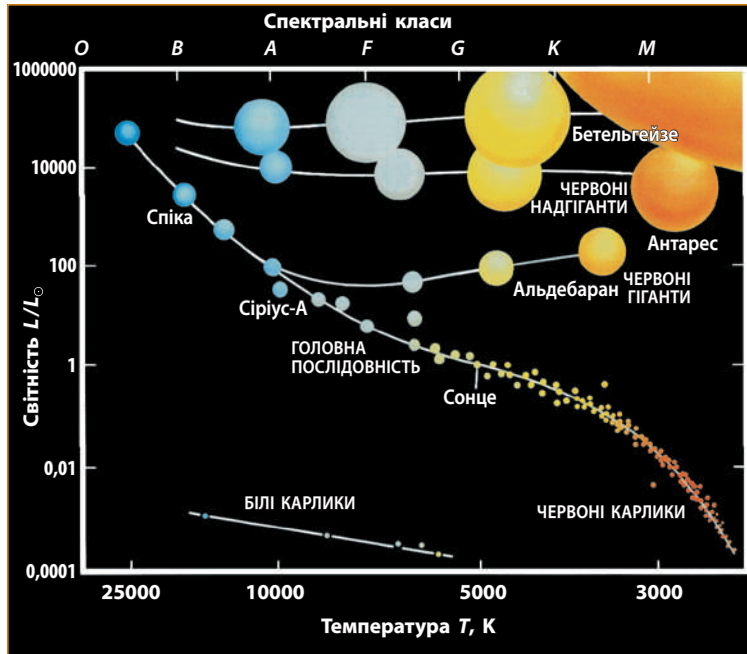
**Білі карлики** — зорі, що мають радіус у сотні разів менший від сонячного і густину в мільйони разів більшу за щільність води

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

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



Рис. 1.13. Діаграма Герцшпрунга–Рассела. По осі абсцис позначена температура зір, по осі ординат — світність. Сонце має температуру 5780 К і світність 1. Холодніші зорі на діаграмі розташовані праворуч (червоного кольору), а більш гарячі — ліворуч (синього кольору). Зорі, що випромінюють більше енергії, розташовані вище Сонця, а зорі-карлики — нижче. Більшість зір, до яких належить і Сонце, розташовані у вузькій смузі, яку називають **головною послідовністю зір**



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**. Вона має вигляд графіка, на якому по осі абсцис відзначають спектральний клас, або температуру зорі, а по осі ординат — світність (рис. 1.13).

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 розташовані у вузькій смузі, яку називають **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. 1.14) мають масу в десятки разів меншу, ніж сонячна.

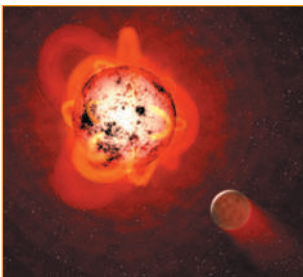


Рис. 1.14. Червоний карлик

Окремо від головної послідовності на діаграмі розташовуються білі карлики (ліворуч унизу) та червоні надгіганти (праворуч уверху), які мають приблизно однакову масу, але значно відрізняються за розмірами (рис. 1.15). Гіганти спектрального класу  $M$  мають майже таку саму масу, як білі карлики (рис. 1.16) спектрального класу  $B$ , тому суттєво відрізняється середня густина цих зір. Наприклад, радіус червоного надгіганта Бетельгейзе у 400 разів більший, ніж радіус Сонця, але маса цих зір майже однакова, тому червоні гіганти спектрального класу  $M$  мають середню густину в мільйони разів меншу, ніж густина земної атмосфери. Типовим представником білих карликів є супутник Сіріуса, радіус якого майже такий, як радіус Землі, а густина має фантастичну величину  $31 \cdot 0,6 \text{ г/см}^3$ , тобто наперсток речовини білого карлика важив би на Землі 10 000 Н. Ще більшу густину мають нейтронні зорі та чорні діри.

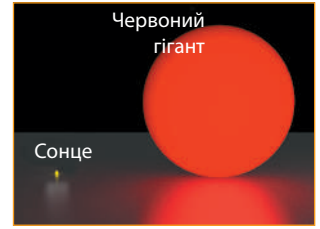


Рис. 1.15. Порівняльні розміри Сонця і червоного гіганта

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.



Рис. 1.16. Білий карлик

**і** Дізнайтеся більше про зорі-надгіганти.

**?** Контрольні запитання

1. За яким принципом проводять спектральну класифікацію зір?
2. Яка залежність існує між світністю зорі та її абсолютною зоряною величиною?
3. У скільки разів відрізняються світності двох зір, однакових за кольором, якщо радіус однієї з них більший у 20 разів?

**★** Завдання для спостереження

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





## Звичайні зорі. Подвійні зорі. Фізично-змінні зорі. Планетні системи інших зір



Зоряне скупчення, зафіксоване телескопом «Габбл»

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, у той час як тиск нагрітих газів діє в протилежному напрямку — від центра (рис. 2.1).

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 полови-

на 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 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

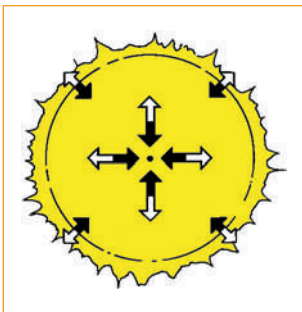


Рис. 2.1. Зоря в стані рівноваги: зовнішні сили гравітації врівноважені силами газового тиску

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. 2.2).

**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, 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 *ZZ*). 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* Лебедя (рис. 2.4).

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.

Окремі типи змінних зір називають за зорею-прототипом. Змінні зорі типу  $\delta$  Цефея

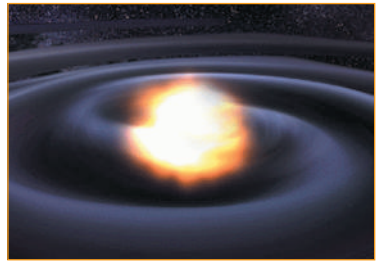
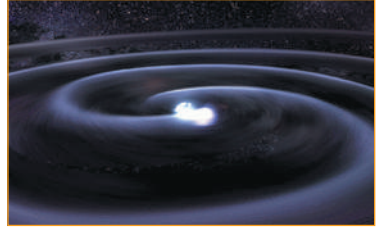
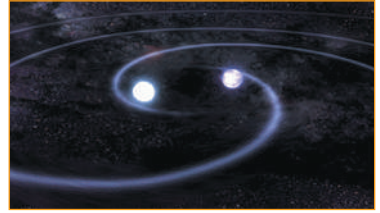


Рис. 2.2. Подвійні зорі. Взаємне тяжіння та подальше злиття

**Цефеїди** — великий клас пульсуючих змінних зір, зміни блиску яких зумовлюють їхнє розташування у смузі нестабільності на діаграмі Герцшпрунга-Рассела

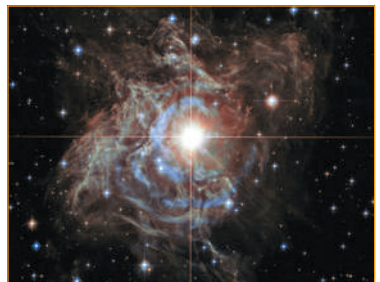


Рис. 2.3. Цефеїди

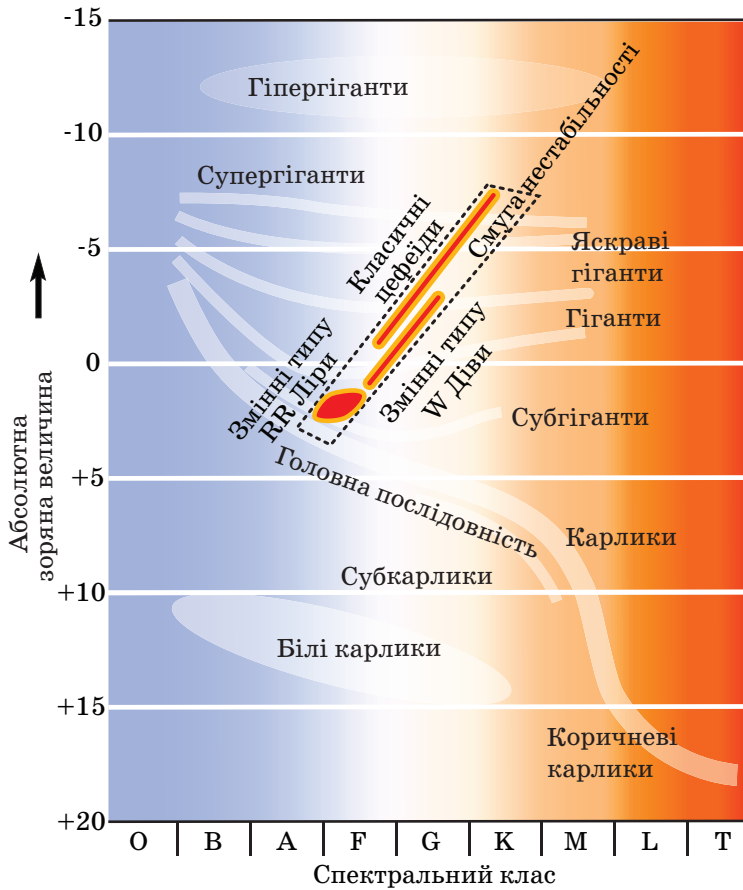


Рис. 2.4. Розташування деяких типів змінних зір на діаграмі Герцшпрунга-Рассела

називаються **цефеїдами** (рис. 2.3), зорі типу *RR Ліри* — **ліридами**, зорі типу *W Діви* — **віргінідами**. Тривалий 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 притягання 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.

## 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

**Планетні системи інших зір.** Найбільш відому на сьогодні планетну систему (не враховуючи Сонячну систему) має зоря *HD 10 180* (рис. 2.5). 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 присутності ще двох планет потрібні додаткові спостереження.

Наша планетна система — це чотири кам'янисті планети (одна з них Земля) у внутрішній частині Сонячної системи і чотири газові планети у зовнішній.

А як відкривають нові планети або планетні системи? Як відомо, за межами Сонячної системи відкрито вже чимало **екзопланет** (такий термін вживають щодо планет, які не належать до складу Сонячної системи). Ці планети обертаються навколо зір, які розташовані від нас на різній відстані.

Першу екзопланету було відкрито в Женевській обсерваторії у 1995 р. У наш час астрономами відкрито понад 4000 екзопланет. Існують такі методи пошуку екзопланет: астрометричний, метод перехідної фотометрії, спектрометричне визначення радіальної швидкості зорі, гравітаційне мікролінзування.

Головний напрямок пошуку екзопланет — це пошук планет земного типу. На вирішення цієї задачі спрямовані різні космічні проекти. Серед відомих можна назвати проекти **KEPLER (NASA)** — космічний телескоп Шмідта, здатний одночасно відслідковувати 100 тис. зір;



Рис. 2.5. Художнє уявлення планетної системи *HD 10 180*



Рис. 2.6. Комп'ютерна модель Сонячної системи

COROT (ESA) спеціалізований 30-см космічний телескоп, 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.



**Дізнайтеся про інопланетну систему Глізе 581.**



**Контрольні запитання**

1. Від чого залежить період гравітаційної рівноваги зорі?
2. Які бувають типи змінних зір?
3. До якого класу змінних зір належать цефеїди?
4. Знайдіть в мережі Інтернет інформацію про один із методів пошуку екзопланет. Підготуйте стисле повідомлення.



**Тема для дискусії**

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



**Еволюція зір. Білі карлики. Нейтронні зорі. Чорні діри**

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 світлів (рис. 3.1). Наприклад, такі своєрідні «ясла» новонароджених зір можна побачити в сузір'ї Оріон (рис. 3.2) та зоряному скупченні Плеяди (рис. 3.3).

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 стискування 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.

**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 туманність (рис. 3.4). 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

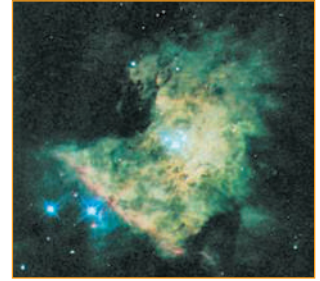


Рис. 3.1. Зародження зорі



Рис. 3.2. Туманність у сузір'ї Оріон можна побачити навіть неозброєним оком. Відстань до неї близько 1000 св. років



Рис. 3.3. Туманність у зоряному скупченні Плеяди, з якої утворюються нові зорі

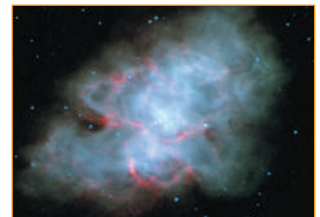


Рис. 3.4. Крабоподібна туманність, яка утворилася після спалаху Надвної у 1054 р.



**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 діб досягає ( $10^8$ – $10^{10}$ )  $L_{\odot}$



Рис. 3.5. Спалах Наднової у сусідній галактиці Велика Магелланова Хмара (1987 р.)

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 Тільця є залишком такої Наднової. Вірніше, якщо врахувати, що ця туманність розміщується на відстані 6500 св. років від Землі, то спалах Наднової стався ще 7500 р. тому.

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. 3.5). 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. 3.6).

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



### 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 стискуванню — потенціальна

енергія зорі перетворюється на тепло. При стискуванні 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 **пульсарами**. Один із пульсарів було виявлено навіть у центрі знаменитої Крабоподібної туманності.

**Нейтронні зорі.** Сучасні теоретичні розрахунки показують, що пульсари і нейтронні зорі — 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 швидке обертання свого тіла навколо осі. Спортсмени спочатку починають повільно обертатися навколо

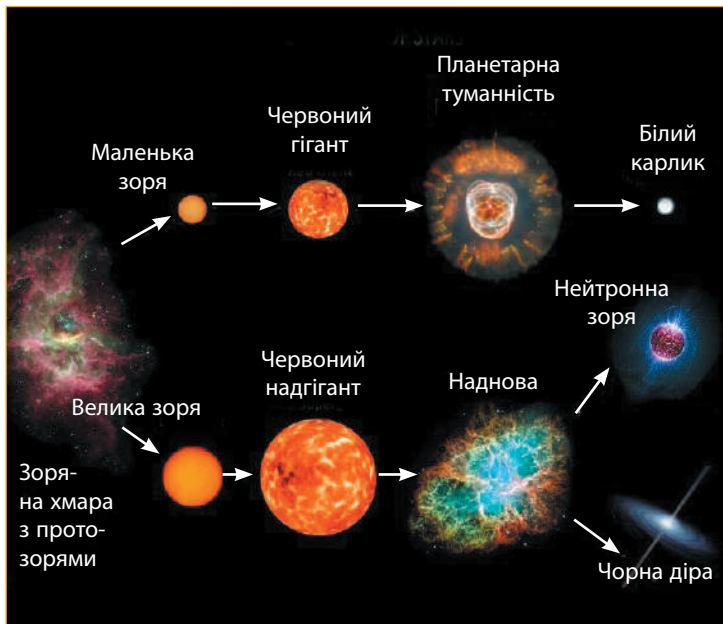


Рис. 3.6. Еволюція зір

**Білий карлик** — зоря низької світності з масою, порівняною з масою Сонця, однак з радіусом у  $\approx 100$  разів меншим від радіуса Сонця і з високою ефективною температурою

**Пульсар** — галактичний об'єкт, джерело чіткого періодичного імпульсного випромінювання

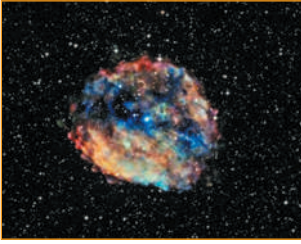


Рис. 3.7. Туманність Кассіопеї

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 стискуванні настільки зростає напруженість магнітного поля зорі, що вона «випускає» випромінювання тільки через магнітні полюси у вигляді своєрідних «прожекторів», які описують у космосі величезний конус (рис. 3.7). Можливо, що в Галактиці існують мільйони нейтронних зір, але зареєстровано понад 2,5 тис. у вигляді **пульсарів** (рис. 3.8), адже більшість таких «прожекторів» не спрямовані на Землю.

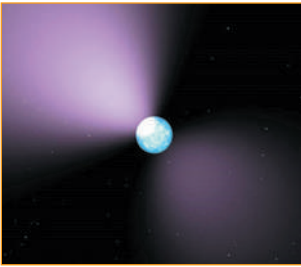


Рис. 3.7. Художнє зображення пульсара



### Для допитливих

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

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

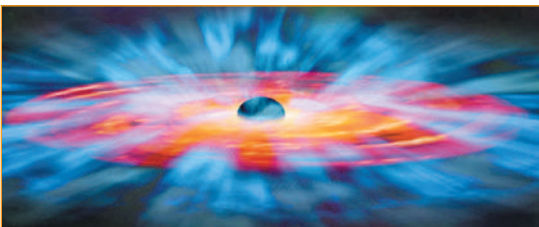



Рис. 3.9. Художнє зображення чорної діри



Рис. 3.10. Художнє зображення космічного корабля, що наближається до чорної діри

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.

**Чорні діри.** Ці космічні об'єкти утворюються на останній стадії еволюції зір із масою, більшою ніж  $3M$ . Така дивна назва пов'язана з тим, що ці тіла мають бути невидимі, оскільки не випускають за свої межі світло. З іншого боку, такі об'єкти втягують все з навколишнього простору (рис. 3.9). Якщо космічний корабель потрапить на межу чорної діри, то вирватися з її поля тяжіння він не зможе, адже друга космічна швидкість біля її поверхні дорівнює швидкості світла  $300\,000$  км/с (рис. 3.10).

 Дізнайтеся більше про відкриття Наднової німецьким астрономом XVI ст. Тіхо Браге.




 Контрольні запитання

1. Як відбувається еволюція зір?
2. Чим відрізняється Нова зоря від Наднової?
3. Що може спричинити вибух Нових і Наднових зір?
4. Що таке білий карлик і чому він отримав таку назву?
5. Як улаштовані нейтронні зорі?
6. Який об'єкт називають чорною дірою? Які властивості має чорна діра?

 Виконайте тестові завдання із автоматичною перевіркою на сайті «Інтерактивне навчання».



 **Висновки.** У космосі постійно відбуваються народження молодих зір із газопилових туманностей та вибухи старих, коли утворюються нові туманності. Спостерігається своєрідний кругообіг речовини: зорі — спалах зір — туманність — і знову народження молодих зір. Чорна діра не випускає з поля тяжіння ані елементарні частинки, ані електромагнітні хвилі.

Фізичні характеристики зір: світність, температура, радіус, густина — суттєво різняться між собою. Між цими характеристиками існує взаємозв'язок, який відображає еволюційний шлях зорі. Сонце за своїми параметрами належить до жовтих зір, які перебувають у стані рівноваги і не змінюють своїх розмірів протягом мільярдів років.

Зоря в стані гравітаційної рівноваги не змінює своїх параметрів, адже інтенсивне випромінювання енергії з поверхні компенсується джерелом енергії в надрах — термоядерними реакціями.

## Українець, який перевершив Галлея



**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.

Іще 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. 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 визнавали. 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.



# Тема 6. Наша Галактика

1

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



Рис. 1.1. Молочний, або Чумацький Шлях, до якого входить наша Сонячна система. На нічному небі ми бачимо його як сріблясту смугу

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

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



Рис. 1.2. Центр Чумацького Шляху. Знімок з телескопа «Спітцер» в інфрачервоному спектрі

**Молочний Шлях. Будова Галактики. Зоряні скупчення та асоціації. Туманності.** 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 на небі 88 сузір'їв. Насправді зір набагато більше, але від далеких світил надходить так мало світла, що їх можна спостерігати тільки в телескоп. Великі скупчення зір, що утримуються силою тяжіння, називають **галактиками**.

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. 1.1). Наша Галактика — це величезна система, у якій обертаються навколо центра (рис. 1.2) 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.

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. 1.3), які наближаються одна до одної зі швидкістю близько 500 тис. км/год, врешті-решт об'єднаються. Це станеться приблизно за 2 млрд років.

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.



Рис. 1.3. Комп'ютерна модель зближення Чумацького Шляху та галактики Андромеди

### Параметри нашої Галактики



Галактику часто зображують як зоряну систему у вигляді велетенського млинця, у якому зорі рухаються в одній площині. Насправді Галактика має сферичну форму з діаметром майже 300 000 св. років, але більшість зір великої світності розміщуються приблизно в одній площині, тому їх видно на небі як туманну світлу смугу, яку в Україні називають 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 смугі Молочного Шляху. У цій площині розташована значна частина газопилових туманностей, з яких утворюються нові покоління зір і планет.





Рис. 1.4. Газопилова туманність Трифід у сузір'ї Стрільця

Усі ці об'єкти формують так звану *плоску складову Галактики*, до якої входить і Сонячна система (рис. 1.4). 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.

**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.

**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, особливою випромінювання

#### 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
Лисиця	M27	Планетарна	Північна	У телескоп

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

**Місце Сонячної системи в Галактиці.** Сонце розташоване поблизу площини Галактики на відстані 25 000 св. років від її ядра (рис. 1.5). 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 відмінність у поведінці об'єктів у сферичній та плоскій складових Галактики. Якщо зорі 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.

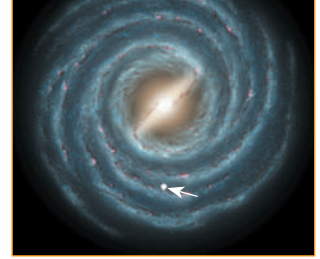


Рис. 1.5 Місце розташування Сонячної системи в Галактиці

**і** Дізнайтеся більше про походження назви нашої Галактики.



**?** Контрольні запитання

1. Опишіть основні параметри нашої Галактики.
2. Чому, на ваш погляд, спостерігачу, який перебуває на Землі, Чумацький Шлях видний переривчастим і клоччастим?
3. Що таке зоряні скупчення?
4. Яке місце Сонячної системи у нашій Галактиці?
5. Чим відрізняються зорі плоскої складової Галактики від зір сферичної складової?
6. Знайдіть на карті зоряного неба сузір'я, через які проходить Чумацький Шлях.

## 2 Підсистеми Галактики та її спіральна структура.

Однією з таємниць Галактики є так звані **спіральні рукави** (рис. 2.1), які зароджуються десь біля її центру. 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



Рис. 2.1. Спіральні рукави галактики M80

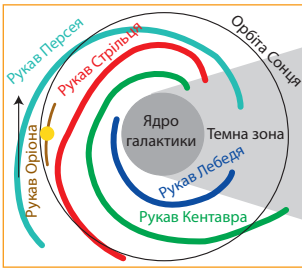


Рис. 2.2 Спіральні рукави нашої Галактики

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.

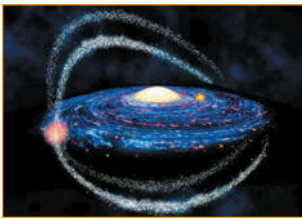


Рис. 2.3. Кільце Єдинорога — протяжний кільцеподібний ланцюг із зір, тричі обернений навколо Чумацького Шляху

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

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 викидання 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.



### Контрольні запитання

1. Де зароджуються спіральні рукави Галактики?
2. Назвіть основні рукави Галактики. У якому з них розташовується Сонячна система?
3. Який процес формування зір називається саморозмноженням?
4. Як сформувалася структура Кільця Єдинорога?



### 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 вважають його надмасивною *чорною дірою* (рис. 2.5).

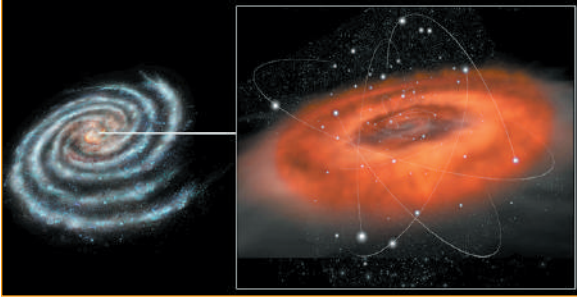


Рис. 2.4. Надмасивна чорна діра Стрілець А\*

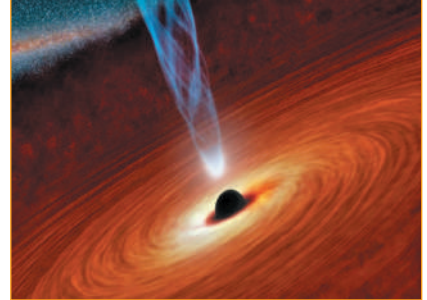


Рис. 2.5. Комп'ютерна модель чорної діри в центрі Галактики

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 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 належать 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 плоскі акреційні газові кільця (рис. 2.8), виявлені в центрі Галактики в 1980-х роки. Проте внутрішній діаметр цих кілець занадто великий, щоб пояснити процес зореутворення

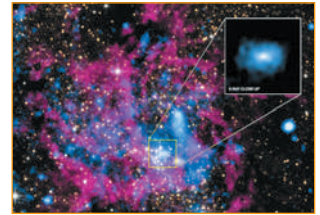
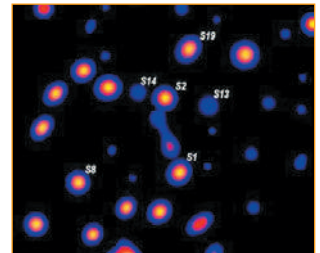


Рис. 2.6. Щільні хмари космічного пилу навколо ядра Галактики

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

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



Рис. 2.8. Хмари гарячого газу в центрі Галактики

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.



Дізнайтеся про гіпотетичні антиподи чорних дір.



Контрольні запитання

1. Яку назву дали об'єкту в центрі Галактики?
2. Завдяки чому стало можливим спостерігати зорі в центральних областях Галактики?
3. Які спостереження припускають, що об'єкт Стрілець А\* пов'язаний з чорною дірою?
4. Що являють собою чорні діри?



Виконайте тестові завдання із автоматичною перевіркою на сайті «Інтерактивне навчання».



**Висновки.** Наша Галактика (Молочний Шлях) — величезна система, у якій обертаються навколо центра 400 млрд зір. Найчисленніші системи об'єднання зір налічують сотні тисяч об'єктів — це зоряні скупчення та асоціації. Сонце розташоване поблизу площини Галактики на відстані 25 000 св. років від її ядра.

Спіральні рукави виникають у деяких галактиках як дивні хвилі густини, де формуються нові покоління зір. Вважається, що у нашій Галактиці існують чотири основні спіральні рукави, які беруть свій початок у галактичному центрі.

Центр Галактики містить компактний об'єкт із дуже великою масою, розташований у напрямку сузір'я Стрільця. Цей об'єкт має назву Стрілець А\* і вважається надмасивною чорною дірою.



## Тема 7.

# Будова і еволюція Всесвіту

### 1 Світ галактик. Активні ядра галактик

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 зростає (рис. 1.1). Наша Галактика й галактика М31 (в сузір'ї Андромеди) входять до Місцевої групи галактик (рис. 1.2, 1.3).

**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



Рис. 1.2. Галактика М31 в ультрафіолетовому світлі Магелланової Хмари

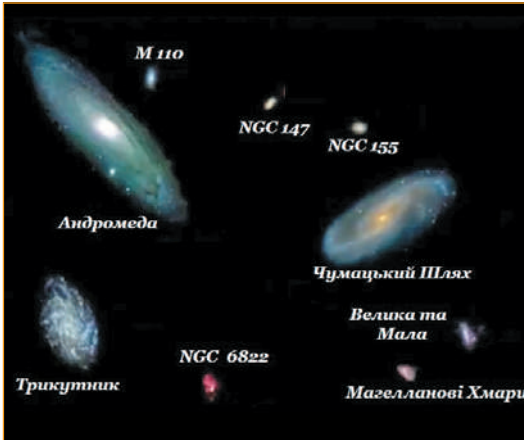


Рис. 1.3. Найближчі до Чумацького Шляху галактики

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.

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



Рис. 1.4. Спіральна галактика NGC 24, розташована в сузір'ї Скульптор. Відкрита 1785 р. В. Гершелем



Рис. 1.5. Неправильна галактика NGC 1427A

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).

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).

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 рентгенівському діапазоні до 10 років в оптичному й радіодіапазонах;
- є особливості спектра випромінювання, за якими можна зробити висновок про рух гарячого газу з великою швидкістю;



Рис. 1.6. Сузір'я Волосся Вероніки

**Розбігання галактик** — факт збільшення з часом відстаней між галактиками. Розбігання галактик зумовлене розширенням доступного для спостережень Всесвіту

**Активні ядра галактик** — це ядра галактик, в яких відбуваються процеси з вивільненням великої кількості енергії, що неможливо пояснити ані активністю окремих зір, ані активністю газопилових комплексів



Рис. 1.7. Зустріч двох галактик

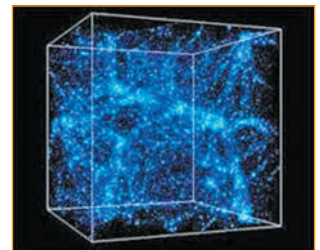


Рис. 1.8. Волокниста структура Всесвіту





Рис. 1.9. Просторова модель Всесвіту



Рис. 1.11. Галактика IC 3639 з неясним активним ядром

- є видимі морфологічні особливості, зокрема викиди й «гарячі плями»;
- є особливості спектра випромінювання та його поляризації, за якими можна зробити висновок про наявність магнітного поля та його структуру.

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).

**Джети** — релятивістські струмені плазми, що вириваються з центрів (ядер) активних галактик, квазарів, радіогалактик

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.



Рис. 1.12. Класи активних галактик

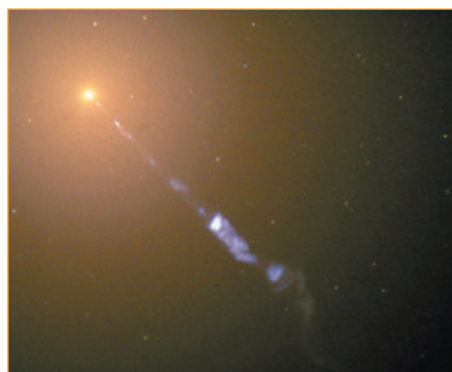


Рис. 1.13. Активна гігантська еліптична галактика M 87. З центру галактики виривається релятивістський струмінь

**і** Дізнайтеся більше про різні види галактик.



**?** Контрольні запитання

1. Чим еліптичні й неправильні галактики відрізняються від спіральних? До якого типу належить наша Галактика?
2. Які структури мають галактики?
3. Сформулюйте і поясніть закон Габбла. Як за допомогою закону Габбла можна виміряти відстань до галактик?
4. Чи можуть відбуватися зіткнення галактик?
5. Для чого досліджують активні ядра галактик?

## 2 Спостережні основи космології

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. 2.1).

**Космологія** (космос і грец.  $\lambda\omicron\gamma\omicron\varsigma$  — вчення) — розділ астрономії, в якому вивчають Всесвіт як ціле

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

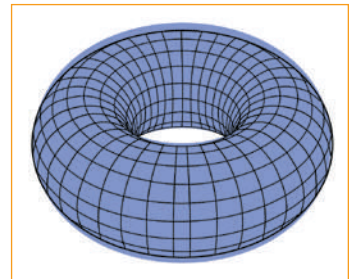


Рис. 2.1 Модель одновимірного простору Всесвіту

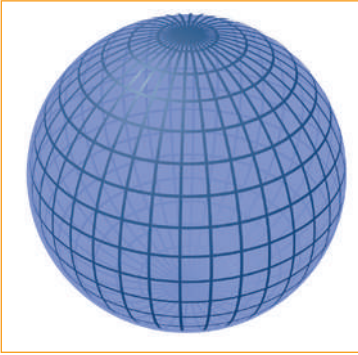


Рис. 2.2. Модель двовимірного простору Всесвіту

Замкнутий двовимірний простір — поверхня сфери, яка не має межі, але площа поверхні сфери є скінченною величиною (рис. 2.2).

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.

**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. 2.3) і, зокрема, розподілу нескінченної кількості речовини у безмежному просторі. У цих випадках треба використовувати теорію відносності Айнштайна.

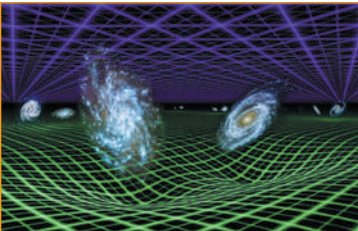


Рис. 2.3. Ньютонівська теорія тяжіння непридатна для розрахунку сильних полів тяжіння

**Парадокс теплової смерті.** Теплова смерть — термін, що описує кінцевий стан будь-якої замкнутої термодинамічної системи (рис. 2.4). 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.

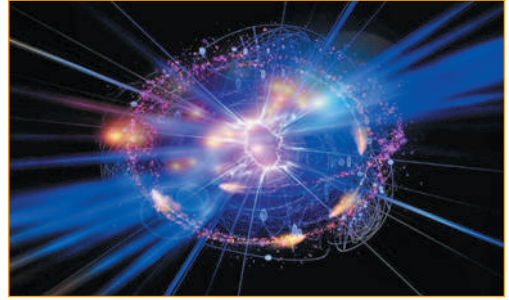


Рис. 2.4. Теплова смерть — термін, що описує кінцевий стан будь-якої замкнутої термодинамічної системи



### Контрольні запитання

1. Що вивчає наука космологія?
2. У чому суть фотометричного космологічного парадокса?
3. Поясніть, у чому полягає парадокс теплової смерті? Чим можна його спростувати?
4. Поясніть фотометричний парадокс безмежного і нескінченного Всесвіту (парадокс Ольберса): «Якщо Всесвіт нескінченний, то чому вночі темно?».



### 3 Історія розвитку уявлень про Всесвіт. Походження й еволюція 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. 3.1). Якби Великий Вибух був процесом, який нагадує вибух

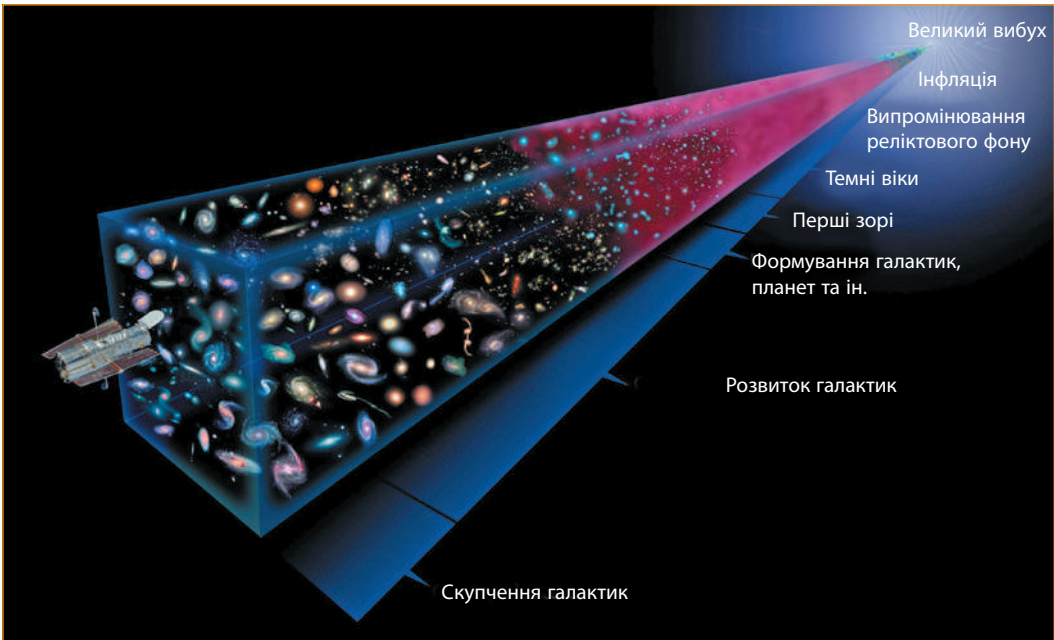


Рис. 3.1. Комп'ютерна модель розвитку Всесвіту від Великого вибуху до нашого часу

**Великий вибух** — термін, за допомогою якого об'єднано сучасні уявлення про початкові стадії розвитку Всесвіту, що пояснюють його еволюцію і властивості

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 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.

**Головні ери в історії 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

В основу сучасної астрономічної картини світу щодо еволюції Всесвіту покладено **модель гарячого Всесвіту**

утворюватися 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, кг/м <sup>3</sup>
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 гідрогену та гелію		$10^{-13}$
Випромінювання	$300 \text{ с}$	Кінець ери випромінювання	10	
	$10 \text{ с}$	Утворюються ядра дейтерію та гелію	$10^4$	$10^{16}$
Лептонна	$10^{-4} \text{ с}$	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.

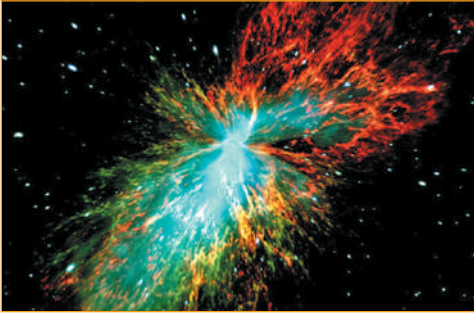


Рис. 3.2. Реліктове випромінювання — кванти світла, що утворилися 15 млрд років тому. Вони відділилися від елементарних частинок і почали самостійне поширення у Всесвіті

**Реліктове фонове випромінювання** (рис. 3.2, 3.4). 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. 3.3).

На початку існування кванти мали велику енергію, тому випромінювання відбувалося у височастотній 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

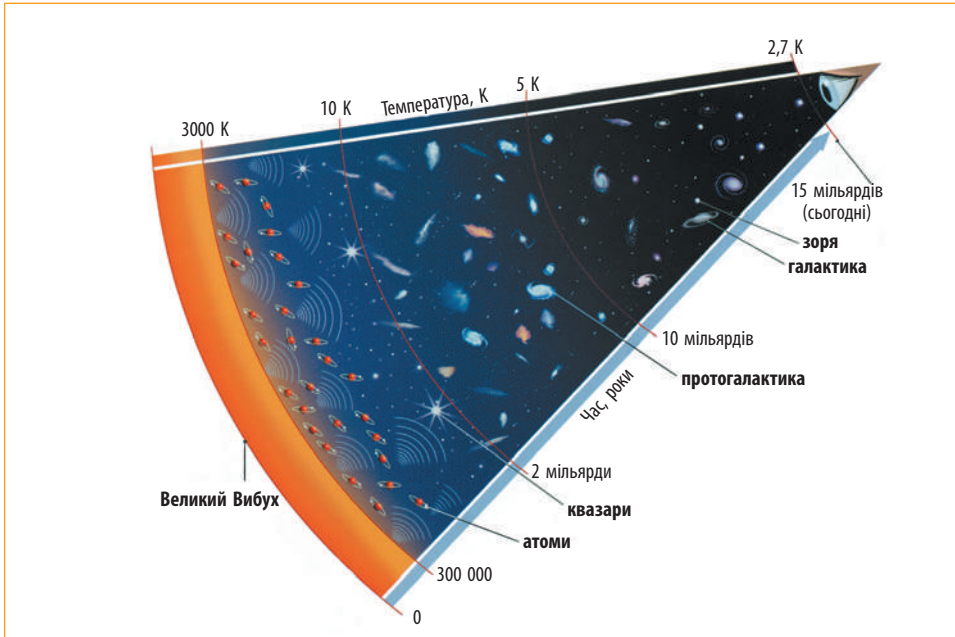


Рис. 3.3. Чим далі від Землі розміщується космічний об'єкт, тим молодшим ми його бачимо, адже світло від нього досягає поверхні Землі через мільярди років. На межі видимої частини Всесвіту з відстані 10 млрд св. років надходить випромінювання, яке утворилося за часів Великого Вибуху. На відстані 5 млрд св. років ми бачимо квазари, з яких пізніше формуються галактики

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 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.

**Майбутнє Всесвіту.** Гравітаційна взаємодія речовини в майбутньому може зменшити швидкість розширення Всесвіту. Виявляється, якщо середня густина Всесвіту має критичне значення  $5 \cdot 10^{-27}$  кг/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. 3.5). 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. 3.6).

Через кілька мільярдів років розбігання галактик може зупинитися, а потім почнеться стискування Всесвіту, тому що гравітаційна сила змусить галактики зближуватись. Зближення галактик призведе до трагічних наслідків для живих організмів, оскільки енергія

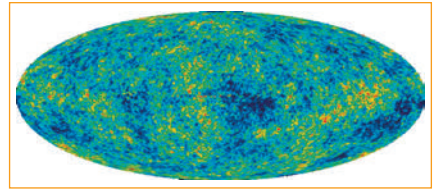


Рис. 3.4. Анізотропія реліктового випромінювання за даними супутника WMAP

**Реліктове випромінювання** — випромінювання Всесвіту, яке домінує в діапазоні довжин хвиль від міліметрів до метра

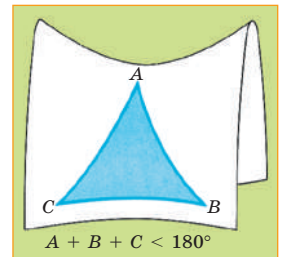


Рис. 3.5. У відкритому Всесвіті справедлива неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику менша від 180°

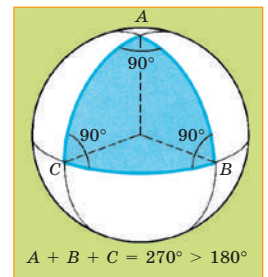


Рис. 3.6. Для закритого Всесвіту є правильною неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику більша за 180°



фонового випромінювання і температура Всесвіту будуть зростати (рис. 3.7). 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.

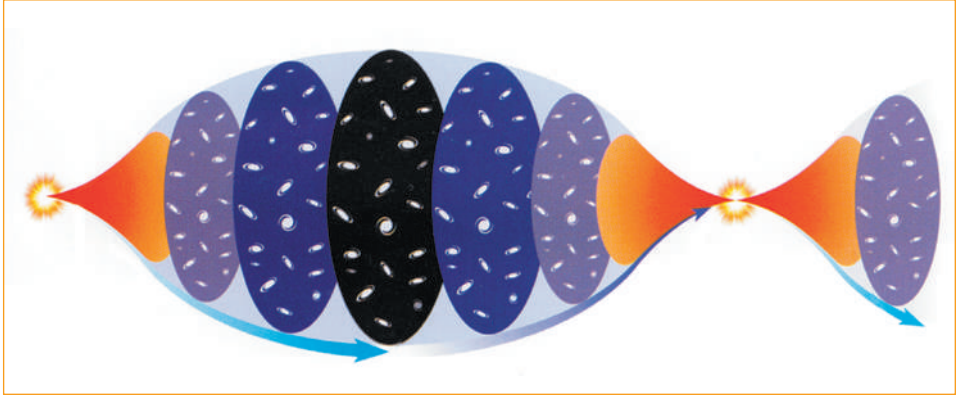


Рис. 3.7. Еволюція закритого Всесвіту. Такий світ збільшується до певних максимальних розмірів, після чого галактики почнуть зближуватись. Початок і кінець такого Всесвіту мають нескінченно велику температуру і густину

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. 3.8).

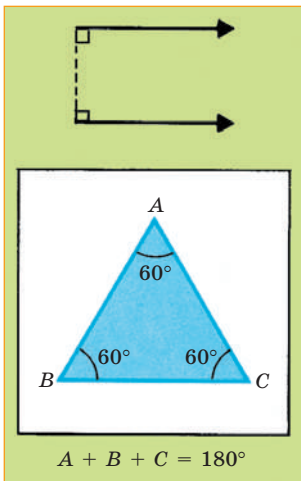


Рис. 3.8. У геометрії Евкліда паралельні прямі не перетинаються, а сума кутів у трикутнику дорівнює  $180^\circ$

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.

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 нагадує казкову птицю Фенікс, яка періодично згорає, 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.



Дізнайтеся більше про теорію Великого Вибуху.



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?



Виконайте тестові завдання із автоматичною перевіркою на сайті «Інтерактивне навчання».



**Висновки.** Всесвіт має складну комірчасту структуру, у якій відбувається гравітаційна взаємодія всіх космічних тіл. Зорі утворюють величезні скупчення, які налічують сотні тисяч і мільйони об'єктів. У спільному полі тяжіння галактик розташовуються сотні мільярдів зір, які обертаються навколо спільного центра мас. Галактики теж утворюють окремі скупчення, утворюють структури, що нагадують величезні сітки з волокон.

Космологічні парадокси — суперечності, які виникають у вічному та безмежному Всесвіті. Існують три найбільш відомі космологічні парадокси: фотометричний, гравітаційний та теплової смерті Всесвіту.

Еволюція Всесвіту почалася з Великого Вибуху надзвичайно щільної матерії 13–20 млрд років тому, коли сталося загадкове розширення космічного простору.

# Тема 8. Життя у Всесвіті

## 1 Людина у Всесвіті. Антропний принцип

**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. 1.1). 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 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

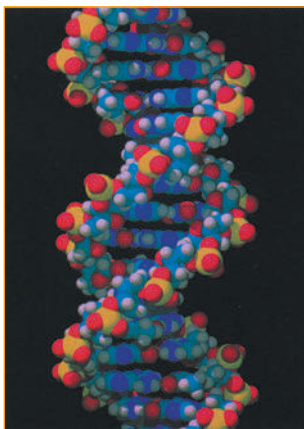


Рис. 1.1. Ланцюг ДНК, за допомогою якого записується і зберігається інформація про живий організм

**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 об'єм інформації про себе і навколишній світ

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 стискування 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.

**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 ХХ ст., коли значно зріс середній вік людей, населення Землі сягнуло за 6 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

**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. 1.2. Оптимістична оцінка тривалості існування нашої цивілізації — 100 000 років



Рис. 1.3. Катастрофічне зіткнення з астероїдом або кометою може призвести до загибелі цивілізації

цивілізації — 100 000 років (рис. 1.2). 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. 1.3).
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.

**Контрольні запитання**

1. У чому полягає сутність антропного принципу?
2. Сформулюйте причини, які можуть викликати загибель нашої цивілізації.
3. Що таке відкрита система?
4. Які песимістичні і які оптимістичні прогнози існування нашої цивілізації?

**Імовірність життя на інших планетах.  
Формула Дрейка**

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 (рис. 2.1).

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

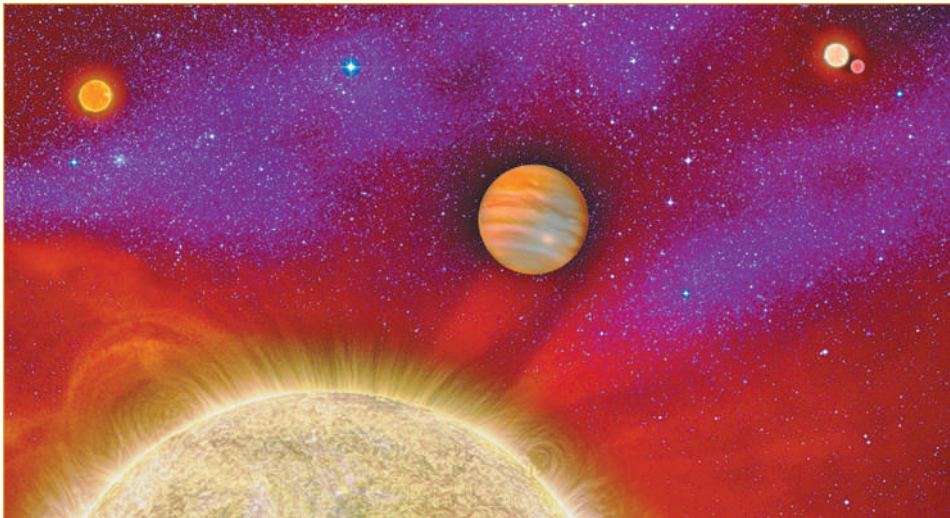


Рис. 2.1. Виявлено понад тисячу темних супутників зір, що свідчить про існування інших планетних систем, де можуть бути досі невідомі цивілізації

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.



### Контрольні запитання

1. Чи висока імовірність життя на інших планетах?
2. Як обчислюється рівняння Дрейка?



### Пошук життя за межами Землі.

#### Питання існування інших всесвітів. Мультивсесвіт

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. 3.1).



Рис. 3.1. Радіотелескопи, за допомогою яких можна приймати радіосигнали від позаземних цивілізацій

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. 3.2). 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 р. 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. 3.3) 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.

У XX 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

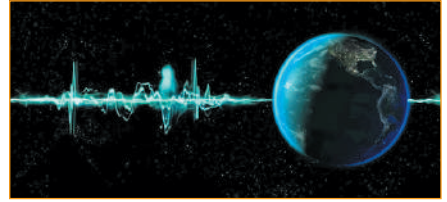


Рис. 3.2. Від Землі поширюється своєрідна інтелектуальна хвиля, яку випромінюють земні радіостанції



Рис. 3.3. «Піонер-10» пролітає повз Юпітер (художнє зображення)



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 міжзор'яні перельоти. Тобто контакти третього

типу можуть відбутися і на Землі, якщо до нас прилетять чужі космічні кораблі. У цьому випадку виникне головна проблема: чи захочуть розумні істоти з інших світів спілкуватися з нами, адже між нами і ними може бути інтелектуальна «прірва». Контакти між цивілізаціями можуть призвести до конфліктів — своєрідних «зор'яних воєн», і ми маємо бути готові до цього.

### Мультивсесвіт, багатосвіт —

гіпотетична множина всіх можливих паралельних Всесвітів (включно з тим, в якому існуємо ми)

**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. 3.4).

Але якщо це припущення виявиться правдивим, то воно буде не просто чіткою гіпотезою, а підтвердженою послідовністю фундаментальних законів світобудови.

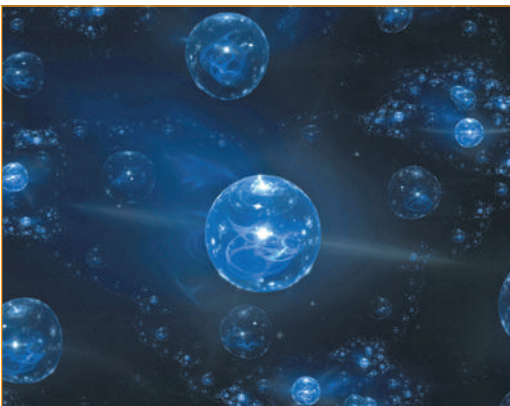


Рис. 3.4. Комп'ютерна модель однієї з гіпотез щодо мультивсесвіту

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 менше 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.



Життя є однією з великих таємниць Всесвіту

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?



Виконайте тестові завдання із автоматичною перевіркою на сайті «Інтерактивне навчання».



**Висновки.** Життя — це складна відкрита система хімічних і біологічних сполук із високим ступенем упорядкованості, яка зберігає величезний об'єм інформації про себе і навколишній світ. Земля за багатьма параметрами є закритою системою, тому проблема виживання людства пов'язана з освоєнням космосу.

Галактики і обмін інформацією між ними можуть привести до загального зростання інформації, тому такий процес, згідно з теорією біологічної еволюції, можна вважати прогресивним. Контакти з іншими цивілізаціями можуть бути трьох типів.

# Додатки

## 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.

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

б)

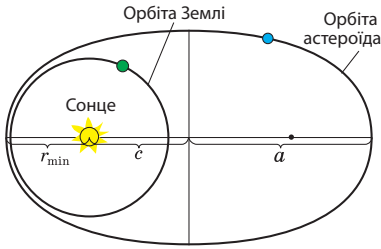


Рис. П.1.

$$\begin{aligned}
 a &= c + r_{\min}; \\
 c &= ea; \\
 r_{\min} &= a(1 - e); \\
 r_{\min} &= 1,09 \text{ а. о.}
 \end{aligned}$$

*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.

$$a_1 = 41\,900 \text{ км.}$$

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

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

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  $g = 3,78 \text{ м/с}^2$ , на Венері  $g = 8,6 \text{ м/с}^2$ , на Марсі  $g = 3,72 \text{ м/с}^2$ , на Землі  $g = 9,78 \text{ м/с}^2$ .

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

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:

$$L = 55$$

$$T = 11\,000 \text{ К}$$

$$R = ?$$

*Розв'язання:*

Радіус зорі визначають за допомогою формули (13.11):

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

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

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

*Відповідь.* Зоря Вега має радіус у 2 рази більший, ніж у Сонця, тому на нашому небі вона мала б вигляд синього диска з кутовим діаметром  $1^{\circ}$ . 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  $1000^{\circ}\text{С}$ . Таким чином, умови на нашій планеті стали б непридатними для будь-яких форм життя.

## ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

### *Практична робота № 1.*

#### *Робота з рухомою картою зоряного неба*

1. Поверніть пластмасовий круг на карті таким чином, щоб дата спостереження на зовнішньому колі карти збігалася з годиною спостереження на зовнішньому колі круга. Тоді в прозорому отворі круга буде видно тільки ті зорі, які в цей момент розташовані над горизонтом.
2. Зорієнтуйте карту над головою відносно сторін горизонту. У центрі прозорого отвору буде видно ті зорі, що розташовані поблизу зеніта, а біля краю ті світила, які світять біля горизонту, тобто сходять або заходять.
3. Кульмінація зорі настає в той час, коли світило перетинає площину меридіана — на карті це пряма лінія, що проходить від точки півночі на горизонті через північний полюс світу до точки півдня на південному горизонті. Внаслідок обертання Землі навколо осі площина меридіана постійно зміщується і протягом доби кожне світило двічі перетинає меридіан, тому розрізняють дві кульмінації. У момент верхньої кульмінації зоря розташована найвище над горизонтом, а в нижній кульмінації — найнижче.
4. Велика Ведмедиця опівночі світить поблизу зеніту. Використовуючи рухому карту зоряного неба, визначте, в якому місяці проводяться спостереження.
5. За допомогою рухомої карти зоряного неба визначте, чи можна в Україні в січні опівночі побачити зорю Вега. Виміряйте екваторіальні координати цієї зорі.

### *Практична робота № 2.*

#### *Визначення висоти (кульмінації) Сонця за допомогою гномона*

Гномон — давній астрономічний інструмент, за допомогою якого можливо вимірювати час за довжиною тіні, яку відкидає вертикальний стрижень. Такий сонячний годинник показує місцевий дійсний час, водночас ми звикли користуватися середнім поясным часом.

Побудувати гномон дуже просто. Для цього на вулиці необхідно знайти рівну горизонтальну поверхню, на якій зручно робити позначки. В цю поверхню потрібно вертикально встромити рівний стрижень, наприклад довжиною 1 м. Переконайтесь у тому, що стрижень стоїть вертикально, можна за допомогою виска (вантаж на мотузці, який кріплять до верхівки стрижня).

Сонце проходить свою кульмінацію в момент місцевого полудня — це найвище положення Сонця на небосхилі. При цьому тінь від гномону має мінімальну довжину та чітко вказує на північ. Ця тінь лежить на так званій полуденній лінії, яка проходить через дійсний меридіан. Щоб знайти полуденну лінію, необхідно у близький до місцевого полудня час (наприклад, за півгодини) відмітити кінець тіні від гномона. Після цього треба

накреслити коло з радіусом, рівним довжині тіні та з центром у стрижні. Коли тінь вдруге перетне коло, треба відмітити цю точку. Бісектриса кута між двома точками перетину тіні кола й буде полуденною лінією.

Висоту Сонця над горизонтом  $\varphi$  у момент кульмінації можна визначити за довжиною тіні, що проходить через полуденну лінію, за простою формулою:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{h}{d}\right),$$

де  $h$  — висота гномону,  $d$  — довжина тіні.

Це варто робити у ясний сонячний день.

### СПЕКТРАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ ЗІР

Спектральний клас	Колір	Температура, К	Типові зорі
O	Блакитний	20 000	Наос ( $\zeta$ Корми)
B	Білий, блакитний	15 000	Беллактрис ( $\gamma$ Оріона)
A	Білий	10 000	Сиріус
F	Жовтий, білий	8 000	Альтаїр ( $\alpha$ Орла)
G	Жовтий	6 000	Сонце
K	Жовтий, помаранчевий	4 500	Альдебаран ( $\alpha$ Тільця)
M	Помаранчевий, червоний	3 000	Бетельгейзе ( $\alpha$ Оріона)

### ТЕРМІН ЖИТТЯ ЗІР

Спектральний клас	Термін життя (років)
O	$< 10^6$
B	$10^7$
A	$10^8$
F	$10^9$
G	$10^{10}$
K	$10^{11}$
M	$> 10^{11}$

## НАЙЯСКРАВІШІ ЗОРІ

№ п/п	Назва	Сузір'я	$m$	Від- стань $\mu$	Світ- ність $L = E/E_{\odot}$	Темпе- ратура $K$	Ра- діус $R/R_{\odot}$
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



## ЗАТЕМНЕННЯ МІСЯЦЯ, ЯКІ МОЖНА ПОБАЧИТИ В УКРАЇНІ (2019—2062 рр.)

Дата	Час	Фаза
21.01.19	7-10	повне
17.07.19	00-31	0.65
19.08.35	4-08	0.10
12.02.36	00-13	повне
07.08.36	5-50	повне
06.06.39	21-54	0.84
30.11.39	18-55	0.94
18.11.40	21-02	повне
16.05.41	3-42	0.05

Дата	Час	Фаза
08.11.41	6-30	0.17
12.02.55	0-42	повне
17.06.57	5.25	0.76
11.12.57	2-52	0.92
06.06.58	22-12	повне
30.11.58	5-14	повне
05.04.61	0-54	повне
25.03.62	5-34	повне
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.

## 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.
Оболоньська	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

Назва	Місто	Країна	Рік заснування
Львівська астрономічна обсерваторія <a href="http://astro.franko.lviv.ua">http://astro.franko.lviv.ua</a>	Львів	Україна	1769
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:rgo@poltava.ukrtel.net">rgo@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.-Петербурґ	Росія	1839

Назва	Місто	Країна	Рік заснування
Ондржейовська астрономічна обсерваторія <a href="http://www.expats.cz/ondreiovobservatory">http://www.expats.cz/ondreiovobservatory</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
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	$7,35 \cdot 10^{23}$
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>	$3,8 \cdot 10^7$
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.
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.

Дата	Подія
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.
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).

Дата	Подія
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.
1676 р.	Рене Рьомер за допомогою супутників Юпітера вперше визначив швидкість світла.
1687 р.	Ісаак Ньютон сформулював закон всесвітнього тяжіння.
1728 р.	Джеймс Брідлей 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 Бодє-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.



Дата	Подія
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 Левер'є.
1848 р.	Вільям Томсон (лорд Кельвін) увів абсолютну шкалу температур.
1851 р.	Жан Фуко за допомогою маятника довів обертання Землі навколо осі.
1852 р.	Рудольф Вольф увів індекс сонячної активності, який називають числом Вольфа.
1859 р.	Норман Погсон увів коефіцієнт для визначення зоряних величин — «формула Погсона».
1860 р.	Джеймс Максвелл створив теорію електромагнітного поля.
1864 р.	Едуард Рош довів наявність нижньої межі для орбіти природного супутника планети — «межа Роша».
1865 р.	Г. Ріхтер висунув гіпотезу про занесення на Землю життя з космосу — панспермія.
1865 р.	Рудольф Клаузіус сформулював парадокс теплової смерті Всесвіту.
1871 р.	Джон Релей опублікував працю про поляризацію світла та пояснив блакитний колір неба.
1877 р.	Асаф Холл відкрив Фобос і Деймос — супутники Марса.
1881 р.	Джованні Скіапареллі відкрив на Марсі «канали».

Дата	Подія
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.
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.

Дата	Подія
1958 р.	Створено НАСА (Національне Космічне Агентство, США).
1958 р.	Ван Аллен виявив радіаційні пояси навколо Землі.
1959 р.	АМС «Луна-1» (СРСР) стала першою штучною планетою Сонячної системи.
1959 р.	АМС «Луна-3» (СРСР) уперше у світі сфотографувала зворотний бік Місяця.
1961 р.	Юрій Гагарін (СРСР) уперше у світі облетів Землю на космічному кораблі «Восток».
1963 р.	Створено СЕТІ (SETI) — організацію для пошуків життя у Всесвіті.
1963 р.	Відкриті квазари — позагалактичні джерела радіовипромінювання.
1965 р.	Арно Пензіас і Роберт Вілсон відкрили реліктове випромінювання.
1966 р.	АМС «Луна-9» (СРСР) здійснила першу у світі м'яку посадку на поверхню Місяця.
1967 р.	АМС «Венера-4» (СРСР) досягла атмосфери Венери.
1967 р.	Відкриті пульсари (нейтронні зорі).
1969 р.	На Місяць зробив посадку пілотований космічний корабель «Аполлон-11» (США).
1969 р.	В Австралії впав метеорит Марчесон, у якому знайшли залишки ДНК.
1970 р.	АМС «Луна-16» (СРСР) в автоматичному режимі доставила на Землю ґрунт із Місяця.
1970 р.	АМС «Венера-7» (СРСР) зробила м'яку посадку на поверхню Венери.
1972 р.	Старт АМС «Піонер-10» (США) — перший політ за межі Сонячної системи.
1972 р.	Запроваджено міжнародний атомний час — ТАІ.
1974 р.	Перша спроба відіслати повідомлення інопланетянам радіотелескопом Аресібо (США).
1975 р.	АМС «Венера-9, -10» (СРСР) отримали телевізійне зображення поверхні Венери.

Дата	Подія
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.	Змонтованого 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.

# Предметний покажчик

## А

Абсолютна зоряна величина .....	76
Активні ядра галактик .....	101
Антропний принцип .....	112, 113
Астероїд .....	57
Астроблеми .....	60
Астрологія .....	7
Астрометрія .....	5
Астрономічна одиниця .....	10
Астрономія .....	4
Астрофізика .....	5, 33
Афелій .....	24, 25

## Б

Болід .....	60
-------------	----

## В

Великий Вибух .....	105, 106
Венера .....	47, 48
Видима зоряна величина .....	11
Випромінювання небесних тіл .....	32
Високоосний рік .....	17
Відкрита система .....	113
Вісь світу .....	9
Всесвітній час .....	19
Всесвітнього тяжіння закон .....	26

## Г

Габбла закон .....	101
Галактики .....	10, 92, 99
— Велика Стіна .....	100, 101
— галактичний рік .....	95
— розбігання галактик .....	101, 109
— спіральні рукави .....	95, 96
— типи галактик .....	100
Галілеєві супутники .....	6, 50
Геліоцентрична система світу .....	6
Геоцентрична система світу .....	6
Герцшпрунга–Рассела діаграма (спектр — світність) .....	78, 79

Гравітаційно-хвильова астрономія .....	37
Головна послідовність зір .....	78
Головні ери в історії Всесвіту .....	106, 107

## Д

Детектор гравітаційних хвиль .....	38
Джети .....	102
Доба .....	18
Дрейка рівняння .....	115, 116

## Е

Екваторіальна система координат ...	15
Екзопланета .....	83, 84
Екліптика .....	10, 20
Електронно-оптичний перетворювач .....	38
Ексцентриситет .....	25
Елонгація .....	23

## З

Земля .....	43
— атмосфера .....	43
— будова .....	44
— магнітне поле .....	44
Зеніт .....	9
Зорі .....	74
— білий карлик .....	77, 86
— змінна зоря .....	81
— Наднова .....	85, 86
— нейтронна .....	86, 87
— Нова .....	85, 86
— протозоря .....	85
— подвійна зоря .....	80
— цефеїда .....	81
— червоний гігант .....	77
— червоний карлик .....	77
Зоряна величина .....	11
Зоряні скупчення .....	93
— кулясті .....	93
— розсіяні .....	93

**К**

Календар .....	17, 18
— григоріанський .....	17
— юліанський .....	17
Квазари .....	102
Кеплера закони .....	24–26
Коло висоти (вертикальне коло) .....	9
Коло схилень .....	10
Комета .....	58, 59
Конфігурації планет .....	22, 23
Космологія .....	5, 103
Космологічні парадокси .....	103
Космонавтика .....	61–63
Кульмінація .....	18

**М**

Магнітна буря .....	73
Малі тіла Сонячної системи .....	57
Марс .....	48, 49
Межа Роша .....	133
Меркурій .....	47
Метеор .....	59
Метеорит .....	59
Метеороїд .....	59
Метеорні потоки .....	59
Метеоритне тіло .....	60
Місцевий час .....	19
Місяць .....	44–46
Молодий Всесвіт .....	108
Моделі Всесвіту .....	109, 110
Молочний Шлях .....	92, 93, 98
Мультивсесвіт .....	118, 119

**Н**

Надир .....	9
Небесна механіка .....	5
Небесна сфера .....	9
Небесні координати .....	14
Небесний екватор .....	10, 14
Небесний меридіан .....	10
Нейтронний детектор .....	37
Нейтрино .....	37
Нептун .....	54, 55

**О**

Оорта хмара .....	57
-------------------	----

**П**

Паралакс горизонтальний .....	13
Парсек .....	76
Перигелій .....	25
Період обертання планет .....	23
— сидеричний .....	23
— синодичний .....	23
Південний полюс світу .....	9
Північний полюс світу .....	9
Північний полярний ряд .....	12
Планети .....	46
— гіганти .....	50
— земної групи .....	46
— карлики .....	56
Планетарна туманність .....	94
Площина математичного (справжнього) горизонту .....	9
Пляма сонячна .....	71
Плутон .....	56, 97
Полюс світу .....	9
Пояс Койпера .....	56
Пояси радіації .....	44
Поясний час .....	19
Проект SETI .....	117, 118
Простий рік .....	17
Протистояння .....	22
Протуберанці .....	72
Пряме сходження .....	15
Пульсар .....	87

**Р**

Радіолокаційний метод випромінювання .....	13
Радіус зорі .....	77
Реголіт .....	46
Реліктове випромінювання .....	108
Роздільна здатність ока .....	34

**С**

Сатурн .....	52
Світловий рік .....	10

Світність зорі .....	76	<b>У</b>	
Світність Сонця .....	67	Уран .....	53, 54
Сидеричний період .....	23	Уявна небесна сфера .....	14
Синодичний період .....	23	<b>Ф</b>	
Сингулярність .....	106	Фази Місяця .....	22
Синергетика .....	112	<b>Х</b>	
Сонце .....	67	Хромосфера .....	69
— активність .....	71	Хромосферний спалах .....	73
— атмосфера .....	69	<b>Ц</b>	
— будова .....	67–69	Церера .....	57
— світність .....	67	<b>Ч</b>	
— температура .....	67	Час .....	18, 19
Сонячна стала .....	67	— всесвітній .....	19
Сонячний вітер .....	60, 69	— місцевий .....	19
Сонячний нейтрино .....	70	— поясний .....	18, 19
Спектр Сонця .....	69	Чорна діра .....	88
Спектральна класифікація		Чорне тіло .....	32, 33
зір .....	74	Чутливість ока .....	34
Спектральні класи зір .....	74	<b>Ш</b>	
Справжня сонячна доба .....	10, 19	Шкала зоряних величин .....	11
Сузір'я .....	9	Штучний супутник Землі .....	40
Супутники планет .....	55	<b>Ю</b>	
Схилення .....	15	Юпітер .....	50, 51
<b>Т</b>		<b>Я</b>	
Телескоп .....	35	Ядро комети .....	59
— радіотелескоп .....	35, 36		
— рефлектор .....	35		
— рефрактор .....	35		
Темна матерія .....	110		
Точка весняного рівнодення .....	10		
Точка осіннього рівнодення .....	10		
Тропічний рік .....	17		
Туманності .....	94		

# 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 заг. ред. 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 мереживної 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 світлинки.
- **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> . . . . .	4
Предмет астрономії. Її розвиток і значення в житті суспільства. Короткий огляд об'єктів дослідження в астрономії . . . . .	4
<b>Тема 1. Небесна сфера. Рух світил на небесній сфері</b> . . . . .	9
Небесні світила й небесна сфера. Сузір'я.	
Зоряні величини . . . . .	9
Визначення відстаней до небесних тіл.	
Небесні координати . . . . .	13
Типи календарів. Астрономія та визначення часу . . . . .	17
Видимий рух Сонця. Видимі рухи Місяця та планет . . . . .	20
Закони Кеплера.	
Закон всесвітнього тяжіння . . . . .	24
Визначення маси і розмірів небесних тіл . . . . .	28
Фундатор вітчизняної планетології . . . . .	30
Зоряний шлях крізь терні . . . . .	31
<b>Тема 2. Методи та засоби астрономічних досліджень</b> . . . . .	32
Випромінювання небесних тіл . . . . .	32
Методи астрономічних досліджень . . . . .	32
Принцип дії і будова оптичного та радіотелескопа, детекторів нейтрино та гравітаційних хвиль.	
Приймачі випромінювання . . . . .	35
Сучасні наземні і космічні телескопи . . . . .	39
Астрономічні обсерваторії . . . . .	39
<b>Тема 3. Наша планетна система</b> . . . . .	43
Земля і Місяць. Планети земної групи:	
Меркурій, Венера, Марс і його супутники . . . . .	43
Планети-гіганти: Юпітер, Сатурн, Уран,	
Нептун та їхні супутники.. . . .	50
Карликові планети. Пояс Койпера, хмара Оорта. Малі тіла Сонячної системи — астероїди, комети, метеороїди . . . . .	56
Дослідження тіл Сонячної системи за допомогою космічних апаратів. Гіпотези і теорії формування Сонячної системи . . . . .	61
<b>Тема 4. Сонце — найближча зоря</b> . . . . .	67
Фізичні характеристики Сонця.	
Будова Сонця та джерела його енергії . . . . .	67

Реєстрація сонячних нейтрино . . . . .	70
Прояви сонячної активності та їхній вплив на Землю . . . . .	71
<b>Тема 5. Зорі. Еволюція зір . . . . .</b>	<b>74</b>
Зорі та їх класифікація . . . . .	74
Звичайні зорі. Подвійні зорі. Фізично-змінні зорі. Планетні системи інших зір. . . . .	80
Еволюція зір. Білі карлики. Нейтронні зорі. Чорні діри . . . . .	84
Українець, який перевершив Галлея . . . . .	90
Торжество науки і світло віри . . . . .	91
<b>Тема 6. Наша Галактика . . . . .</b>	<b>92</b>
Молочний Шлях. Будова Галактики. Зоряні скупчення та асоціації. Туманності. Місце Сонячної системи в Галактиці . . . . .	92
Підсистеми Галактики та її спіральна структура. . . . .	95
Надмасивна чорна діра в центрі Галактики. . . . .	96
<b>Тема 7. Будова і еволюція Всесвіту . . . . .</b>	<b>99</b>
Світ галактик. Активні ядра галактик . . . . .	99
Спостережні основи космології . . . . .	103
Історія розвитку уявлень про Всесвіт. Походження й еволюція Всесвіту . . . . .	105
<b>Тема 8. Життя у Всесвіті . . . . .</b>	<b>112</b>
Людина у Всесвіті. Антропний принцип . . . . .	112
Імовірність життя на інших планетах. Формула Дрейка . . . . .	115
Пошук життя за межами Землі. Питання існування інших всесвітів. Мультивсесвіт. . . . .	116
<b>Додатки . . . . .</b>	<b>120</b>
<b>Предметний покажчик . . . . .</b>	<b>138</b>
<b>Література . . . . .</b>	<b>141</b>
<b>Безкоштовні програми для дослідження та отримання інформації про Всесвіт . . . . .</b>	<b>141</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*

### «АСТРОНОМІЯ

(рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Яцківа Я. С.)»

підручник для 11 класу закладів загальної середньої освіти

За редакцією Я. С. Яцківа

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України**

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Редакторки *А. О. Скорик, О. В. Гноінська.*

Художнє оформлення *В. І. Труфена.* Технічний редактор *А. В. Пліско.*

Комп'ютерна верстка *В. В. Лукашової.* Коректор *Н. В. Красна*

Окремі зображення, що використані в оформленні підручника, розміщені в мережі Інтернет для вільного використання

Підписано до друку 06.06.2019 р. Формат 70×100/16.

Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.

Ум. друк. арк. 11,70. Обл.-вид. арк. 12,10.

Тираж 186 710 прим. (1-й запуск 1-60 000) Зам. № 3306-2019/1

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

## 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-Франківськ	48° 56'	24° 45'	1 год 39 хв	-0 год 21 хв	-1 год 21 хв
7	Київ	50° 27'	30° 30'	2 год 02 хв	+0 год 02 хв	-0 год 58 хв
8	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

## 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

## Підручник вирізняє наявність таких матеріалів:

- Тексти та ілюстрації для мотивації навчальної діяльності
- Додаткові рубрики для кращого розуміння найбільш важливого матеріалу
- Частина навчальної інформації у вигляді опорних таблиць і схем
- Покрокові описи виконання практичних робіт
- Інформація про практичне застосування астрономії
- Відомості про досягнення світової та вітчизняної астрономії
- Тематичне узагальнення матеріалу
- Приклади розв'язання типових задач
- Завдання для самоперевірки та астрономічних спостережень

## Інтернет-підтримка підручника дозволить:

- здійснити інтерактивне онлайн-тестування за кожною темою;
- ознайомитися з додатковими матеріалами за темами уроків

ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**



ISBN 978-617-09-5238-7



Інтернет-підтримка  
[interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua)

