

М. П. Пришляк

АСТРОНОМІЯ

11



Taurus

Lepus

Columba



Рецензенти:

- І.К. Коваль* професор Чернігівського педагогічного університету, доктор фізико-математичних наук;
- В.Г. Кручиненко* професор Київського національного університету ім. Т.Г. Шевченка, доктор фізико-математичних наук;
- І.Б. Вавилова* ст. наук. сп. Астрономічної обсерваторії КНУ, віце-президент Української астрономічної асоціації;
- І.В. Мельник* вчитель-методист ЗОШ № 240, м. Києва;
- Н.Ф. Лабенська* вчитель-методист ЗОШ № 2, м. Бровари, Київської області;
- Н.П. Волкова* вчитель-методист ЗОШ № 80, м. Києва

Пришляк М.П.

- 1177 Астрономія: Підручник для 11 класу загальноосвітніх навчальних закладів. — Київ: "Академперіодика", 2008. — 148 с.
ISBN 978-966-360-099-4

Підручник створений відповідно до діючої програми курсу "Астрономія" (17 годин на навчальний рік) за новітньою методикою подання матеріалу.

До підручника додається вкладка — рухома карта зоряного неба.

ББК 22.6 я7

Юні друзі!

Ви починаєте вивчення однієї з найстародавніших та найцікавіших наук — астрономії, яка досліджує природу, походження та еволюцію окремих небесних тіл, їхніх комплексів та Всесвіт в цілому.

Сучасна астрономія щільно пов'язана з космічними дослідженнями, що дозволили людству розгадати багато таємниць Всесвіту.

Книжка допоможе вам:

- розпізнавати сузір'я на нічному небі;
- побувати на планетах Сонячної системи й зустріти чужі світи, які мало чим нагадують нашу планету — Землю;
- познайомитися з нашою зорею — Сонцем, яке дає світло і тепло всьому живому на Землі;
- побачити, як народжуються, світять, а потім зникають далекі галактики і зорі;
- зробити фантастичну подорож у часі та зазирнути у таке далеке минуле Всесвіту, коли ще не існувало ні Землі, ні Сонця;
- дізнатися, чи існують позаземні цивілізації та як з ними можна встановити зв'язок і обмінюватися інформацією;
- навчитися за допомогою небесних світил вимірювати час і визначати свої координати на поверхні Землі та багато іншого.

Вивчення основних теоретичних положень та самостійні астрономічні спостереження неозброєним оком та за допомогою телескопа дозволять вам творчо осмислити матеріал, поданий у підручнику.

Умовні позначення



Запитання, тести та задачі



Для допитливих



Диспути
на запропоновані теми



Ключові поняття і терміни



Завдання для спостережень



Висновки

Звертаємо особливу увагу, що під час астрономічних спостережень не мож

Спостереження з телескопом цілющі зрозуміти як оком

Шановні колеги!

Цей підручник розрахований для учнів загальноосвітніх навчальних закладів і відповідає діючій програмі з астрономії (17 годин на навчальний рік).

Зміст підручника відображує сучасні досягнення астрономічної науки.

Новітні дані про планети Сонячної системи та їхні супутники, які наводяться в підручнику, супроводжуються кольоровими фотографіями, що отримані за допомогою великих телескопів і автоматичних міжпланетних станцій.

У книзі використовується новітня методика подання матеріалу, а додатковий текст (для допитливих, загадки Всесвіту, для майбутніх космонавтів) можна використати при викладанні астрономії за програмою 34 години на навчальний рік (у школах та ліцеях природничого нахилу), а також для позакласної роботи в астрономічних гуртках.

Для вчителів пропонується посібник, що полегшує підготовку до уроків.

До підручника додається вкладка — рухома карта зоряного неба.

Автор та видавництво висловлюють подяку рецензентам, які внесли зауваження щодо змісту підручника:

Александрову Юрію Володимировичу, кандидату фізико-математичних наук, професорові Харківського національного університету;

Вавіловій Ірині Борисівні, кандидату фізико-математичних наук, доценту національного університету "Київський політехнічний інститут";

Дзюбенку Миколі Івановичу, професорові Київського національного університету, доктору фізико-математичних наук;

Железняку Олегу Олександровичу, професорові, доктору фізико-математичних наук, завідувачу кафедри Київського авіаційного університету;

Захожаю Володимиріу Анатолієвичу, доктору фізико-математичних наук, професорові Харківського національного університету;

Ковалю Івану Кириловичу, професорові Чернігівського педагогічного університету, доктору фізико-математичних наук;

Кручиненку Віталію Григоровичу, професорові Київського національного університету, доктору фізико-математичних наук;

Луцішку Дмитру Федоровичу, завідувачу відділу інституту астрономії Харківського національного університету, доктору фізико-математичних наук;

Бабцю Володимиріу Івановичу, учителю астрономії, директорові ЗОШ м. Коломак Харківської області;

Волковій Надії Павлівні, учителю астрономії ЗОШ № 80, м. Київ;

Лабенській Ніні Федорівні, учителю астрономії ЗОШ № 2, м. Бровари, Київської області;

Мельник Ірині Василівні, учителю астрономії ЗОШ № 240, м. Київ.

Вивчивши цей параграф, ми:

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

Що вивчає астрономія ?

Предмет астрономії. Назва *астрономія* походить з грецької мови (*astron* — зоря, *nomos* — закон), тобто це наука, яка вивчає закони зір (рис. 1.1). Зараз відомо, що у Всесвіті крім зір існує ще багато інших космічних тіл та їхніх комплексів — планет (рис. 1.2), астероїдів, комет, галактик, туманностей та ін. Тому астрономи вивчають усі об'єкти, які знаходяться у космічному просторі, та їхню взаємодію між собою. Слово "космос" в перекладі з грецької означає те ж саме, що і Всесвіт.

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

1.1

Астрономія — наука, що вивчає будову, еволюцію космічних тіл та їхню взаємодію.

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

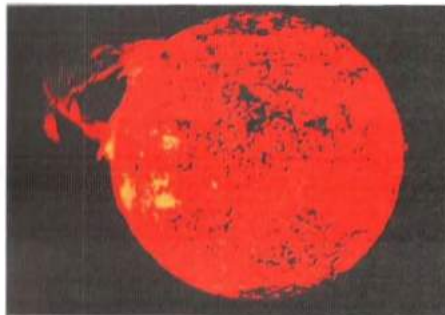


Рис. 1.1. Зоря — масивне гаряче космічне тіло, яке випромінює світло і має всередині джерело енергії (фотографія Сонця)



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

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

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

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



Рис. 1.4. К. Птолемей (90—160 рр. н. е.)

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

Давньогрецький філософ Клавдій Птолемей (рис. 1.4) у II ст. н. е. створив *геоцентричну систему світу*, в якій Земля знаходиться у центрі. Землю у просторі оточують 8 сфер, на яких розташовані Місяць, Сонце та 5 відомих у ті часи планет: Меркурій, Венера, Марс, Юпітер і Сатурн (рис. 1.6). На 8-й сфері знаходяться зорі, які з'єднані між собою та обертаються навколо Землі як єдине ціле.

У XVI ст. польський астроном Микола Коперник (рис. 1.5) запропонував *геліоцентричну систему світу*,



Рис. 1.5. М. Коперник (1473—1543)

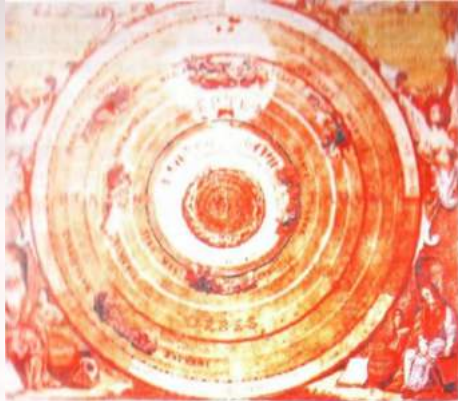


Рис. 1.6. Геоцентрична система світу: у центрі — Земля, а всі інші небесні тіла обертаються навколо неї (Стародавня грашюра)



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

в якій у центрі знаходиться Сонце, а планета Земля і інші планети обертаються навколо нього по колових орбітах (рис. 1.7).

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

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

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

У XIX ст. почався новий етап у вивченні космосу, коли німецький фізик Йозеф Фраунгофер у 1814 р.



Рис. 1.8. Г. Галілей (1564—1642)



Рис. 1.9. І. Ньютон (1643—1727)



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

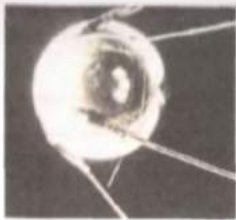


Рис. 1.11. Перший у світі штучний супутник Землі

відкрив лінії поглинання у спектрі Сонця — *фраунгоферові лінії* (рис. 1.10), потім лінії поглинання були виявлені у спектрах інших зір. За допомогою спектрів астрономи визначають хімічний склад, температуру і навіть швидкість руху космічних тіл.

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

4 жовтня 1957 р. почалася *ера космонавтики*. Цього дня у Радянському Союзі було запущено у космос перший у світі штучний супутник Землі (рис. 1.11), у створенні якого брали участь українські вчені, інженери та робітники. Сьогодні у космосі літають тисячі автоматичних станцій, які досліджують не тільки навколосемний простір, але й літають до інших планет Сонячної системи.

1.3

Наша космічна адреса. Ми живемо на Землі — одній із планет, що входять до Сонячної системи. Ці планети рухаються по своїх орбітах навколо Сонця. Більшість планет (крім Венери та Меркурія) мають супутники, які обертаються навколо своєї планети. У Сонячну систему, крім Сонця і планет з супутниками, входять також сотні тисяч астероїдів, або малих планет, мільйон кометних ядер та метеорна речовина (рис. 1.12).

| | |
|------------------------------------|-----------------|
| Кількісний склад Сонячної системи: | |
| Сонце (зірка) | 1 |
| Планети | 8 |
| Супутники | понад 150 |
| Астероїди | понад 300 000 |
| Комети | понад 1 000 000 |
| Метеорна речовина | |

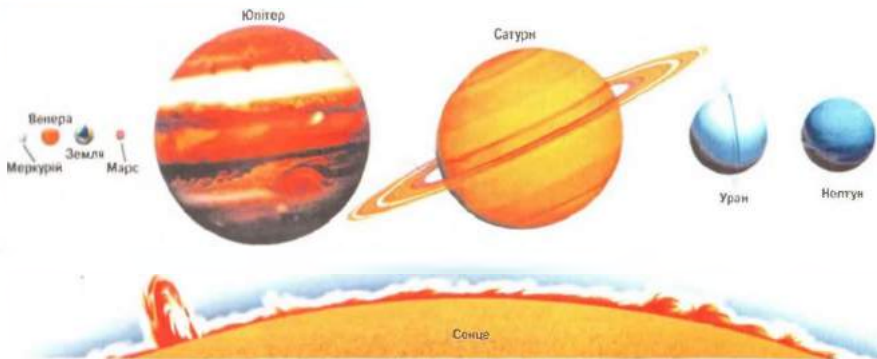


Рис. 1.12. Відносні розміри Сонця і планет Сонячної системи. Середній радіус Землі 6370 км

Відносно до Сонця планети знаходяться у такій послідовності: найближча — Меркурій, за ним — Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун.

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

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

За межами Сонячної системи, на відстані більше ніж 100 000 астрономічних одиниць, починається зона тиждіння інших зір. Неозброєним оком на небі можна побачити близько 6000 зір, які утворюють 88 сузір'їв. Насправді зір набагато більше, але від далеких світил надходить так мало світла, що їх можна спостерігати тільки в телескоп. Великі скупчення зір, що утримуються силою тяжіння, називають *галактиками*. У Всесвіті знаходяться мільярди галактик, серед яких є й наша Галактика, яку пишуть з великої літери й називають — *Молочний*, або *Чумацький Шлях*. Її ми бачимо на нічному небі як сріблясту смугу (рис. 1.13).

З інших галактик, які можна побачити неозброєним оком, виділяється *Туманність Андромеди*. Ця зоряна система за розмірами та формою нагадує нашу Галактику, і світло від неї долітає до Землі за 2 млн

Астрономічна одиниця (а. о.) — середня відстань від Землі до Сонця
 $1 \text{ а. о.} \approx 150 \cdot 10^6 \text{ км}$
Світловий рік (св. рік) — відстань, що долає світло за 1 рік, рухаючись зі швидкістю 300000 км/с
 $1 \text{ св. рік} \approx 10^{13} \text{ км}$



Рис. 1.13. Наша Галактика (з грец. — *Молочний Шлях*) — це величезна система, у якій знаходиться 400 млрд зір. Гарячі зорі розміщені у вигляді диска зі спіральними рукавами. Діаметр основної частини диска — 100 000 св. років, відстань від Сонця до центра Галактики — 25 000 св. років

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

років, тобто відетань до неї — 2 млн св. років. Галактики знаходяться у скупченнях і формують комірчасту структуру Всесвіту.

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

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

Рис. 1.14. Наша космічна адреса



У Всесвіті зареєстровано близько 10 мільярдів галактик. Якщо у кожній галактиці налічується 10^{11} зір, то загальна кількість зір у Всесвіті сягає фантастичної цифри 10^{21} . Це астрономічне число з 21 нулем уявити собі важко, тому можна порадити таке порівняння. Якщо розділити всі зорі у Всесвіті на кількість людей на Землі, то кожний з нас був би володарем однієї галактики, тобто приблизно 200 мільярдів зір.

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

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

Небесна механіка вивчає закони руху небесних тіл (див. § 4, 5).

Астрофізика — розділ астрономії, що вивчає природу космічних тіл: їхню будову, хімічний склад, фізичні властивості. (див. § 6—14)

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

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

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

— Що чекає наш Всесвіт у майбутньому?

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

Небесна механіка вивчає закони руху небесних тіл

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

Космологія вивчає будову та еволюцію Всесвіту як єдиного цілого



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

ВИСНОВКИ



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



- 1.1. Яке тіло знаходиться у центрі геоцентричної системи світу?
А. Сонце. Б. Юпітер. В. Сатурн. Г. Земля. Д. Венера.
- 1.2. Яку планету відкрив Коперник?
А. Марс. Б. Сатурн. В. Уран. Г. Землю. Д. Юпітер.
- 1.3. Що вимірюється світловими роками?
А. Час. Б. Відстань до планет. В. Період обертання. Г. Відстань до зір. Д. Відстань до галактик.
- 1.4. Як перекладається з грецької мови слово "планета"?
А. Волохата зоря. Б. Хвостата зоря. В. Блукаюча зоря. Г. Ту-манність. Д. Холодне тіло.
- 1.5. Яку структуру має наша Галактика?
А. Еліптичну. Б. Спіральну. В. Неправильну. Г. Кулясту. Д. Циліндричну.
- 1.6. Яка різниця між геоцентричною та геліоцентричною системами світу?
- 1.7. В якій послідовності відносно Сонця розташовані планети Сонячної системи?
- 1.8. Чи можуть існувати тіла за межами орбіти Нептуна?
- 1.9. Що вимірюється астрономічними одиницями?
- 1.10. Обчисліть точне значення величини (до третього знака) 1 св. року в кілометрах.
- 1.11. Обчисліть, за який час світло долітає від Сонця до Землі; до Нептуна; до межі Сонячної системи. Швидкість світла вважати рівною 300 000 км/с. Елементи орбіт планет Сонячної системи див. у дод. 3.



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



- 1.13. Самостійно відшукайте на небі яскраві зорі, які позначені на карті зоряного неба. Намалюйте яскраві зорі на небосхилі відносно орієнтирів на поверхні Землі — дерев або будинків. Порівняйте ваші малюнки з картою зоряного неба. До яких сузір'їв належать ці яскраві зорі?
- 1.14. Знайдіть серед яскравих зір таку, яка не позначена на зоряній карті. Це може бути якась планета або, можливо, ви відкрили нову зорю?!



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

Основи практичної астрономії

Вивчивши цей параграф, ми:

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

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

2.1



Рис. 2.1. Сузір'я Оріон

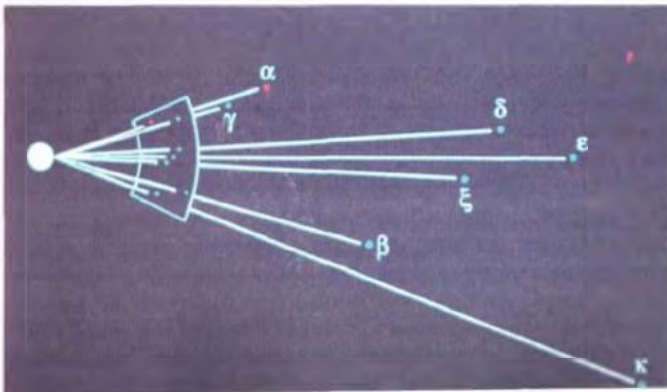
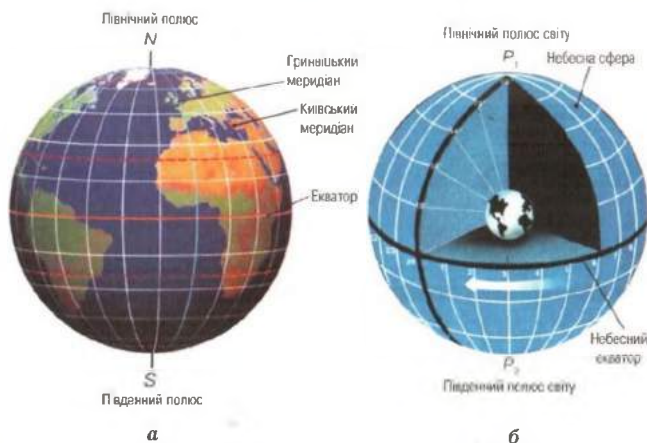


Рис. 2.2. Зорі у сузір'ї Оріон знаходяться на різній відстані від Землі, а нам здається, що вони розташовані на поверхні сфери

Точки та лінії небесної сфери. На небесній та земній сферах, можна провести деякі кола, за допомогою яких визначають небесні координати світил (рис. 2.3).

На земній сфері існують дві особливі точки — *географічні полюси*, де вісь обертання Землі перетинає поверхню планети (N, S — відповідно Північний та Пів-

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



Уявна небесна сфера довільного радіусу допомагає визначити координати небесних світил

Полюс світу — точка перетину осі обертання Землі з небесною сферою

Небесний екватор — лінія перерізу площини земного екватора з небесною сферою

Небесний меридіан — лінія перерізу площини земного меридіана з небесною сферою

денний полюси). Площина *земного екватора*, яка ділить нашу планету на північну та південну півкулі, проходить через центр Землі перпендикулярно до її осі обертання. *Меридіани* на Землі проходять через географічні полюси та точки спостереження (нульовий) меридіан проходить поблизу місцезнаходження колишньої Гринвіцької обсерваторії.

Якщо продовжити вісь обертання Землі у космос, то на небесній сфері ми отримаємо дві точки перетину, які називаються полюсами світу: *Північний полюс* P_1 (в сучасну епоху біля *Полярної зорі*) і *Південний полюс* P_2 (у сузір'ї *Октант*). Площина земного екватора перетинається з небесною сферою, і в перерізі ми отримуємо *небесний екватор*, який поділяє небо на дві *рівні півкулі* — *північну* та *південну*. Правда, існує одна суттєва відмінність між полюсами та екватором на земній кулі та полюсами світу і небесним екватором. Географічні полюси реально існують як точки на поверхні Землі, де вісь обертання Землі перетинається з поверхнею планети, і до них можна долетіти чи доїхати так само, як і до екватора. Полюсів світу як реальних точок у космічному просторі немає, бо *радіус небесної сфери є невизначеним*, тому ми можемо позначити тільки напрямком, в якому вони спостерігаються.

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

Для орієнтування на поверхні Землі астрономи застосовують терміни *прямовисна лінія* та *горизонт*. Напрямок прямовисної лінії задається силою тяжіння Землі в точці спостереження. Його можна визначити за допомогою звичайного виска-тягарця, який підвішують на нитці. Припустимо, що спостерігач знаходиться на поверхні Землі у точці O , яка має географічну широту φ (рис. 2.4). Напрямок OO_1 по виску вниз називають *надиром*, протилежний напрямку OZ , угору, — *зенітом*. Враз горизонт визначають як площину, яка є перпендикулярною до прямовисної лінії.

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

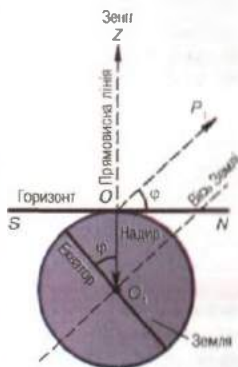


Рис. 2.4. Площина математичного горизонту перпендикулярна до прямовисної лінії

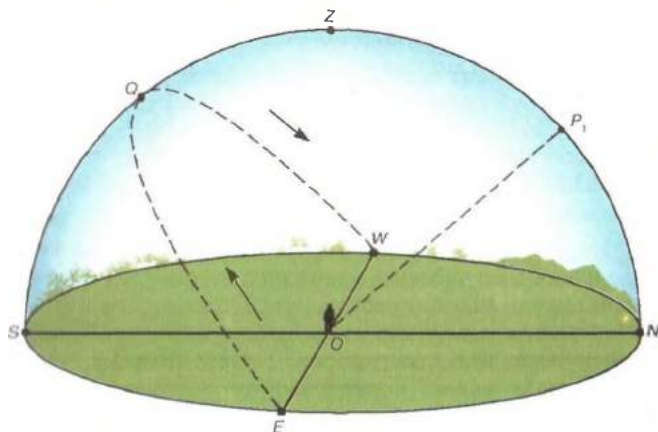


Рис. 2.5. Уночі надійним орієнтиром може бути Полярна зоря P_1 , на яку спрямована вісь обертання Землі. Якщо ми дивимося на Полярну зорю, то попереду буде напрямком на північ, позаду — південь, праворуч — схід, ліворуч — захід. Точка Q — кульмінація Сонця

Унаслідок обертання Землі навколо осі площини меридіана та горизонту протягом доби зміщуються у просторі щодо зір, але нам на поверхні Землі здається, що все відбувається навпаки — небесні світила рухаються щодо горизонту. Ми кажемо, що Сонце сходить, коли воно з'являється над обрієм на сході. Потім Сонце

Північ—південь — точки перетину небесного меридіана та горизонту

Схід—захід — точки перетину небесного екватора та горизонту



Рис. 2.6. Опівдні тінь від палички спрямована на північ

піднімається все вище і вище і опівдні займає найвище положення над горизонтом. Цей момент астрономи називають *кульмінацією* (а латин. — *вершина*). Кульмінація настає у той момент, коли Сонце перебігає площину меридіана і знаходиться над точкою півдня.

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

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

2.4

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

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

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

Існує карта зоряного неба у вигляді круга (див. вкладку). Північний полюс світу знаходиться у центрі карти поблизу Полярної зорі. Коло схилень у проекції на площину карти має вигляд лінії, яку проводять від

Небесні координати:
 α — пряме сходження;
 δ — схилення

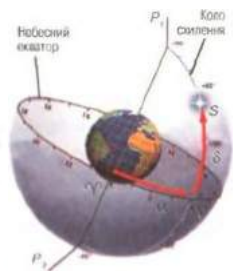
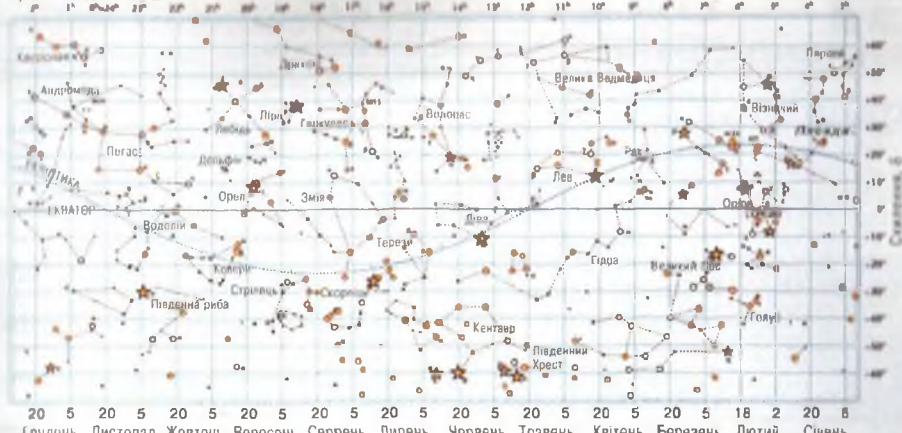


Рис. 2.7. Екваторіальна система небесних координат

Пряме схилення α



Північного полюса світу. Небесний екватор на карті зображений виділеним колом, а інші концентричні кола проведені через кожні 20° . Координату δ на карті визначають як відрізок радіальної лінії від екватора до даної зорі. Схилення зір на екваторі дорівнює 0° , а на північному полюсі світу $+90^\circ$. Пряме піднесення α на карті визначають як дугу екватора від точки весняного рівнодення до радіальної лінії, яка проведена від полюса світу через дану зорю. Для зручності відліку α позначають на екваторі.

Внаслідок обертання Землі навколо осі площина горизонту зміщується у просторі, тому всі світила теж змінюють своє положення відносно горизонту. Деякі світила навіть перетинають площину горизонту — цей момент називають *сходом* або *заходом* світила. Моменти сходу — заходу небесних світил можна визначити за допомогою рухомої карти зоряного неба, або планісфери, на якій є спеціальний накладний круг з лінією горизонту та меридіаном.

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



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

ВИСНОВКИ



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



- 2.1. Північний полюс світу знаходиться:
А. В Арктиці. Б. В Антарктиці. В. У сузір'ї Орион. Г. У сузір'ї Велика Ведмедиця. Д. Поблизу Полярної зорі.
- 2.2. Момент, коли світило знаходиться найвище над горизонтом, називається:
А. Пряме сходження. Б. Верхня кульмінація. В. Нижня кульмінація. Г. Верхня культивация. Д. Нижня культивация.
- 2.3. Чи можна в Канаді та Україні побачити одночасно сузір'я Велика Ведмедиця?
А. Не можна. Б. Можна тільки влітку. В. Можна тільки взимку. Г. Можна будь-коли. Д. Можна тільки навесні.
- 2.4. Чи можна в Австралії та Україні одночасно побачити Полярну зорю?
А. Не можна. Б. Можна тільки влітку. В. Можна тільки взимку. Г. Можна будь-коли. Д. Можна тільки восени.
- 2.5. Як називаються точки перетину небесної сфери з віссю обертання Землі, що продовжена у космос?
- 2.6. Коли настає кульмінація Сонця?
- 2.7. У який день Сонце сходить на сході й заходить на заході?
- 2.8. Чи можна в Австралії знаходити напрямок на північ за допомогою Полярної зорі?
- 2.9. Як можна на Північному полюсі Землі визначити напрямок на південь?
- 2.10. За допомогою географічної карти визначте географічні координати населеного пункту, де знаходиться ваша школа.
- 2.11. Відшукайте на карті зоряного неба якусь яскраву зорю. За допомогою накладного круга до карти виміряйте моменти, коли сходить, заходить та кульмінує ця зоря.
- 2.12. Які сузір'я ніколи не заходять для спостерігача в Україні?



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



- 2.14. 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 та будь-якою стіною вашого будинку.
- 2.15. Опівдні за допомогою тіні від палички і транспортира виміряйте кут між меридіаном та будь-якою стіною вашого будинку.



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

Вивчивши цей параграф, ви **знаєтеся**:

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

Вимірювання часу та календар

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

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

Сонячний час у певному місці, або *місцевий час* можна визначити за допомогою сонячного годинника — зви-

3.1

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



Рис. 3.1. Старовинний сонячний годинник



Рис. 3.2. Перший атомний годинник

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

Поясний час дорівнює місцевому часу середнього меридіана відповідного поясу

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

чайної палички, тінь від якої допоможе приблизно виміряти місцевий час. *Місцевий полудень* — 12 година за місцевим часом — настає в тій порі, коли триває верхня кульмінація Сонця, — тоді тінь від палички найкоротша (див. § 2).

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

Нульовий пояс проходить через Гринвіцький меридіан, тому годинники у Великобританії показують місцевий час Гринвіцького меридіана — цей час називають *всесвітнім часом*. Західна Європа живе за часом першого поясу, який на 1 год випереджає всесвітній. Україна знаходиться у другому поясі, тому *київський час* випереджає на 2 год всесвітній. Якщо поїхати на захід до Польщі, то стрілки наших годинників треба перевести на 1 год назад, а якщо подорожувати на схід до Росії — то на 1 год вперед. Правда, величезні простори Росії змушують вводити 10 часових поясів, тому, мандруючи на Далекий Схід, стрілки годинників треба переводити на 7 год вперед.

Різниця між місцевим та київським часом визначається різницею географічних довгот Києва та місця спостереження. Наприклад, ми хочемо визначити

Рис. 3.3. Годинні пояси. Земля поділена на 24 пояси, в кожному з яких всі годинники показують однаковий час. Переїжджаючи з одного поясу в інший, мандрівники переводять стрілки годинників на ціле число годин. На практиці границі годинних поясів проходять по адміністративних кордонах



різницю між київським та місцевим часом у Харкові. Довгота Києва (див. дод. 5) дорівнює 30° (або 2 год 00 хв у годинному вимірі), Харкова — 36° (або 2 год 25 хв). Тобто місцевий час у Харкові на 25 хв попереду київського, тому взимку Сонце у Харкові кульмінує приблизно об 11 год 35 хв за київським часом.

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

Київський час — час другого поясу, який на 2 год попереду всесвітнього

Лінія зміни дат проходить по меридіану 180°. Перетинаючи цей меридіан, можна подорожувати в часі на добу вперед або назад



Весною, в останню неділю березня, всі годинники більшості країн Європи переводять на 1 год вперед, запроваджується так званий літній час, тому літків київський час буде випереджати місцевий час усіх міст України. Через це літків місцевий час у Харкові відстає від київського літнього часу на 35 хв, і полудень на харківському меридіані настає о 12 год 35 хв за київським часом.

Сонячний час та зодіак. Слово "зодіак" (з грец. — *коло життя*) вперше почали вживати для визначення особливих сузір'їв ще кілька тисяч років тому. Ця назва пов'язана з тим, що Сонце, Місяць і планети можна спостерігати на тлі 12 сузір'їв, які утворюють на небесній сфері велике коло, і серед назв цих сузір'їв перераховують назви тварин.

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

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

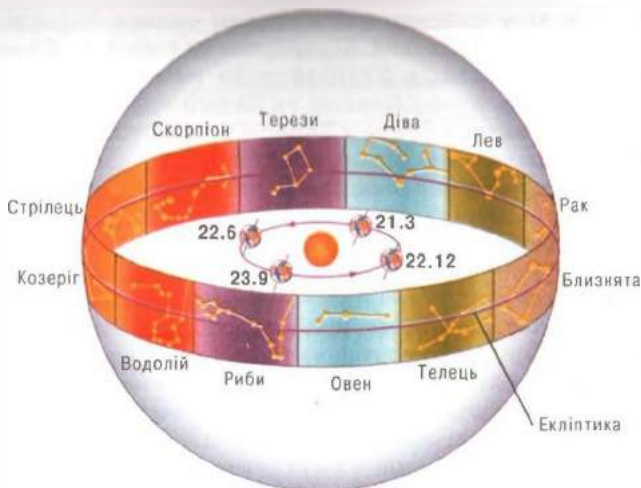
У березні сузір'я Риб з поверхні Землі не видно, бо воно перебуває за Сонцем. Астрономи цей момент описують так: "21 березня Сонце знаходиться у напрямку сузір'я Риб у точці весняного рівнодення".

3.2

Зодіак

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

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



Прецесія — зміщення осі обертання Землі відносно зір. Вісь Землі описує у космосі конус з періодом 26 000 р.



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

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

Площина екліптики протягом століть займає стале положення відносно зір, але полюси світу поступово зміщуються в космічному просторі — це явище називають *прецесією* (рис. 3.5). Вісь обертання Землі описує у космосі конус з періодом 26 000 років. І якщо в наш час Північний полюс світу знаходиться у сузір'ї *Малої Ведмедиці*, то через 13000 років він переміститься у сузір'я *Ліри*, і наші нащадки будуть визначати напрямок на північ за допомогою зорі *Вега*. Внаслідок прецесії змінюється також положення площини небесного екватора серед зір, тому в майбутньому в Україні не буде видно сузір'я *Оріон*, зате на наших широтах побачать найближчу до нас зорю *Проксиму Кентавра*.



Зверніть увагу на те, що точка весняного рівнодення знаходиться у сузір'ї Риб, але позначається знаком Овна. Причина такої дивної невідповідності полягає у тому, що 2000 років тому точка весняного рівнодення справді знаходилась у сузір'ї Овна, але внаслідок прецесії вона поступово зміщується відносно зір на 50" щорічно. Тобто протягом 2000 років точка весняного рівнодення перемістилася майже на 30° і через кілька десятків років буде вже знаходитись у сузір'ї Водоля. Ще через 13 000 років точка весняного рівнодення переміститься в сузір'я Діви, а точка осіннього рівнодення буде знаходитись у сузір'ї Риб.

Зміна пір року на Землі. З курсу природознавства відомо, що вісь обертання Землі нахилена до площини орбіти під кутом $66,5^\circ$ і це призводить до зміни пір року на Землі (рис. 3.6). Якби вісь обертання Землі була перпендикулярною до площини орбіти, то зміни пір року не відбувалося б, бо Сонце протягом року освітлювало б рівномірно північну та південну півкулі нашої планети. Зараз такі дні, коли Сонце однаково освітлює дві півкулі Землі, настають тільки двічі на рік — весною 20—21 березня і восени 22—23 вересня, коли на всіх материках однакова тривалість дня — 12 год. У всі інші місяці тривалість дня більша або менша за 12 год 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 у південній — літо (рис. 3.7, 3.8).

На широті 50 (Харків, Київ, Львів) тривалість найдовшого дня 22 червня — 16 год 20 хв — у два рази більша тривалості найкоротшого дня 22 грудня — 8 год. На широті 45 різниця між найдовшим та найкоротшим днем трохи зменшується, тому в Криму найдовший день триває 15 год 30 хв, а найкоротший — 8 год 40 хв. Тільки на екваторі тривалість дня протягом року не змінюється: там день триває близько 12 год.

Найбільше сонячної енергії поверхня Землі отримує опівдні, коли настає кульмінація Сонця, а найменше — вранці та ввечері. Вночі Земля тільки охолоджується, тому середня температура поверхні залежить також від тривалості дня і ночі. Наприклад, на широті 50 кількість енергії, яку отримує поверхня за літній день, досягає $25\ 000\ \text{кДж}/\text{м}^2$. Цікаво, що ця енергія навіть більша, ніж на екваторі, де цілий рік тривалість дня 12 год.

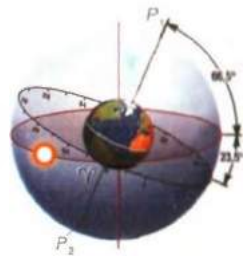


Рис. 3.6. Кут між площинами екватора та екліптики $23,5^\circ$, а кут між площиною екліптики та полюсом світу $66,5^\circ$. Це є причиною зміни пір року на Землі



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



Рис. 3.8. Механічний прилад XIX ст., який демонстрував рух планет та зміну пір року на Землі. У центрі — макет Сонця

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

Сучасний нахил осі обертання до площини орбіти під кутом $66,5^\circ$ є оптимальним для різноманітних кліматичних зон на поверхні Землі — від тропіків до полярного кола. Усі інші варіанти зміни кута нахилу осі обертання Землі призвели б до катастрофічних змін клімату і глобальної екологічної катастрофи. Наприклад, якби вісь обертання Землі була нахилена до площини орбіти під кутом 50° , то полярне коло проходило б через Україну, а тропіки — через Чорне море. На наших широтах влітку протягом місяця Сонце не заходило б за горизонт, а опівдні кульмінація була б поблизу зеніту. Розрахунки показують, що літня температура поверхні досягла б критичних для життя меж від $+60$ до $+80^\circ\text{C}$. В іншому випадку, якби вісь обертання Землі була перпендикулярною до площини орбіти, зміни пір року взагалі не було б, тому Європа могла б перетворитися в холодну напівпустелю типу тундри.



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

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

На самих полюсах полярний день триває півроку і стільки ж триває полярна ніч. Наприклад, на Північному полюсі Сонце сходить 21 березня і заходить 23 вересня. На Південному полюсі, навпаки, полярний день триває з 23 вересня до 21 березня.

3.4

Календарі створені для вимірювання великих проміжків часу. У сучасному календарі всіх європейських країн за основу береться 1 тропічний рік (365 діб 5 год 48 хв 46 с) — період обертання Землі навколо Сонця відносно точки весняного рівнодення А, але при створенні ідеального календаря виникає ускладнення, бо тропічний рік не має цілого числа діб.

Довгий час в Європі користувалися юліанським календарем, який був запроваджений ще Юлієм Цеза-

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

рем у 46 р. до н. е. У цьому календарі тривалість року була прийнята за 365 дів 6 год 00 хв 00 с, а для того, щоб рік мав ціле число дів, було прийнято, що кожні 3 роки підряд триватимуть по 365 дів, а четвертий — 366 дів (високосний рік). Але в середньому кожний календарний рік був довший за тропічний на 11 хв 14 с (365 дів 6 год 00 хв 00 с — 365 дів 5 год 48 хв 46 с = 11 хв 14 с). Тобто коли тропічний рік вже реально закінчувався, рік за юліанським календарем тривав ще 11 хв 14 с. Тому за чотири роки похибка накопичувалася і календар відставав вже на 44 хв 56 с, а за 400 років — майже на 3 доби.

Григоріанський календар, що діє в наш час, виправили цю неточність. В ньому вилучили три доби з кожних 400 років, тобто три високосні роки зробили простими. На рис. 3.9 показано, які роки були високосними за юліанським календарем, а кружечком обведені ті, які стали простими за григоріанським. Легко помітити, що це ті роки, які закінчуються двома нулями і число сотень яких не ділиться на чотири без остачі.

Григоріанський календар теж не є ідеальним, але похибку на одну добу він дає лише через 3300 років.

Прості роки мають 365 дів.

Високосний рік має 366 дів. Цю додаткову добу вводить 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

1600, 1604, ..., 1696,

1700, 1704, ..., 1796,

1800, 1804, ..., 1896,

1900, 1904, ..., 1996,

2000, 2004, ..., 2096,

2100, 2104, ..., 2196,

2200, 2204, ..., 2296,

2300, 2304, ..., 2396,

2400, 2404, ...

Три доби відставання за юліанським календарем

Три доби відставання за юліанським календарем

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



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 дів, а в майбутньому необхідно кожні 400 років не враховувати ніким це прожиті 3 доби. Новий календар був названий григоріанським (або новим стилем) на честь Папи Римського і поступово був уведений у всіх країнах Європи та Америки. Тепер різниця між юліанським та григоріанським календарями досягла вже 13 дів і збережеться ще в XXI ст. У цивільному житті України новий стиль був запроваджений урядом Центральної Ради в 1918 р.

ВИСНОВКИ



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



- 3.1. Тропіки — це така географічна широта, де:
А. Ростуть пальми. Б. Сонце ніколи не заходить. В. Під час сонцестояння Сонце кульмінує в zenіті. Г. Під час рівнодення Сонце кульмінує в zenіті. Д. Ніколи не випадає дощ.
- 3.2. Полярне коло — це така географічна широта, де:
А. Цілий рік не тане сніг. Б. Живуть білі ведмеді. В. Півроку триває ніч, а півроку — день. Г. Під час рівнодення Сонце кульмінує в zenіті. Д. У день зимового сонцестояння Сонце не сходить.
- 3.3. Під яким кутом до площини орбіти нахилена вісь обертання Землі?
А. 0°. Б. 23,5°. В. 45°. Г. 66,5°. Д. 90°.
- 3.4. Який кут між площинами екватора та екліптики?
А. 0°. Б. 23,5°. В. 45°. Г. 66,5°. Д. 90°.
- 3.5. Скільки триває найдовший день на полярному колі?
А. 12 год. Б. 24 год. В. 1 місяць. Г. 3 місяці. Д. Півроку.
- 3.6. Що є причиною зміни пір року на Землі?
- 3.7. Чому влітку набагато тепліше, ніж взимку, хоча світить нам одне і те саме Сонце?
- 3.8. Чому виникла необхідність реформи юліанського календаря?
- 3.9. В Україні за стародавньою традицією зустрічають так званий старий Новий рік — 14 січня. Звідки походить ця традиція?
- 3.10. Де на Землі тривалість дня протягом року не змінюється?
- 3.11. За допомогою тіні від палички визначте висоту Сонця над горизонтом під час верхньої кульмінації. Як змінюється цей кут протягом місяця?
- 3.12. Де пізніше заходить Сонце: у Львові чи у Харкові?
- 3.13. За допомогою карти зоряного неба визначте екваторіальні координати Сонця на день вашого народження. У якому сузір'ї спостерігається Сонце у цей день? Чи збігається це сузір'я зі знаком зодіаку в гороскопах на цей день?



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



- 3.15. Виконайте спостереження заходу або сходу Сонця у день рівнодення — 23 вересня або 21 березня. Сонце у ці дні сходить у точці сходу та заходить у точці заходу. Намалюйте положення цих точок відносно вашого будинку.



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

Закони руху планет

Вивчивши цей параграф, ви:

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

4.1

Конфігурації планет визначають розташування планет відносно Землі й Сонця та обумовлюють їхню видимість на небосхилі. Усі планети світяться відбитим сонячним промінням, тому краще видно ту планету, яка знаходиться ближче до Землі, за умови, якщо до нас повернена її денна, освітлена Сонцем півкуля.

На рис. 4.1 зображено *протистояння* (ПС) Марса (M_1), тобто таку конфігурацію, коли Земля буде знаходитися на одній прямій між Марсом та Сонцем. У протистоянні яскравість планети найбільша, тому що до Землі повернена вся її денна півкуля.

Конфігураціями планет називають характерні взаємні положення планет відносно Землі й Сонця

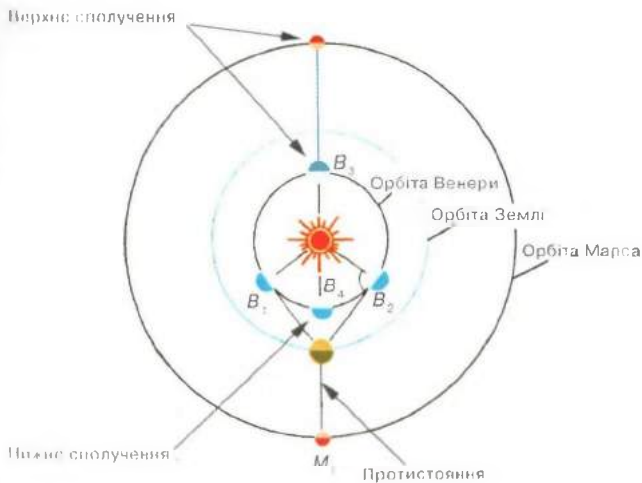


Рис. 4.1. Конфігурації Венери і Марса. Протистояння Марса — планета перебуває найближче до Землі та її видно всю ніч у протилежному від Сонця напрямку. Венеру найкраще видно ввечері у східну елонгацію (ліворуч від Сонця (B_1)) та вранці під час західної елонгації (праворуч від Сонця (B_2)).

Протистояння — планету видно з Землі цілком і в протилежному від Сонця напрямку

Елонгація — видима кутова відстань між планетою і Сонцем

Орбіти двох планет, Меркурія та Венери, розташовані ближче до Сонця, ніж Землі, тому в протистоянні вони не бувають. У положенні, коли Венера чи Меркурій знаходяться найближче до Землі, їх не видно, бо до нас повернена бічна півкуля планети (рис. 4.1, положення B_1). Така конфігурація називається *нижнім сполученням* з Сонцем. У верхньому сполученні (B_3) планету теж не видно, бо між нею та Землею знаходиться Сонце.

Найкращі умови для спостереження Венери та Меркурія бувають у конфігураціях, які називаються *елонгаціями*. Східна елонгація (СЕ) — це такий момент, коли планету видно ліворуч від Сонця ввечері ($B1$). Західна елонгація (ЗЕ) Венери спостерігається вранці, коли планету видно праворуч від Сонця в східній частині небосхилу ($B2$).

Конфігурації яскравих планет наведено у таблиці.

| Планета | 2008 р. | 2009 р. | 2010 р. | 2011 р. |
|---------|------------|------------|------------|-----------|
| Венера | 09.06 (BC) | 15.01 (CE) | 27.10(HC) | 8.01(3E) |
| Марс | 05.12 (Cп) | — | 27.01 (ПC) | — |
| Юпітер | 09.07 (ПC) | 14.08 (ПC) | 21.09 (ПC) | 29.10(ПC) |
| Сатурн | 24.02 (ПC) | 08.03 (ПC) | 22.03 (ПC) | 4.04(ПC) |

4.2

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

Синодичний період обертання визначає рух тіл відносно Землі і Сонця. Це проміжок часу, через який спостерігаються одні й ті самі послідовні конфігурації планет (протистояння, сполучення, елонгації). На рис. 4.2. положення С—31— M_1 та С—32— M_2 — два послідовні протистояння Марса.

Між синодичними S та сидеричними T періодами обертання планети існує таке співвідношення:

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

де $T_{\odot} = 1$ рік — сидеричний період обертання Землі навколо Сонця.

У формулі (4.1) знак "+" застосовується для Венери і Меркурія, які обертаються навколо Сонця швидше, ніж Земля. Для інших планет застосовується знак "-".

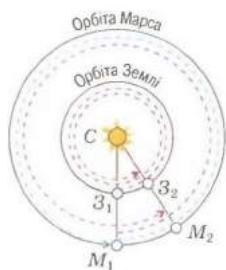


Рис. 4.2. Шлях, що відповідає сидеричному періоду обертання Марса навколо Сонця, зображено пунктиром чорного кольору, синодичному — пунктиром червоного кольору. $T_{\odot} = 1$ рік; $T_{\text{Марса}} \approx 1,9$ року; $S_{\text{Марса}} \approx 2,1$ року

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

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

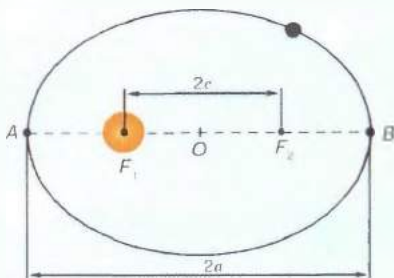
Головний наслідок з першого закону Кеплера: відстань між планетою та Сонцем не залишається сталою і змінюється у межах $r_{\max} \leq r \leq r_{\min}$ (на рис. 4.4 $r_{\min} = BF_1$, $r_{\max} = AF_1$).

Точка А орбіти, де планета підходить найближче до Сонця, називається *перигелієм* (від грец. *peri* — поблизу, *helios* — Сонце), а точка, де планета знаходиться на найбільшій відстані від Сонця (точка В), — *афелієм* (від грец. *apo* — вдалині). Сума відстаней від планети до Сонця в перигелії та афелії дорівнює великій осі АВ еліпса: $r_{\max} + r_{\min} = 2a$.



Рис. 4.3. Й. Кеплер (1571–1630)

Рис. 4.4. Планети обертаються навколо Сонця по еліпсах. $AF_1 = r_{\min}$ — в перигелії; $BF_1 = r_{\max}$ — в афелії



Велика піввісь земної орбіти (ОА або ОВ) називається *астрономічною одиницею*, $a = 1 \text{ а. о.} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ км}$.

Ступінь сплюсненості еліпса характеризується ексцентриситетом e — відношенням відстані між фокусами $2c$ до довжини великої осі $2a$, тобто $e = c/a$, $0 < e < 1$.

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

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

Земля в перигелії
3–4 січня на найменшій відстані від Сонця — 147 млн км

Земля в афелії
4 липня найдаліше від Сонця — 152 млн км

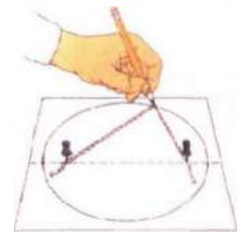


Рис. 4.5. Як правильно намалювати еліпс

Найбільшу швидкість

Земля має взимку:

$$V_{\max} = 30,38 \text{ км/с}$$

Найменшу швидкість

Земля має влітку:

$$V_{\min} = 29,36 \text{ км/с}$$

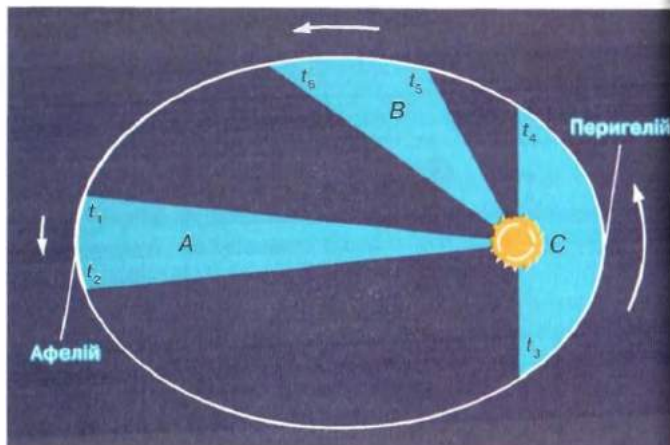
Супутники планет теж рухаються по еліптичних орбітах, причому у фокусі кожної орбіти знаходиться центр відповідної планети.

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

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

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

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



Якщо перший закон Кеплера перевірити в умовах школи досить важко, бо для цього треба виміряти відстань від Землі до Сонця взимку та влітку, то другий закон Кеплера може перевірити кожний учень. Для цього треба переконатися, що швидкість Землі протягом року змінюється. Для перевірки можна використати звичайний календар і порахувати кількість днів від весняного до осіннього рівнодення (21.03—23.09) та, навпаки, від 23.09 до 21.03. Згідно з другим законом Кеплера взимку швидкість Землі більша, а влітку — менша, тому літо у північній півкулі триває трохи більше, ніж зима, а у південній півкулі, навпаки, зима трохи довші за літо.

У липні Земля рухається повільніше, тому тривалість літа в північній півкулі більша, ніж в південній. Цим пояснюється, що середньорічна температура північної півкулі Землі вища, ніж південної

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

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

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

Якщо визначити велику піввісь орбіти якоїсь планети чи астероїда, то згідно з третім законом Кеплера можна обчислити період обертання цього тіла, не чекаючи, поки воно зробить повний оберт навколо Сонця. Наприклад, у 1930 р. було відкрито нову планету Сонячної системи — Плутон і відразу ж було визначено період обертання цієї планети навколо Сонця — 248 років (рис. 4.7). Правда, у 2006 р., згідно з постановою в'їду Міжнародного Астрономічного Союзу Плутон перевели у статус *планет-карликів*, бо його орбіта перетинає орбіту Нептуна (див. §11) Третій закон Кеплера використовується також і в космонавтиці, якщо треба визначити період обертання навколо Землі супутників, космічних кораблів або обчислити час польоту міжпланетних станцій на інші планети Сонячної системи (див. § 5).

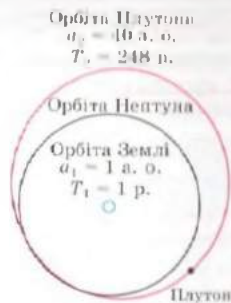


Рис. 4.7. Із спостережень була визначена велика піввісь орбіти Плутона $a_2 = 40$ а. о. Враховуючи параметри орбіти Землі a_1 , T_1 , згідно з (4.2), маємо $T_2 = 248$ р.

Закон всесвітнього тяжіння. Великий англійський фізик та математик Ісаак Ньютон довів, що фізичною основою законів Кеплера є фундаментальний закон *всесвітнього тяжіння*, який не тільки зумовлює рух планет у Сонячній системі, але й визначає взаємодію зір у Галактиці. У 1687 р. І. Ньютон сформулював цей закон так: *дві матеріальні точки притягуються одна до одної з силою, величина якої пропорційна добуткові їхніх мас та обернено пропорційна квадрату відстані між ними* (рис. 4.8):

$$F = G \frac{mM}{R^2}, \quad (4.3)$$

де G — гравітаційна стала; m та M — маси матеріальних точок; R — відстань між цими точками.

Слід звернути увагу, що формула (4.3) справедлива тільки для двох матеріальних точок. Якщо тіло має сферичну форму і густина всередині розподілена симетрично щодо центра, то масу такого тіла можна вважати за матеріальну точку, яка знаходиться у центрі сфери. Наприклад, якщо космічний корабель обер-

сил, то є сили, а якіми тіла притягуються, рівні за величиною і протилежні за напрямком

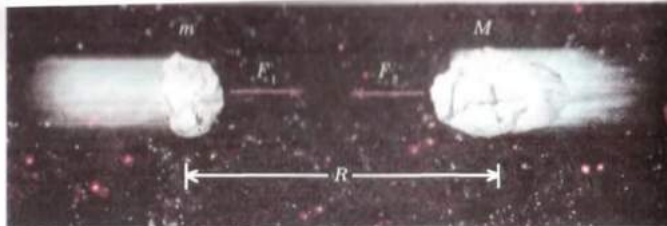


Рис. 4.9. Сила тяжіння, яка діє на космічний корабель, залежить від відстані $R+H$ між кораблем та центром Землі

тається навколо Землі, то для визначення сили, з якою корабель притягується до Землі, беруть відстань від нього до центра Землі $R + H$, а не до поверхні (рис. 4.9).

За допомогою формули (4.3) можна визначити вагу космонавтів на будь-якій планеті, якщо відомі її радіус R і маса M (рис. 4.10).

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



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

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

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



Важливість закону всесвітнього тяжіння полягає в тому, що ми не знаємо, яким чином передається на величезній відстані притягання між тілами. Від часу відкриття цього закону вчені придумали десятки гіпотез щодо суті гравітаційної взаємодії, але наші знання сьогодні не набагато більші, ніж за часів Ньютона. Правда, фізики відкрили ще 3 таємничі взаємодії між матеріальними тілами, які передаються на відстані: електромагнітна взаємодія, сильна та слабка взаємодія між елементарними частинками в атомному ядрі. Серед цих чотирьох різновидів взаємодії гравітаційні сили є найслабкішими. Наприклад, у порівнянні з електромагнітними силами гравітаційне притягання в 10^{39} раз слабше, але чомусь тільки гравітація керує рухом планет, а також впливає на еволюцію цілого Всесвіту.

Визначення відстаней до планет. Для вимірювання відстаней до планет в астрономічних одиницях можна використати третій закон Кеплера, але для цього треба визначити геометричним методом відстань від Землі до будь-якої планети. Припустимо, що потрібно виміряти відстань L від центра Землі O до світила S (рис. 4.11). За базис приймають радіус Землі $R_{\oplus} = OA$ й вимірюють $\angle ASO = p$, який називають *горизонтальним паралаксом світила*, бо одна сторона прямокутного трикутника — катет AS є горизонтом для точки A . Горизонтальний паралакс (від грец. — *зміщення*) світила — це кут, під яким було б видно перпендикулярний до променя зору радіус Землі, якби сам спостерігач перебував на цьому світилі. Із прямокутного трикутника OAS визначаємо гіпотенузу:

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

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

Чим далі від Землі знаходиться світило, тим менше буде значення паралакса. Наприклад, найбільший горизонтальний паралакс має Місяць, коли він знаходиться найближче до Землі: $p = 1^\circ$. Горизонтальний паралакс планет набагато менший, і він не залишається сталим, бо відстані між Землею та планетами змінюються. Серед планет найбільший горизонтальний паралакс має Венера — $31''$, а найменший паралакс $0,21''$ — Нептун. Для порівняння можна навести приклад, що під кутом $1''$ видно літеру "О" у цій книзі з відстані 100 м — такі крихітні кути змушені вимірювати астрономи для визначення горизонтальних паралаксів космічних тіл.

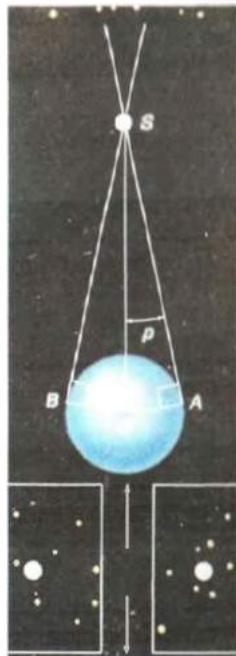


Рис. 4.11. Горизонтальний паралакс p світила визначає кут, під яким з цього світила було б видно перпендикулярний до променя зору радіус Землі

| Горизонтальні паралакси деяких тіл: | |
|-------------------------------------|------------------|
| Місяць | $1^\circ = 60''$ |
| Венера | $31''$ |
| Марс | $23''$ |
| Сонце | $8,8''$ |
| Нептун | $0,21''$ |

ВИСНОВКИ



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



- 4.1. Як називається розташування планет в космічному просторі відносно Землі й Сонця?
А. Конфігурація. Б. Протистояння. В. Космогонія. Г. Піднесення. Д. Переміщення.
- 4.2. У протистоянні можуть спостерігатися такі планети:
А. Сатурн. Б. Венера. В. Меркурій. Г. Юпітер.
- 4.3. У сполученні з Сонцем можуть знаходитися такі планети:
А. Сатурн. Б. Венера. В. Меркурій. Г. Юпітер.
- 4.4. У якому сузір'ї можна побачити Марс під час протистояння, яке відбувається 28 серпня?
А. Лев. Б. Козерог. В. Оріон. Г. Риби. Д. Водолій.
- 4.5. Як називається точка орбіти, де планета знаходиться найближче до Сонця?
А. Перигелій. Б. Перигей. В. Апогей. Г. Афелій. Д. Апекс.
- 4.6. Як називається точка орбіти, де планета знаходиться найдалше від Сонця?
А. Перигелій. Б. Перигей. В. Апогей. Г. Афелій. Д. Апекс.
- 4.7. Коли Марс видно на небі цілу ніч?
- 4.8. Чи можна Венеру побачити у той час, коли вона знаходиться найближче до Землі?
- 4.9. У яку пору року орбітальна швидкість Землі найбільша?
- 4.10. Чому Меркурій важко побачити на небі, хоча він буває яскравішим за Сіріус?
- 4.11. Чи можна було б з поверхні Марса побачити Землю під час протистояння Марса?
- 4.12. Астероїд обертається навколо Сонця з періодом 3 роки. Чи може цей астероїд зіткнутися з Землею, якщо в афелії він знаходиться на відстані 3 а. о. від Сонця?
- 4.13. Чи може існувати в Сонячній системі комета, яка в афелії проходить біля Плутона та обертається навколо Сонця з періодом 100 років?
- 4.14. Виведіть формулу для обчислення ваги космонавтів на будь-якій планеті, якщо відомі її радіус та маса.



- 4.15. Як змінився б клімат Землі, якби ексцентриситет земної орбіти дорівнював 0,5, а велика піввісь залишилася б такою, як зараз?



- 4.16. Визначте за допомогою астрономічного календаря, яка планета Сонячної системи знаходиться найближче до Землі на день вашого народження. У якому сузір'ї її можна побачити сьогодні вночі?



Афелій, елонгація, конфігурації планет, паралакс, перигелій, протистояння, сидеричний та синодичний період.

Вивчивши цей параграф, ми:

- задаємо тих учених, які зробили значний внесок в освоєння космосу;
- дізнаємося, як можна змінювати орбіту космічних кораблів;
- довідаємося, яку користь дає космонавтика.

5.1

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

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

Костянтин Ціолковський (1856—1937) створив теорію реактивного руху. В 1902 р. вперше довів, що тільки за допомогою реактивного двигуна можна досягти першої космічної швидкості.

Український вчений Юрій Кондратюк (Олександр Шаргей) (1898—1942) у 1918 р. розрахував траєкторію польоту на Місяць, яка була пізніше застосована у США під час підготовки космічних експедицій "Аполлон".

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



К. Ціолковський



Ю. Кондратюк

5.2

Колова швидкість. Розглянемо орбіту супутника, який обертається по коловій орбіті на висоті H над поверхнею Землі (рис. 5.1). Для того щоб орбіта була сталою і не змінювала свої параметри, повинні виконуватися дві умови:

- 1) вектор швидкості має бути спрямований по дотичній до орбіти;
- 2) лінійна швидкість супутника має дорівнювати коловій швидкості, яка визначається рівнянням:

$$V_1 = \sqrt{G \frac{M_*}{R_* + H}}, \quad (5.1)$$

де $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ (Н} \cdot \text{м}^2\text{)/кг}^2$ — стала всесвітнього тяжіння; $M = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ — маса Землі; $R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$ — радіус Землі; H — висота супутника над поверхнею Землі.

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

$$V_1 = \sqrt{G \frac{M_{\oplus}}{R_{\oplus}}} = 7,9 \text{ км/с}. \quad (5.2)$$

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

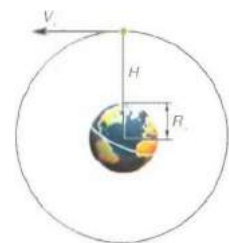


Рис. 5.1. Колова швидкість визначає рух тіла навколо Землі на сталій висоті h над її поверхнею

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



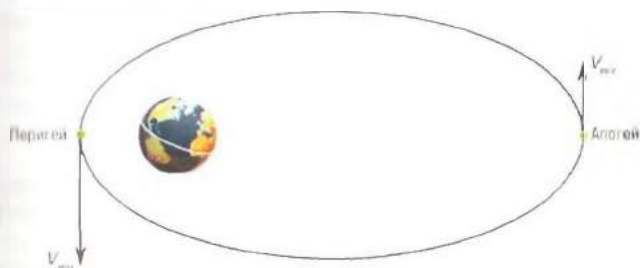
Невагомість у космічному кораблі настає під час польоту в момент, коли припиняють роботу ракетні двигуни. Для того щоб відчутти стан невагомість, не обов'язково летіти у космос. Будь-який стрибок у висоту чи довжину, коли зникає опора для ніг, дає нам короточасне відчуття космічного польоту.

5.3

Рух космічних апаратів по еліптичних орбітах. Якщо величина швидкості супутника буде відрізнятися від головної або вектор швидкості не буде паралельний до горизонту, тоді космічний апарат (КА) буде обертатися навколо Землі по еліптичній траєкторії. Згідно з

першим законом Кеплера в одному з фокусів еліпса повиний знаходитися центр Землі, тому площина орбіти супутника має перетинати площину екватора, або абігатися з нею (рис. 5.2). Висота супутника над поверхнею Землі змінюється у межах від перигею до апогею. Ці назви аналогічні відповідним точкам на орбітах планет — *перигелію* та *афелію* (див. § 4).

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



Перигей — точка орбіти КА, яка знаходиться найближче до Землі

Апогей — точка орбіти КА, яка знаходиться найдаліше від Землі

Рис. 5.2. Рух супутника по еліптичній траєкторії схожий на обертання планет у зоні тяжіння Сонця. Зміна швидкості визначається законом збереження енергії: сума кінетичної та потенціальної енергії тіла під час руху по орбіті залишається сталою

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

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

де T_c — період обертання супутника навколо Землі; $T_M = 27,3$ доби — сидеричний період обертання Місяця навколо Землі; a_c — велика піввісь орбіти супутника; $a_M = 380\,000$ км — велика піввісь орбіти Місяця. Із рівняння (5.3) визначаємо:

$$T_c = T_M \sqrt{\frac{a_c^3}{a_M^3}}. \quad (5.4)$$

У космонавтиці особливу роль відіграють ШСЗ, які "висять" над однією точкою Землі. Такі супутники називають *геостационарними*, їх зручно використовувати для космічного зв'язку (рис. 5.3).

5.4

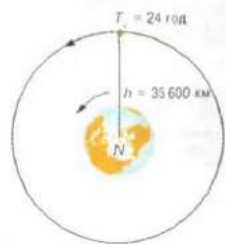


Рис. 5.3. Геостационарний супутник обертання навколо Землі на висоті 35 600 км тільки по колійній орбіті в площині екватора з періодом 24 год (N — північний полюс)



Для забезпечення глобального зв'язку достатньо вивести на геостационарну орбіту 3 супутники, які мають "висіти" при вершинах правильного трикутника. Зараз на такій орбіті знаходяться вже кілька десятків комерційних супутників різних країн, які забезпечують ретрансляцію телевізійних програм, мобільний телефонний зв'язок, комп'ютерну мережу Інтернет. Супутники зв'язку виводять на орбіти також українські ракети "Зеніт" та "Дніпро".

5.5

Друга і третя космічні швидкості визначають умови відповідно для міжпланетних та міжзоряних перельотів. Якщо порівняти другу космічну швидкість V_2 з першою V_1 (5.2), то отримуємо співвідношення:

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

тобто $V_2 = \sqrt{2}V_1 = 11,2$ км/с.

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

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

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

Третя космічна швидкість 16,7 км/с — мінімальна швидкість, коли ракета при старті з поверхні Землі може покинути сферу тяжіння Сонця і полетіти у галактичний простір



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

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

5.6

Практичне використання космонавтики. У наш час космонавтика використовується не тільки для вивчення Всесвіту, але й приносить велику практичну користь людям на Землі. Штучні космічні апарати вивча-

ють погоду, досліджують космос, допомагають вирішувати екологічні проблеми нашої планети, ведуть пошуки корисних копалин, забезпечують радіонавігацію (рис. 5.4, 5.5). Але найбільший успіх космонавтики випав на долю космічних засобів зв'язку, космічного мобільного телефону, телебачення та Інтернету.

Україна бере активну участь у міжнародних космічних програмах. Учені проектують будівництво космічних сонячних електростанцій, які будуть передавати енергію на Землю. У недалекому майбутньому хтось з тих учнів, які зараз вчаться в школі, полетить на Марс, буде освоювати Місяць та астероїди. Нас чекають загадкові чужі світи і зустріч з іншими формами життя, а можливо, й з інопланетними цивілізаціями.

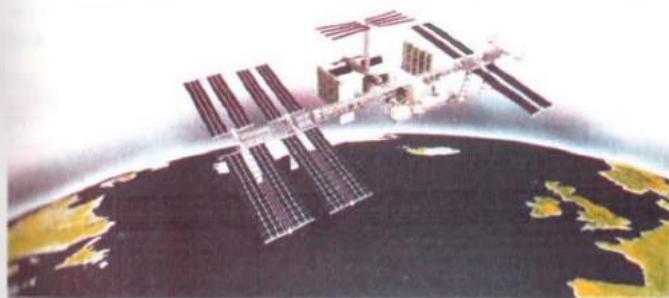


Рис. 5.4. Міжнародна космічна станція



Рис. 5.5. Космічна станція у вигляді велетенського кільця, ідею якої запропонував К. Ціолковський. Обертання станції навколо осі створює штучне тяжіння


ВИСНОВКИ




Космонавтика як наука про польоти в міжпланетний простір бурхливо розвивається і займає особливе місце в методах вивчення небесних тіл і космічного середовища. Космонавтика успішно використовується в наукових дослідженнях, засобах зв'язку, навігації, геології, метеорології та багатьох інших галузях діяльності людини.



- 5.1. З першою космічною швидкістю може летіти космічний корабель, що обертається навколо Землі по коловій орбіті на такій висоті над поверхнею:
А. 0 км. Б. 100 км. В. 200 км. Г. 1000 км. Д. 10 000 км.
- 5.2. Ракета стартує з поверхні Землі з другою космічною швидкістю. Куди вона долетить?
А. До Місяця. Б. До Сонця. В. Стане супутником Сонця. Г. Стане супутником Марса. Д. Полетить до зір.
- 5.3. Космічний корабель обертається навколо Землі по еліптичній орбіті. Як називається точка орбіти, де космонавти знаходяться найближче до Землі?
А. Перигей. Б. Перигелій. В. Апогей. Г. Афелій. Д. Парсек.
- 5.4. Ракета з космічним кораблем стартує з космодрому. Коли космонавти починають відчувати невагомість?
А. На висоті 100 м. Б. На висоті 100 км. В. Коли вимикаються реактивні двигуни. Г. Коли ракета потрапляє у безповітряний простір. Д. На висоті 300 км.
- 5.5. Які з цих фізичних законів не виконуються в невагомості?
А. Закон Гука. Б. Закон Кулона. В. Закон всесвітнього тяжіння. Г. Закон Бойля—Маріотта. Д. Закон Архімеда.
- 5.6. Чому жодний супутник не може обертатися навколо Землі по коловій орбіті з першою космічною швидкістю?
- 5.7. Чим відрізняється перигей від перигелію?
- 5.8. Чому під час старту космічного корабля виникає перевантаження?
- 5.9. Чи виконується у невагомості закон Архімеда?
- 5.10. Космічний корабель обертається навколо Землі по коловій орбіті на висоті 200 км. Визначте лінійну швидкість корабля.
- 5.11. Чи може космічний корабель зробити за добу 24 оберти навколо Землі?




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



5.13. Відшукайте на небі яскравий супутник або міжнародну космічну станцію та намалюйте її шлях серед зір. Чим відрізняється політ супутника від руху планет?

5.14. Визначте момент, коли супутник увійде у тінь Землі, та намалюйте положення Сонця, Землі та супутника у цей час.



Апогей, геостационарний супутник, друга космічна швидкість, колова швидкість, перигей, перша космічна швидкість.

Методи астрофізичних досліджень

Вивчивши цей параграф, ми:

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

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

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

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

6.1

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



Астрофізичні експерименти у космосі все ж таки відбуваються — їх здійснює сама природа, а астрономи спостерігають за тими процесами, які відбуваються в далеких світах, і аналізують одержані результати. Ми спостерігаємо свосвідні явища у 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 проводить фізики на поверхні Землі. До того ж за допомогою АМС астрономи проводять справжні фізичні експерименти як на поверхні інших космічних тіл, так і у міжпланетному просторі.

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

Зорі випромінюють електромагнітні хвилі різної довжини λ , але залежно від температури поверхні найбільше енергії припадає на певну частину спектру $\lambda_{\text{вих}}$ (рис. 6.1). Цим пояснюються різноманітні кольори зір — від червоного до синього (див. § 13).

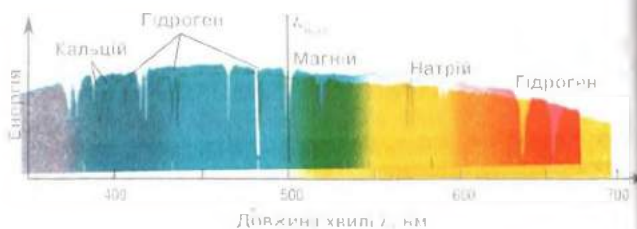


Рис. 6.1. Спектр випромінювання зірки з температурою $T = 5800$ К. Зліва на графіку відповідають темним лініям поглинання, які утворюють окремі хімічні елементи.

Використовуючи закони випромінювання чорного тіла, які відкрили фізики на Землі, астрономи розраховують температуру далеких космічних світил (рис. 6.2).

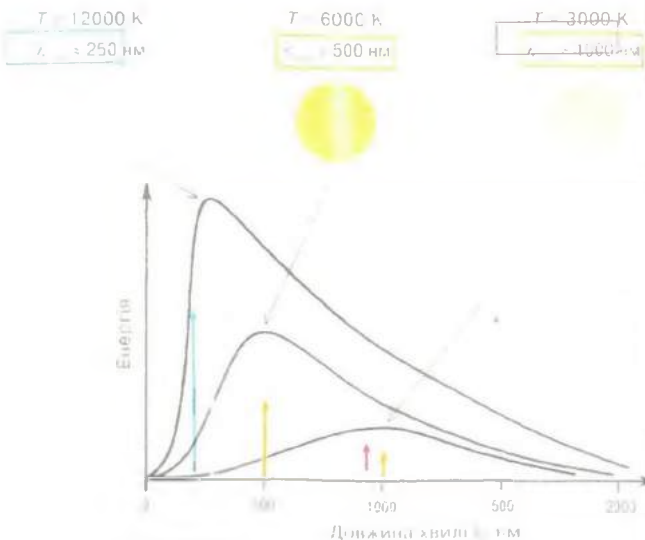


Рис. 6.2. Розподіл енергії в спектрі випромінювання зір. Колір зір визначає температуру поверхні T : сині зорі мають температуру 12 000 К, а червоні — 3000 К. При збільшенні температури зірки зменшується довжина хвилі $\lambda_{\text{вих}}$, яка відповідає максимуму енергії випромінювання.

При температурі 300 К абсолютно чорне тіло випромінює енергію переважно в інфрачервоній частині спектра, яка не сприймається неозброєним оком. При низьких температурах таке тіло, аналогічне у ставі термодинамічної рівноваги, має справді чорний колір.



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

Астрономічні спостереження неозброєним оком.

Око 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. Встановлено, що роздільна здатність ока людини не перевищує $1'$ (рис. 6.3). Це означає, що ми можемо бачити окремо дві зорі (або дві букви у тексті книги), якщо кут між ними $\alpha \geq 1'$, а якщо кут менший $1'$, то ці зорі зливаються в одне світило, тому розрізнити їх неможливо. Ми розрізняємо диски Місяця та Сонця, бо кут, під яким видно діаметр цих світил (кутовий діаметр), дорівнює близько $30'$, в той час як кутові діаметри планет та зір менші ніж $1'$, тому ці світила неозброєним оком видно як яскраві точки. З планети Нептун диск Сонця для космонавтів буде мати вигляд яскравої зорі.

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

6.3



Рис. 6.3. Ми розрізняємо диск Місяця, бо його кутовий діаметр $30'$, в той час як кратери неозброєним оком не видно, бо їхній кутовий діаметр менший $1'$. Гострота зору визначається кутом



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

6.4



Рис. 6.4. Схема лінзового телескопа (рефрактора)



Рис. 6.5. Схема дзеркального телескопа (рефлектора)

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

Припустимо, що на нескінченності знаходиться небесне світило, яке для неозброєного ока видно під кутом α_1 . Двоопукла лінза, яку називають об'єктивом, буде зображення світила у фокальній площині на відстані F від об'єктива (рис. 6.4). У фокальній площині встановлюють фотопластину, відеокамеру або інший приймач зображення. Для візуальних спостережень використовують короткофокусну лінзу — лупу, яку називають окуляром.

Збільшення телескопа визначається так:

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

де α_2 — кут зору на виході окуляра; α_1 — кут зору, під яким зорю 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 з більшим діаметром об'єктива.

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

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

Рефрактор — телескоп, у якому для створення зображення використовують лінзи

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



Шкільні телескопи-рефрактори мають об'єктиви з фокусною відстанню 80 — 100 см та набір окулярів з фокусними відстанями 1 — 6 см. Тобто збільшення шкільних телескопів згідно з формулою (6.1) може бути від 15 до 100 разів. У сучасних астрономічних обсерваторіях є телескопи, у яких $F > 10$ м, тому збільшення цих оптичних приладів може перевищувати 1000.

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



Рис. 6.6. Матриця ПЗЗ

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

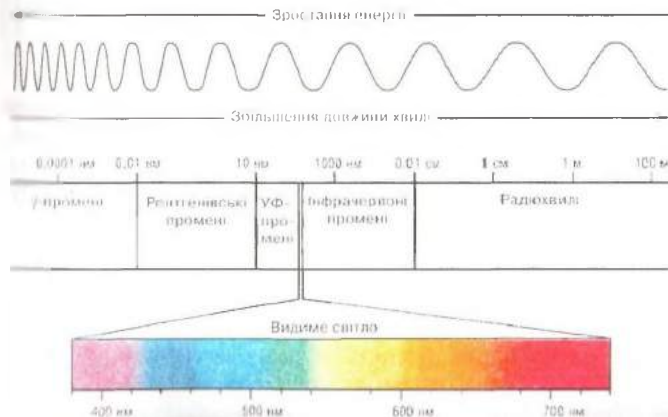


Рис. 6.7. Шкала електромагнітних хвиль

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

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



Рис. 6.8. 70-метровий радіотелескоп РТ-70 знаходиться у Криму біля Євпаторії

Рис. 6.9. Тисячі антен найбільшого у світі радіотелескопа УТР-2 (Український Т-подібний радіотелескоп) зверху мають вигляд велетенської літери "Т" з розмірами 1800 × 900 м



Принцип інтерференції електромагнітних хвиль дозволяє об'єднати радіотелескопи, які розташовані на відстані кількох тисяч кілометрів, що збільшує їхню роздільну здатність до $0,00001''$ — це в сотні разів перевершує можливість оптичних телескопів.

6.7

Вивчення Всесвіту за допомогою космічних апаратів.

З початком космічної ери настає новий етап вивчення Всесвіту за допомогою ШСЗ та АМС. Космічні методи мають суттєву перевагу перед наземними спостереженнями, тому що значна частина електромагнітного випромінювання зір та 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 боку воно обмежує потік інформації від світил. У 1990 р. в США був створений унікальний космічний

телескоп Габбла з діаметром дзеркала 2,4 м (рис. 6.10). У космосі функціонує багато обсерваторій, які реєструють та аналізують випромінювання всіх діапазонів — від радіохвиль до гамма-променів (рис. 6.7).

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

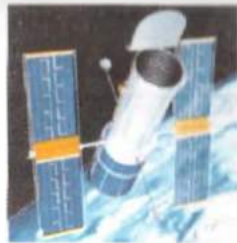


Рис. 6.10. Космічний телескоп Габбла знаходиться за межами атмосфери, тому його роздільна здатність у 10 разів, а чутливість у 50 разів перевершують можливості наземних телескопів



Рис. 6.11. Астрономічна обсерваторія



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

ВИСНОВКИ



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



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



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



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



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

Значинши цей параграф, ми:

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

Земля і Місяць

7.1

Планети земної групи та планети-гіганти. Планети Сонячної системи за розмірами і будовою діляться на дві групи (рис. 7.1) — планети земної групи (Меркурій, Венера, Земля, Марс) та планети-гіганти (Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун). Суттєва відмінність між цими групами планет полягає в таких факторах (див. таблицю):

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

Земля ⊕

Радіус 6378 км
 Маса $6 \cdot 10^{24}$ кг
 Густина $5,5 \text{ г/см}^3$
 Прискорення вільного падіння $g_{\text{З}} = 9,8 \text{ м/с}^2$
 Атмосфера: $\text{N}_2, \text{O}_2, \text{H}_2\text{O}$
 Тиск 1 атм
 Велика півнісь орбіти 1 н.о.
 Рік 365 днів 5 год 48 хв 46 с
 Температура поверхні, °C:
 середня +16
 максимальна +60
 мінімальна -88

| Основні параметри | Планети | |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Земна група | Гіганти |
| Середня густина | $\approx 5 \text{ г/см}^3$ | $\approx 1 \text{ г/см}^3$ |
| Хімічний склад | Fe, Si, Al | H_2, He |
| Температура під хмарами | 200—700 К | $\approx 2000 \text{ К}$ |
| Кількість супутників | 3 | 163 |

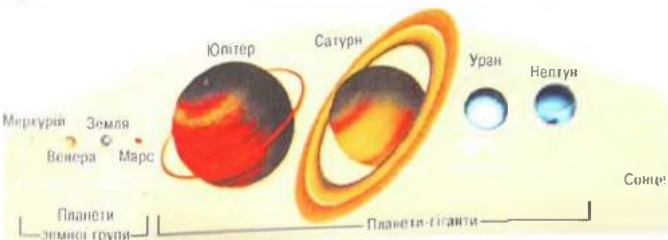


Рис. 7.1. Порівняльні розміри планет земної групи та планет-гігантів



Рис. 7.2. Фотографія Землі з космосу

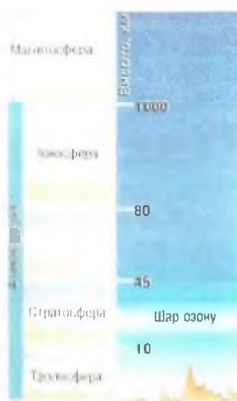


Рис. 7.3. Будова атмосфери Землі. Повітря нагрівається від поверхні, тому температура в тропосфері з висотою знижується

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

Хімічний склад атмосфери (рис. 7.3)

Найбільшою складовою атмосфери (78 % об'єму) є азот N_2 , який відіграє важливу роль у житті рослин. Кисень O_2 є необхідним елементом для дихання людей і тварин та складає 21 % об'єму атмосфери.

Пара води H_2O , яка теж знаходиться в атмосфері, затримує інфрачервоне випромінювання Землі та створює *парниковий ефект*, внаслідок чого температура поверхні підвищується. Середня температура поверхні Землі +16 °С, а якби не було в атмосфері пари води, то температура навіть на екваторі могла б знизитися до -25 °С. Погода (вітри, циклони та антициклони) формується у нижніх шарах атмосфери, яка називається тропосферою, де передача енергії відбувається не тільки випромінюванням, а й за допомогою конвекції.

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

Магнітне поле Землі створює навколо нашої планети на висоті понад 500 км пояси радіації. Елементарні частинки, які рухаються у міжпланетному просторі з величезною швидкістю і мають електричний заряд, взаємодіють з магнітним полем Землі й тому не долітають до атмосфери. Таким чином, магнітне поле захищає життя на Землі від смертельних потоків космічних частинок.



Якби кількість кисню в атмосфері була на кілька відсотків більшою, то виникали б постійні пожежі, бо мокрі дерева горіли б, як сірники, а якби кисню в атмосфері було трохи менше ніж 18 %, то неможливо було б запалити сірника... Шар озону O_3 (алотропна видозміна кисню) захищає живі організми від ультрафіолетового випромінювання Сонця. Ультрафіолетові промені знищують мікроорганізми та рослини, викликають у людей захворювання. Якби не стало озонового шару в атмосфері, то не було б життя на поверхні Землі.

Екологічна система Землі знаходиться у стані своєрідної стійкої рівноваги, тому невеликі збурення в атмосфері або сонячній радіації суттєво не впливають на загальний стан цієї системи. Але геологічні дослідження показують, що в минулому відбувалися *екологічні катастрофи*, внаслідок яких різко знижувалася температура та наставали так звані льодовикові періоди. Для прогнозування майбутнього необхідно знати причини, що призводять до таких катастрофічних процесів. Причиною раптового зниження температури на поверхні Землі можуть бути зовнішні фактори, наприклад падіння астероїда (див. § 11), геологічні процеси — *виверження вулканів* або *рух материків*, та *антропогенні* фактори.

Будова Землі. Геологічні дослідження показали, що температура всередині Землі зростає кожні 34 м на 1°C і у свердловинах на глибині 10 км досягає $+300^{\circ}\text{C}$. У центрі Землі існує металічне ядро (рис. 7.4), частина якого знаходиться у розплавленому стані при температурі 7000°C . Вище знаходиться мантія, яка складається переважно з кремнезему (SiO_2). На мантії "плаває" кора, товщина якої коливається від 5 км під океанами до 50 км під материками. Внаслідок конвекції у мантії земна кора розділилася на окремі плити, які повільно рухаються в різні боки (рис. 7.5).

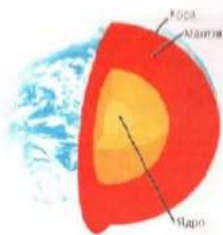
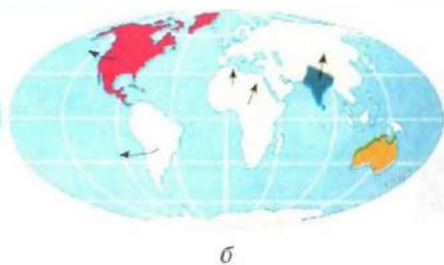


Рис. 7.4. Внутрішня будова Землі

Рух материків. а — Вважають, що 200 млн років тому існували єдиний материк — Пангея та один світовий океан. б — Внаслідок конвекції у мантії земна кора розділилася на окремі тектонічні плити, які повільно рухаються



Екологічну катастрофу може створити навіть техногенна діяльність людини, внаслідок якої змінюється хімічний склад атмосфери. Наприклад, спалювання великої кількості органічного палива призводить до зменшення кисню в атмосфері та збільшення вуглекислого газу, який створює парниковий ефект, тому підвищується температура на Землі. Протягом ХХ ст. середня температура Землі підвищилася на $0,6^{\circ}\text{C}$, що призвело до інтенсивного танення льодовиків і підвищення рівня океану, внаслідок чого затоплені великі площі родючих низин. Людство зможе уникнути екологічної катастрофи, якщо буде ширше використовувати альтернативні джерела енергії, що не забруднюють довкілля, — енергію земних надр, вітрову та сонячну енергію (див. § 12.7).

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

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

Місяць є природним супутником Землі, на якому атмосфера відсутня. Фази Місяця, тобто зміна його зовнішнього вигляду, настають внаслідок 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 різні фази Місяця, почнемо з *Нового Місяця*, який з поверхні Землі майже ніколи не видний, бо до нас повернена його нічна півкуля (рис. 7.6). Місяць у цій фазі можна побачити тільки під час сонячних затемнень, коли темний диск Місяця видно на тлі яскравого Сонця (рис. 7.7).

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



Рис. 7.6. Зміна фаз Місяця відбувається внаслідок того, що до Землі повернені різні частини денної та нічної півкулі Місяця

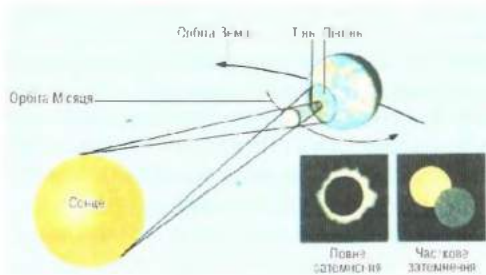


Рис. 7.7. Затемнення Сонця



З усіх астрономічних явищ, напевне, найбільшу увагу людей привертає *затемнення Сонця*, яке відбувається у той момент, коли тінь від Місяця досягає поверхні Землі. Хоча Місяць через кожні 29,5 доби перебуває між Сонцем та Землею (фаза — новий Місяць), але затемнення відбуваються набагато рідше, бо площина орбіти Місяця нахилена до екліптики під кутом 5° . На орбіті існують дві точки, у яких Місяць перетинає площину екліптики — вони називаються *вузлами місячної орбіти*. Затемнення Місяця або Сонця можуть відбутися тільки у тому випадку, коли Місяць знаходиться поблизу вузла орбіти. Вузли місячної орбіти зміщуються у космічному просторі, тому затемнення відбуваються у різні чотири роки. Період повторення затемнень, або *сарос*, знали ще єгипетські жерці 4000 років тому. Сучасні обчислення дають таке значення саросу: $T_{\text{сар}} = 6585,33$ доби = 18 років 11 днів 8 год. Протягом одного саросу в різних місцях на поверхні Землі відбувається 43 затемнення Сонця та 25—29 затемнень Місяця, причому сонячні та місячні затемнення завжди відбуваються парами з інтервалом 2 тижні: якщо в одному вузлі місячної орбіти відбувається затемнення Сонця, то через 2 тижні в іншому вузлі відбувається затемнення Місяця (див. дод. 6, 7).

Фізичні умови на Місяці. Не дивлячись на те, що Місяць знаходиться майже на тій самій відстані від Сонця, як Земля, і одиниці його поверхні отримувє таку ж саму кількість енергії, що і одиниці поверхні Землі, фізичні умови на цих космічних тілах суттєво відрізняються. Головна причина таких відмін полягає в тому, що маса Місяця у 81 раз менша, ніж маса нашої планети, а сила тяжіння менша від земної у 6 разів. Протягом мільярдів років погода на Місяці однакова: 2 тижні опітить Сонце і поверхня нагрівається до температури $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$, а після двотижневої ночі поверхня охолоджується і температура на світанку падає до $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$. За високої температури молекули газів покидають сферу тяжіння Місяця, тому там неможливе існування густої атмосфери. На Місяці навіть вдень темне небо, як у міжпланетному просторі, там не буває ні вітрів, ні дощів. Зміни пір року не відбувається, бо вісь обертання Місяця майже перпендикулярна до площини орбіти.

На поверхні Місяця навіть неозброєним оком видно темніші ділянки, що були названі *морями* (рис. 7.8), та світліші, які астрономи назвали *материками*.

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

Під час спостережень в телескоп видно, що на світлих материках переважають кратери — круглі гори діаметром до кількох сотень кілометрів, які мають ва-

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

| Хімічний склад ґрунту на Місяці, % (за даними АМС "Луна-20") | |
|--|------|
| SiO_2 | — 42 |
| Al_2O_3 | — 20 |
| CaO | — 19 |
| MgO | — 12 |
| FeO | — 6 |



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



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

ли заввишки кілька кілометрів (рис. 7.9). Більшість кратерів мають метеоритне походження, хоча деякі з них могли утворитися під час виверження вулканів, з яких витікала розплавлена лава та заповнювала більш низькі ділянки, — так виникли моря. Правда, виверження вулканів припинилося дуже давно, бо вік найстаріших твердих скель на материках — 4,4 млрд років, в той час як лава у морях застигла близько 3 млрд років тому.



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

7.6

Дослідження Місяця за допомогою космічних апаратів розпочали у Радянському Союзі ще на початку космічної ери. У 1959 р. АМС серії "Луна" вперше у світі долетіли до Місяця: "Луна-1" стала першою штучною планетою Сонячної системи, "Луна-2" досягла поверхні Місяця, а "Луна-3" сфотографувала зворотний бік Місяця і передала телевізійне зображення на Землю (рис. 7.10). У лютому 1966 р. "Луна-9" здійснила м'яку посадку в Океані Бур і вперше у світі передала телевізійний "репортаж" з поверхні іншого світу. Ми побачили, що справді поверхня Місяця вкрита пилом, але міцність ґрунту достатня для того, щоб утримувати станцію на поверхні. Потім Місяць досліджували АМС "Луноход-1" (рис. 7.11), "Луноход-2", які рухалися по поверхні, та АМС "Луна-20", "Луна-24", які в автоматичному режимі вперше доставили на Землю зразки місячного ґрунту.

Головні етапи космічних досліджень Місяця

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

Рис. 7.10. Фотографія зворотного боку Місяця, яка була створена на основі фотографій АМС "Луна-3". Десятки кратерів на Місяці назвали на честь українських астрономів



21 липня 1969 р. на поверхню Місяця здійснив посадку підготований космічний корабель "Аполлон-11" (США) і астронавт Нейл Армстронг зробив перший крок по поверхні іншого світу — так почався новий етап в дослідженні космосу. Дослідження показали, що шар пилу, так званий *реголіт*, у середньому сягає глибини кілька метрів. Аналіз реголіту приніс певні подивані результати: мікроскопічні частинки мають розміри 0,01 мм і нагадують звичайну пудру, але за хімічним складом вони наполовину складаються з *оксидів силіцію* і є фактично маленькими кульками. Такі мікроскопічні кульки утворилися після падіння мікрометеоритів (рис. 7.12).



Рис. 7.11 "Луноход-1"

Рис. 7.12.

Типовий пейзаж на Місяці. На поверхні переважають темно-сірі кольори ґрунту, який припорошений шаром реголіту, що утворився після падіння мікрометеоритів. На Місяці немає вітру, тому сліди зберігаються ще мільйони років (фото експедиції "Аполлон-17")



ДЛЯ МАЙБУТНІХ КОСМОНАВТІВ

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

Висновки



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



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



- 7.13. Що ви могли б запропонувати для освоєння Місяця у майбутньому?



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



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

Планети земної групи

Вивчивши цей параграф, ми:

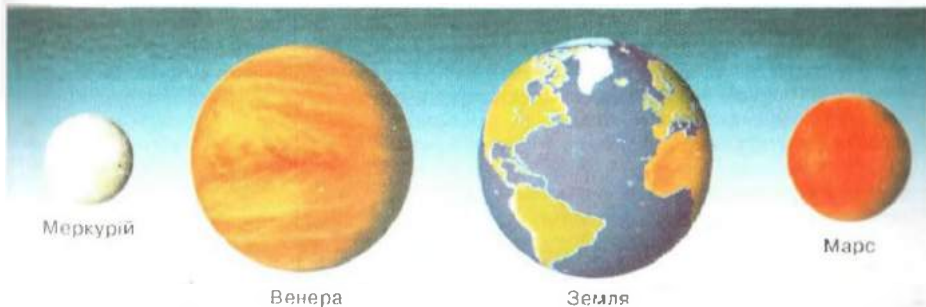
- дізнаємося, які умови існують на поверхні планет земної групи;
- довідаємося, чому на Венері вдень і вночі неймовірна спека;
- побачимо, чи є життя на Марсі.

Загальна характеристика планет земної групи.

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

8.1

Рис. 8.1. Відносні розміри планет земної групи



Меркурій ☿

| | |
|------------------------------|-----------------------|
| Радіус | 0,38 R_{\oplus} |
| Маса | 0,06 M_{\oplus} |
| Густина | 5,4 г/см ³ |
| Прискорення вільного падіння | 0,38 g_{\oplus} |
| Орбіта a | 0,39 а. о. |
| Ріс | 88 земних діб |
| Сонячна доба | 176 земних діб |
| Температура поверхні, С: | |
| вдень | +430, |
| вночі | -170 |



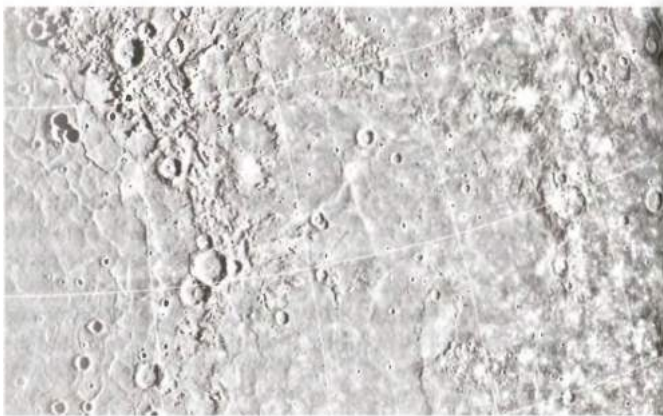
Рис. 8.2. Кратери на Меркурії

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

Меркурій є найменшою планетою Сонячної системи, яку рідко кому впадало спостерігати неозброєним оком, бо знаходиться вона близько від Сонця. Меркурій має дуже повільне обертання навколо своєї осі — сонячна доба вдвічі довша ніж період його обертання навколо Сонця. Отже, протягом майже трьох місяців там світить Сонце, і стільки ж триває ніч.

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

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



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

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

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

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

У хмарах на Венері крім пари води утворюються краплини сірчаної кислоти, але до поверхні ці дощі не долітають, бо під хмарами температура різко підвищується (на поверхні +480 °C) і краплі випаровуються. Основний шар хмар знаходиться на значній висоті (50—60 км), що пояснюється великим атмосферним тиском, який біля поверхні досягає 90 атм — такий тиск на Землі в океані на глибині 900 м. Хмари на Венері скоріше нагадують слабку імлу, в якій видно предмети на відстані до 1 км. Загадкою Венери залишається питання: чому в атмосфері планети так багато вуглекислого газу і так мало води? Дослідження показують, що загальна кількість вуглекислого газу та води, яка виділяється під час виверження вулканів на Землі й Венері, була колись приблизно однаковою. Виникає природне запитання: куди поділася вода з поверхні Венери? Чи були колись на Венері океани та моря?

Венера ♀

| | |
|------------------------------------|---|
| Радіус | 0,95 R_{\oplus} |
| Маса | 0,82 M_{\oplus} |
| Густина | 5,25 г/см ³ |
| Прискорення вільного падіння | 0,9 g_{\oplus} |
| Орбіта | $a = 0,72$ а. о. |
| Рік | 225 земних діб |
| Сонячна доба | 117 земних діб |
| Атмосфера | CO ₂ , N ₂ , H ₂ O |
| Атмосферний тиск | 90 атм |
| Температура поверхні вдень і вночі | +480 °C |



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

Рис. 8.5. Панорама поверхні Венери, яку передала АМС "Венера-14". Небо вдень тьмяне, як на Землі перед дощем. Колір хмар та поверхні червоний, бо хмари поглинають сонячне проміння у синій частині спектра

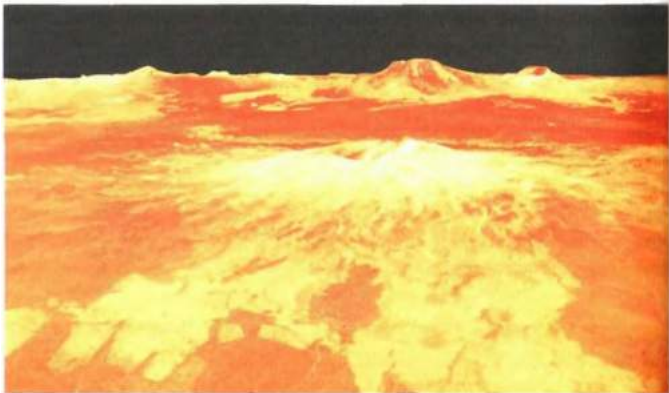




Рис. 8.6. АМС "Венера-1"

Астрономи створили детальну карту Венери, де позначено понад 400 пелетенських вулканів, жерла яких мають діаметр понад 20 км. Майже 80 % поверхні Венери відкриті вулканічною лавою (рис. 8.7). За традицією назви кратерів на Венері даються на честь видатних жінок, які зробили суттєвий внесок у поступ нашої цивілізації. Один з вулканів назвали на честь астронома Харківської астрономічної обсерваторії *Валентини Федорець* (1921—1976).

Рис. 8.7. За допомогою радіолокатора вдалося зазірнути під хмари. Поверхня Венери вкрита лавою від виверження вулканів. Червонуватий колір пов'язаний з високою температурою поверхні — там ідень і вночі +480 С



Температура поверхні Венери становить +480 С, залишається сталою протягом доби і не змінюється залежно від відстані до полюса чи екватора. За таких умов на Венері не відбувається різних змін погоди — ніколи не буває ураганів, а швидкість вітру на поверхні не перевищує 1 м/с. Високу температуру поверхні планети пояснюють парниковим ефектом, який створює вуглекислий газ (CO_2) — основна складова її атмосфери (96 % за об'ємом). Несподіванкою виявилось те, що протягом двомісячної ночі на поверхні Венери не спостерігається абсолютної темряви. Крім постійних спалахів блискавок, які супроводжуються гуркотом грому, там вночі видно загадкове свічення верхніх шарів атмосфери. Нічне освітлення підсилюють вогні від діючих вулканів, які внаслідок заломлення променів в атмосфері видно на відстані сотень кілометрів.

ДЛЯ МАЙБУТНІХ КОСМОНАВТІВ

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

Марс. Названий колесою за свій червоний колір на честь бога війни, "красивий" Марс під час протистоянь за некривістю поступається тільки Венері. Хоча маса та радіус Марса трохи 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 довші, ніж на Землі. Навіть у невеликі телескопи на Марсі видно білі полярні шапки (рис. 8.8), які свідчать про наявність води в атмосфері планети.

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

З близької відстані Марс більше схожий на Місяць, ніж на Землю, бо безліч круглих кратерів свідчать про інтенсивне метеоритне бомбардування у минулому. На деяких схилах метеоритних кратерів видно застигли потоки якоїсь рідини, — можливо, під час вибуху з підд'я виділялася вода, а потім при низькій температурі швидко замерзала (рис. 8.10, 8.11). Ряд кратерів на Марсі назвали на честь українських астрономів: Бараншов, Герасимович, Сімейкін, Струве, Фесенков.

| Марс ♂ | |
|------------------------------|----------------------------------|
| Радіус | 0,53 R_{\oplus} |
| Маса | 0,11 M_{\oplus} |
| Густина | 3,8 г/см ³ |
| Прискорення вільного падіння | 0,4 g_{\oplus} |
| Орбіта | $a = 1,52$ а. о. |
| Рік | 687 земних діб |
| Доба | 24 год 37 хв |
| Атмосфера | CO ₂ , N ₂ |
| Тиск | 0,006 атм |
| Температура поверхні, С: | |
| Вдень | |
| максимальна | +20 |
| Вночі | -60, |
| мінімальна | -130 |



Рис. 8.8. Вигляд Марса в телескоп



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

Чи є життя на Марсі? Розріджена атмосфера та великі добові перепади температури роблять неможливим існування високорозвинених форм життя — рослин або тварин. На знімках поверхні (рис. 8.12) видно червону пустелю з дюнами піску, який переноситься вітром на тисячі кілометрів. Червоний колір марсіанського ґрунту пояснюють значним вмістом (до 16 %) оксидів заліза (звичайної іржі). Про відсутність життя на поверхні Марса свідчать також результати експериментів, які безпосередньо проводилися за допомогою АМС, — присутність мікроорганізмів на поверхні не зареєстровано. У минулому на Марсі були більш густа атмосфера, випадали дощі і, ймовірно, існувало життя. Можливо, клімат Марса міг змінитися через зіткнення з великим астероїдом.

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

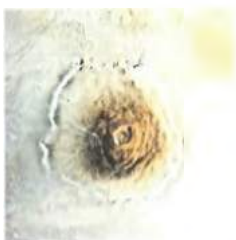
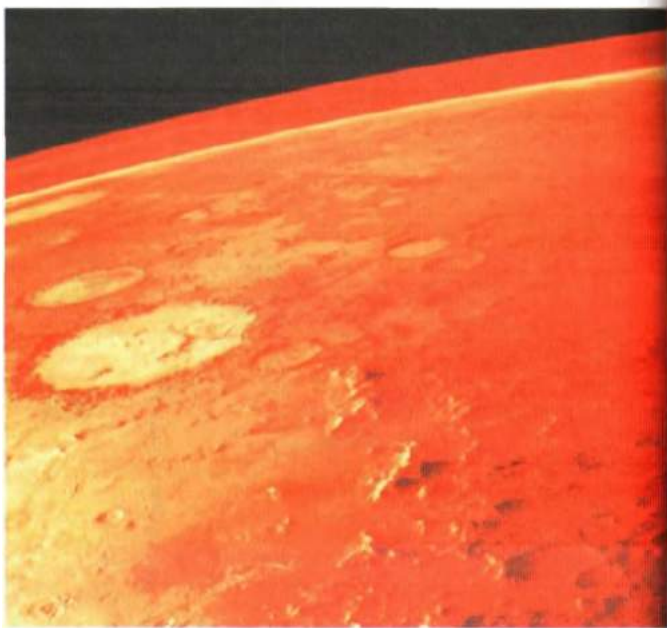


Рис. 8.11. Вулкан Олімп, розташований недалеко від екватора Марса, — найвища гора Сонячної системи. Діаметр вулканічної платформи сягає 700 км, вершина має висоту 27 км, а діаметр жерла вулкана — 75 км

На Марсі ніколи не випадає дощ, бо пари води в атмосфері у 100 разів менше, ніж на Землі. На самій поверхні Марса вода у рідкому стані не помічена, бо при тиску 0,006 атм температура кипіння води знижується до +3 °С. Тобто як тільки на поверхні утворюється невелика калюжа, то вода закипає і випаровується. Запасів води у вигляді снігу та льоду під поверхнею Марса може бути набагато більше — якби рівномірно її розподілити по поверхні, то глибина такого моря могла б сягати кілька сотень метрів.



Рис. 8.12. Панорама поверхні Марса, Червоного кольору поверхні надають оксиди заліза. Сильні вітри піднімають у повітря мільйони тон пилу, тому барви неба теж рожеві. Внизу — парашут



На Марсі виявлена розріджена атмосфера, яка складається в основному з вуглекислого газу (CO_2 95 %). Атмосферний тиск на поверхні 0,001 атм (такий малий тиск в земній атмосфері на висоті 20 км), тому парниковий ефект невеликий — цим пояснюються значні добові коливання температури. Найвища температура влітку поблизу екватора на темних ділянках ґрунту підвищується до 30°C , але в тому ж місці температура перед світанком опускається до -80°C . Полярні райони полюсів, де полярна ніч триває 8 місяців, мороз сягає -125°C , на найвищих гірських вершинах температура на поверхні Марса. За таких умов поширюється конденсація вуглекислого газу, коли виділяється тепло. Температура підвищується вдень, вода жодя вуглекислого газу із атмосфери не перетворюється у твердий стан.

ДЛЯ МАЙБУТНІХ КОСМОНАВТІВ

На поверхні Марса теж треба перебувати у шлюзованні. Досвід американської експедиції на Місяць показує, що люди зможуть працювати на цій планеті. Головною перевагою марсіанських експедицій буде велика тривалість космічної перельоту Земля — Марс — Земля (див. § 5), бо космонавти більше двох років будуть перебувати на поверхні Землі. Міжпланетний корабель з масою кілька тисяч тонн буде використовувати як паливо навколо Землі. Можливо на Марс полетить міжнародна експедиція з 10-20 космонавтів. У майбутньому на Марсі можна буде створити великі міста. Будівельним матеріалом служитимуть гірські породи, а джерелом енергії — сонячні промені. Воду можна використати для добування кисню і водню, які будуть додатковим джерелом енергії. Не виключена можливість, що під поверхнею Марса можуть існувати поклади нафти і газу... Нарешті, марсіанські експедиції розглядають основну таємницю цієї планети — чи існували там розумні марсіани?

ВІСНОВКИ

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

кельні умови для існування живих істот — там і вдень, і вночі температура +480 °С. Марс буде першою планетою, яку в недалекому майбутньому відвідають люди, але жити там можна тільки в скафандрах. Русласохліх рік свідчать про те, що колись на Марсі була більш густа атмосфера, випадали дощі, текли ріки і, можливо, існувало життя. Не виключено, що живі організми існують під поверхнею планети, де виявлена велика кількість криги.



- 8.1. З поверхні якої планети земної групи ніколи не можна побачити Сонце?
А. З Меркурія. Б. З Венери. В. Із Землі. Г. З Марса.
- 8.2. На яких планетах земної групи у хмарах виявлена сірчана кислота?
А. На Меркурії. Б. На Венері. В. На Землі. Г. На Марсі.
- 8.3. На поверхні якої планети земної групи спостерігається найдовший день?
А. На Меркурії. Б. На Венері. В. На Землі. Г. На Марсі.
- 8.4. Яка планета земної групи має найгустішу атмосферу?
А. Меркурій. Б. Венера. В. Земля. Г. Марс.
- 8.5. На поверхні якої планети земної групи найбільша тривалість сонячної доби?
А. На Меркурії. Б. На Венері. В. На Землі. Г. На Марсі.
- 8.6. Чому Меркурій не може утримувати сталу атмосферу?
- 8.7. Яка планета обертається навколо осі у протилежному порівнянні з Землею напрямку?
- 8.8. На яких планетах земної групи відбувається зміна пір року?
- 8.9. Венера знаходиться далі від Сонця, ніж Меркурій, але чому температура на її поверхні вища, ніж на Меркурії?
- 8.10. Які є докази того, що на поверхні Марса колись була вода у рідкому стані?
- 8.11. На яких планетах земної групи можливе існування життя?
- 8.12. Обчисліть свою вагу на поверхні Меркурія, Венери і Марса.
- 8.13. Обчисліть найменшу та найбільшу відстані між Землею та Марсом (див. дод. 3, 4).



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



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



Марсіанські канали, пилові бурі, планети земної групи, полярні шапки.

Вивчивши цей параграф, жи:

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

Планети-гіганти

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

Найбільшою загадкою усіх планет-гігантів (крім Урана), і зокрема Юпітера, є джерело внутрішньої енергії, яку випромінюють ці планети в інфрачервоній частині спектра. Джерелом енергії не можуть бути термоядерні реакції, що протікають у надрах зір, бо маса планет-гігантів недостатня для перетворення їх у зорі. Не виключена можливість, що гіганти випромінюють зараз ту енергію, яка була накопичена під час утворення Сонячної системи кілька мільярдів

9.1

Юпітер 4

| | |
|---------------------------------|-------------------------|
| Радіус | 11,2 R_{\oplus} |
| Маса | 318 M_{\oplus} |
| Густина | 1,3 г/см^3 |
| Прискорення вільного падіння | 2,5 г.в. |
| Орбіта | $a = 5,2 \text{ а. о.}$ |
| Рік | 11,2 земного року |
| Доба | 9 год 50 хв |
| Атмосфера | H_2, He |
| Температура, $^\circ\text{C}$: | |
| хмари | -107 |
| ядра | +40 000 |

Рис. 9.1. Відносні розміри планет-гігантів



років тому. Можливо, що у минулому Юпітер мав досить високу температуру на поверхні й світився на небі молодій Землі у 100 разів яскравіше Місяця.

9.2

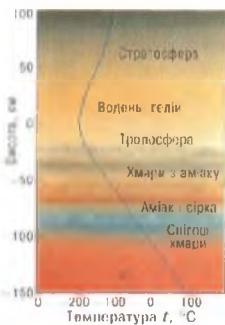


Рис. 9.2. Будова атмосфери Юпітера за результатами досліджень АМС "Галілей". Рівень, де тиск сягає 1 атм, вважають певною мірою "поверхнею" планети

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

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

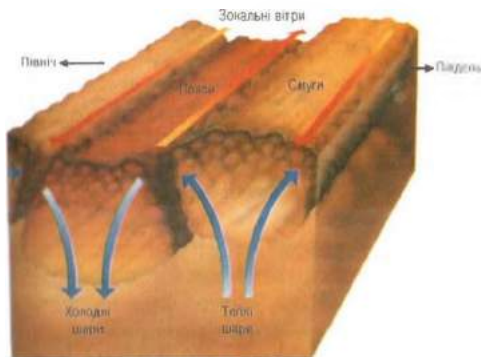


Рис. 9.3. *Смуги хмар* в атмосфері. З надв Юпітера надходить потік енергії, який викликає конвекцію — теплі шари повітря піднімаються вгору, а холодні — опускаються донизу. Сильні горизонтальні вітри виникають через добовий перепад температури між півною та денною півкулями планети



Рис. 9.4. *Велика Червона Пляма*, яка знаходиться 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 (фото АМС "Вояджер"). Загадкою залишається те, що цей вихор, який помітили ще 300 років тому, існує до нашого часу



На глибині 30 000 км вода перетворюється у металічний стан, і його фізичні властивості нагадують розплавлений метал, який добре проводить електричний струм. Такий агрегативний стан води (густина 4 г/см^3 при тисковій 10^4 атм) на Землі не існує. Завдяки електричному струмові, що генерується у цій металевій оболонці, виникає сильне магнітне поле, тому навколо Юпітера утворюються радіаційні пояси, які в 10^4 рази інтенсивніші від земних. Юпітер є потужним джерелом радіовипромінювання. У центрі Юпітера існує тверде ядро, подібне за хімічним складом до планет земної групи, яке може складатися зі скельних порід.

9.3

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

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

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

Сатурн h

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

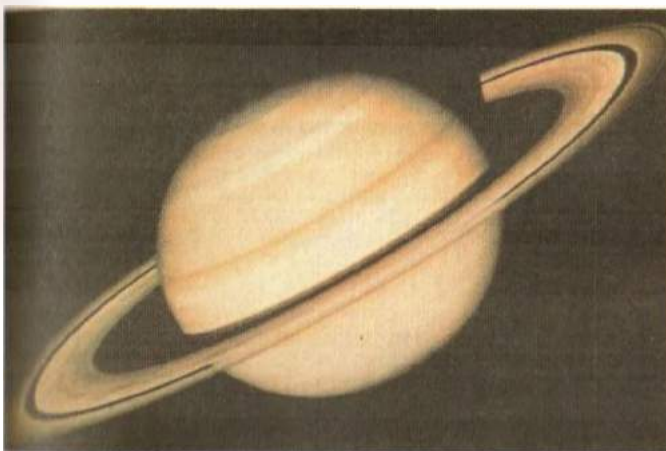


Рис. 9.5. Верхні шари хмар отримують енергію як від Сонця, так і з глибини Сатурна. У результаті взаємодії цих потоків енергії виникають сильні вітри, що спрямовані чомусь переважно із заходу на схід і півдкність яких досягає 400 м/с. Через вітри утворюються темні смуги хмар, які розгніповані паралельно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



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

9.4

Уран ♅

| | |
|------------------------------|---|
| Радіус | $4 R_{\oplus}$ |
| Маса | $14,6 M_{\oplus}$ |
| Густина | $1,2 \text{ г/см}^3$ |
| Прискорення вільного падіння | $0,9 g_{\oplus}$ |
| Орбіта a | $19,2 \text{ а. о.}$ |
| Рік | 84 земні роки |
| Добя | 17 год 14 хв |
| Атмосфера | $\text{H}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{NH}_3$ |
| Температура, °C: | |
| хмари | -215 |
| ядра | +10 000 |

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

Астрономи довгий час спостерігали за Ураном, але не виявили суттєвих змін кольорів або утворень в атмосфері. Можливо, що смуги з'являються тільки весною або восени, коли освітлені дві півкулі планети.

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



Чи існує океан на планеті Нептун, яку називали на честь бога підводного світу? Нептун знаходиться на околиці Сонячної системи і має період обертання 164,8 земного року. Він випромінює у космос у три рази більше енергії, ніж отримує від Сонця. Від часу свого відкриття у 1846 р. Нептун зробить повний оберт навколо Сонця тільки у 2011 р.

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

Нептун ♆

| | |
|-----------------------------------|---|
| Радіус | $3,9 R_{\oplus}$ |
| Маса | $17,2 M_{\oplus}$ |
| Густина | $1,6\text{ г/см}^3$ |
| Прискорення вільного падіння | $1,2\text{ г}$ |
| Орбіта | $a = 30\text{ а. о.}$ |
| Рік | 164,8 земного року |
| Доба | 16 год 06 хв |
| Атмосфера | $\text{H}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{NH}_3$ |
| Температура, $^{\circ}\text{C}$: | |
| хмара | - 213 |
| ядра | + 10 000 |



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

ВИСНОВКИ



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



- 9.1. Які планети випромінюють у космос більше енергії, ніж отримують від Сонця?
А. Усі планети-гіганти. Б. Юпітер, Сатурн, Нептун. В. Юпітер, Сатурн, Уран. Г. Уран.
- 9.2. Які планети обертаються навколо осі у зворотному напрямку?
А. Венера, Юпітер. Б. Усі планети-гіганти. В. Юпітер, Сатурн. Г. Уран, Венера.
- 9.3. На якій з цих планет спостерігається найбільша тривалість дня?
А. На Венері. Б. На Марсі. В. На Юпітері. Г. На Урані. Д. На Землі.
- 9.4. Скільки часу триває день на полюсах Урана?
А. 21 земний рік. Б. 17 год 14 хв. В. 1 місяць. Г. 1 земний рік. Д. 42 земні роки.
- 9.5. Які особливості у планет-гігантів?
- 9.6. Чому Юпітер можна вважати дуже схожим на зорю?
- 9.7. Що викликає гелієві дощі на Сатурні?
- 9.8. Чим обумовлена зміна пір року на Урані?
- 9.9. Обчисліть найменшу та найбільшу відстані між Землею та Юпітером (див. дод. 3, 4).
- 9.10. За допомогою рухомої карти зоряного неба визначте, коли ці планети сходять та заходять у день вашого народження поточного року.



- 9.11. Чому виникли гіпотези про можливе життя у хмарах Юпітера?



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



Джерело внутрішньої енергії, планети-гіганти, шари хмар, смуги хмар.

Супутники планет

Вивчивши цей параграф, ви:

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

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



10.1

Супутники Марса

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

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



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

Галілеєві супутники
Юпітера

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

Супутники Юпітера. Юпітер має принаймні 63 супутники, які були зареєстровані до 2008 р., і тьмяні кільця. Чотири найбільші супутники — Іо, Європа, Ганімед, Каллісто (рис. 10.2) відкрив Галілей за допомогою свого першого телескопа, тому їх називають Галілеєві супутники. *Іо* має найбільшу геологічну активність з усіх тіл Сонячної системи — там зареєстровано 8 постійно діючих вулканів, з жерл яких викидаються розжарені гази і магма (рис. 10.3). *Іо* привертає увагу фантастичною гамою кольорів — жовтих, червоних та брунатних, що надають йому сполуки сірки у продуктах виверження вулканів. Поверхня *Іо* зовсім рівна, бо рідка магма при температурі $+400$ °C заповнює будь-які западини.

рис. 10.2. Галілеєві супутники Юпітера: *Іо*, Ганімед, Каллісто покриті снігом і льодом. Під льодовою корою може існувати океан рідкої води, в якій не виключена можливість життя



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



рис. 10.4. Тріщини у льодової панцирі Європи



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



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

"Сім'я" Сатурна складається із системи кілець та 60 супутників, але більшість з них мають невеликі розміри (рис. 10.5, 10.6). Найбільший супутник *Титан* оточений густою азотною атмосферою, і його поверхня вихована під щільними хмарами з метану. Попри малу силу тяжіння (1/7 земної) атмосферний тиск на поверхні Титана складає 1,6 атм, бо маса стовпа повітря над одиницею поверхні у 10 разів більша, ніж на Землі.



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

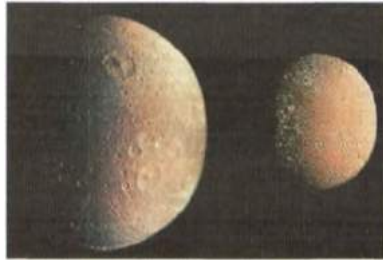


Рис. 10.6. Супутники Сатурна Енцелад (ліворуч) і Діона. Безліч кратерів на льодовій поверхні свідчать, що там давно не відбувалася будь-яка тектонічна діяльність

Великі супутники Сатурна

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

Титан

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



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

Кільця Сатурна (рис. 10.7) вперше побачив Галілей у 1610 р., але за допомогою невеликого телескопа він не зміг розпізнати справжню суть спостереження. Він вивчив, що з боків Сатурна має дві кулі, які зливаються, якщо дивитися на них з великої відстані. Тільки у 1659 р. датський астроном Х. Гюйгенс довів, що кулі є тонким плоским кільцем навколо Сатурна. Під час спостережень з поверхні Землі у великі телескопи ми бачимо три концентричні кільця, але за допомогою АМС було виявлено, що ці кільця складаються ще з тисяч окремих вузьких кілець (рис. 10.8).

Дослідження показують, що діаметр частинок у кільцях коливається в межах від міліметра до десятків



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

метрів і складаються ці миленькі супутники зі снігу та льоду. Товщина кілець дуже мала в порівнянні з їхньою шириною — всього кілька десятків метрів.

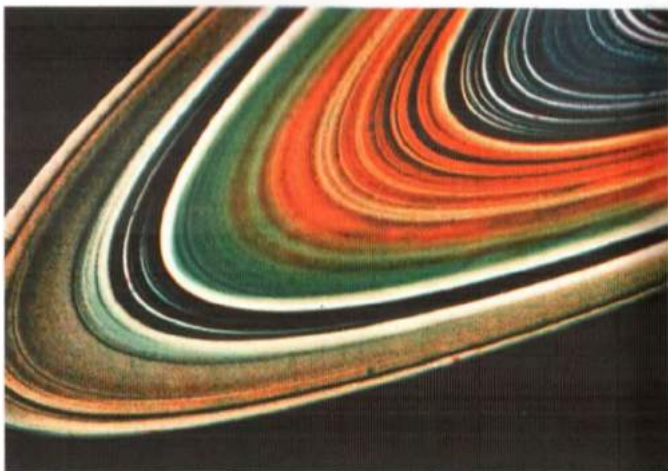


Рис. 10.8. На знімках АМС "Вояджер" видно тисячі концентричних кілець Сатурна, які дивно переплетені між собою



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

10.5



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

Супутники Урана. Уран має 27 супутників і темні кільця. За допомогою телескопів відкриті тільки 5 великих супутників: *Аріель*, *Умбріель*, *Титанія*, *Оберон* і *Міранда*, а 10 малих вперше сфотографовані у 1986 р. АМС "Вояджер-2". Супутники повернені до Урана однією півкулею, а їхні орбіти лежать у площині екватора, внаслідок чого на всіх супутниках відбувається така ж дивна зміна пір року, як і на Урані (див. § 9).

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



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

Супутники Нептуна. У наш час відомо 13 супутників Нептуна та виявлено тонкі тьмяні кільця. За допомогою телескопів було відкрито 2 супутники — *Тритон* і *Нерейду*, а інші сфотографувала АМС "Вояджер-2" у 1989 р. Найбільший супутник Нептуна *Тритон* (радіус — 1380 км) має кілька загадкових утворень. Світла поверхня Тритона поглинає мало сонячної енергії, тому температура там не піднімається вище ніж $-236\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це найнижча денна температура, яку зареєстрували на супутниках планет Сонячної системи. Поверхня Тритона тверда і має багато замерзлих озер (рис. 10.11).

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

10.6



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

Тритон

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

ВИСНОВКИ



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



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

10.13. Поверхню яких супутників можна використати для будови космічних поселень?

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

Галілеєві супутники, кільця навколо планет, межа Роша.



Вивчивши цей параграф, ми:

- довідемося про загадковий пояс астероїдів;
- дізнаємося про небезпечні астероїди, які можуть зіткнутися із Землею;
- познайомимося з метеорами та метеоритами;
- побачимо незвичайні світила з дивними "хвостами" – комети.
- з'ясуємо, коли у Сонячній системі з'явилися планеткарлики

Малі тіла Сонячної системи

Астероїди. Перший астероїд (від грец. — *зореподібний*) відкрив італійський астроном Д. Піацці (1746—1826). У ніч на 1 січня 1801 р. він побачив слабку зорю, яка наступного вечора трохи перемістилася. Новій планеті дали назву *Церера* (за римською міфологією — богиня землеробства). За Церерою почали уважно спостерігати — вона виявилася невеликою, навіть меншою Місяця, але оберталася навколо Сонця між орбітами Марса і Юпітера. Яке ж було здивування астрономів, коли через кілька років недалеко від Церери знайшли ще одну малу планету — її назвали *Палладою* (одним з імен богині мудрості *Афіни*). Потім були відкриті ще дві — *Юнона* та *Веста*. Виявилось, що перший відкритий астероїд найбільший за розмірами — діаметр Церери дорівнює 960 км. Цереру відносять до класу планеткарликів (див. 11.7) *На червень 2008р. зареєстровано*

11.1

Великі астероїди

| Номер і назва | Діаметр, км |
|----------------|-------------|
| 1 Церера | 960 |
| 2 Паллада | 608 |
| 3 Веста | 555 |
| 10 Гігія | 460 |
| 31 Ефросинія | 370 |
| 52 Європа | 289 |
| 65 Кибела | 309 |
| 451 Пацієнція | 276 |
| 511 Давида | 323 |
| 704 Інтерамнія | 350 |



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

Тіла яких пов'язані з Україною:

| Номер | Назва |
|-------|-----------|
| 709 | Україна |
| 855 | Корольов |
| 164 | Ляля |
| 171 | Київ |
| 1825 | Черних |
| 427 | Кобзар |
| 428 | Каменяр |
| 606 | Одеса |
| 616 | Леся |
| 728 | Яцків |
| 883 | Барабашов |
| 084 | Кондратюк |

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

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

11.2

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

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



к. 11.2. Астероїд 243



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

Небезпечні астероїди. Зараз найбільшу увагу астрономів привертають астероїди групи Аполлона, Амура і Атона, бо в перигелії вони наближаються до Землі або навіть перетинають її орбіту. Наприклад, у 1932 р. астероїд 1862 Аполлон (діаметр 3 км) пролетів мимо Землі на відстані 0,028 а. о. Ще ближче від Землі у 1994 р. пролетів астероїд 1994 ХМ1 — від катастрофи нас відділяло лише 112 000 км у просторі та 1 година у часі.

Хоча ймовірність зустрічі з окремим астероїдом досить мала, але, враховуючи їхню значну кількість та глобальні наслідки зіткнення, *ступінь ризику* загинути від космічної катастрофи виявився таким самим, як від звичайної повені або авіакатастрофи. За сучасними даними існують близько 2000 астероїдів з діаметром більше ніж 1 км і кілька сотень тисяч з діаметром більше 100 м, які перетинають орбіту Землі (рис. 11.3). Під час зустрічі Землі з астероїдом діаметром 1 км виділиться енергія, яка еквівалентна вибухові мільйонів атомних бомб. Крім того, викид пилу в атмосферу призведе до утворення суцільної хмарності, тому поверхня Землі буде отримувати менше сонячної енергії. Зниження температури може дати початок новому льодовиковому періоду (див. § 7).

Для врятування нашої цивілізації зараз створений міжнародний Фонд "Космічна варта", розроблена програма пошуків небезпечних астероїдів і комет та обчислення їхніх орбіт. Значний внесок в ці дослідження зробили українські астрономи Києва (В. Кручиненко, К. Чуримов), Криму (М. Черних) та Харкова (Д. Луцішко).

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

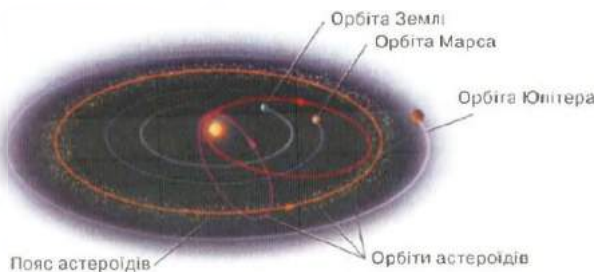


Рис. 11.3. Орбіти деяких астероїдів, що перетинають орбіту Землі



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



Рис. 11.4. Метеорит, знайдений у Антарктиці

Метеор — світлове явище, яке викликає іонізоване повітря на шляху польоту маленьких метеоритних частинок

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

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

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

На Землі астрономи та геологи виявили більше сотні метеоритних кратерів різного діаметра (рис. 11.5), які називають *астроблемами* (від грец. — *зоряні рани*), але більшість кратерів не збереглася, бо протягом віків атмосферні процеси знищували сліди космічних ка-

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



таклізмів. Велику ідентичну структуру метеоритного походження діаметром 7 км виявили в Україні в Іллінецькому районі Вінницької області. Геологічні дослідження показують, що початкова маса метеорита була не меншою ніж 10^{11} кг. (Відомості про найбільші астроблеми на території України див. у дод. 10.)



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

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

У 1926 р. Академія наук України організувала першу експедицію в район падіння Тунгуського метеорита. Її очолив професор Л. Кулик. Цікава таємниця, яку виявила експедиція, — відсутність кратера та осколків на місці падіння метеорита, тому вчені висунули гіпотезу, що метеорит міг вибухнути в повітрі. Про це свідчать стовбури повалених дерев на місці катастрофи (рис. 11.6). Площа поваленого та спаленого лісу займає близько 5000 км^2 , але в епіцентрі повітряного вибуху, де ударна хвиля поширювалася перпендикулярно до поверхні Землі, стовбури дерев не були повалені.

11.5



Рис. 11.6. Повалений ліс на місці падіння Тунгуського метеорита



Залишається таємницею, куди поділися осколки Тунгуського метеорита під час вибуху. Найбільш вірогідним поясненням цих аномальних явищ може бути гіпотеза про те, що метеорит був льодяним ядром невеликої комети (див. § 11.6), яке вибухнуло в атмосфері Землі. Газові компоненти ядра випарувалися, а тверді силікатні частинки розплавилася і випали на поверхню у вигляді мікроскопічних частинок.

Комети (від грец. — *αολοχαιτιή*) своїм незвичним виглядом привертають найбільшу увагу людей, бо вони мають дивний красивий хвіст. Комети є залишками космічної речовини, з якої утворилися планети Сонячної системи. Ці частинки слабо пов'язані між собою і тому легко розпадаються на фрагменти. За традицією комети дають назву на честь тих астрономів, які першими побачили її на небі (рис. 11.7, 11.8). Часто комети відкривали аматори астрономії і навіть школярі. На честь українських астрономів названі комети *Герасименка*, *Неуйміна*, *Скопитченка*, *Черних*, *Чурюмова*, *Шайна*.



Рис. 11.7. Комета Галлея



Рис. 11.8. Комета Гейла-Боппа

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

Тривалий час загадкою для астрономів був довгий хвіст комети, який інколи простягається на сотні мільйонів кілометрів, причому напрямком хвоста змінюється таким чином, що він весь час відхиляється у протилежний від Сонця бік. Здається, що хвіст до Сонця не притягується, а навпаки, відштовхується, начебто від Сонця дме своєрідний вітер. Звичайно, хвіст комети притягується до Сонця, але для частинок з діаметром меншим ніж 10^{-5} м сила відштовхування стає більшою за силу притягання. Хвіст комет саме і складається з мікроскопічних частинок космічного пилу, на які діє відштовхувальна сила сонячного вітру (рис. 11.9).

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

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



Ядро комети, з якого утворюється хвіст, складається в основному з льоду. Вперше воно було сфотографоване радянською АМС "Вега" у 1986 р. (рис. 11.10). Діаметр таких льодових ядер може бути всього кілька десятків кілометрів, тому на великій відстані від Землі їх не видно. Лід у ядрах тих комет, які часто підлітають близько до Сонця, з часом повністю випаровується. Від комети залишаються тверді силікатні частинки, які продовжують рух по орбіті і перетворюються у *метеорні потоки*. Якщо Земля перетинає орбіту такого метеорного потоку, то спостерігається "*зоряний дощ*", коли одночасно можна побачити тисячі метеорів.

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



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



Чи можна якось використати астероїди і комети для потреб нашої цивілізації? Можливо, що в майбутньому астероїди можна пристосувати як бази для міжпланетних експедицій. Деякі астероїди можуть містити рідкісні хімічні елементи, які можна було б застосовувати при спорудженні космічних поселень як у космосі, так і на поверхні супутників планет. При космічному будівництві треба пам'ятати, що при порення вільного падіння на астероїдах дуже мале, тому один необережний попітовх погую може надати тілу другої космічної швидкості. Температура на поверхні астероїдів залежить від кольору поверхні та відстані до Сонця. У головному поясі астероїдів на відстані 2,8 а. о. від Сонця температура на денному боці рідко піднімається вище ніж 0 °С, але астероїди групи Аполлона, Амура і Атона, які рухаються по дуже витягнутих орбітах, у перигелії можуть нагріватися до +500 °С.

Планети-карлики. Вперше цей новий клас тіл Сонячної системи з'явився у серпні 2006 р. на з'їзді Міжнародного Астрономічного Союзу (МАС) у Празі. Тоді ж було змінено статус *Плутона*, який до цього був дев'ятою планетою Сонячної системи, а відтепер він став першою *планетою-карликом*. Плутон був відкритий у 1930 р., коли астрономи шукали об'єкт, який викликався причиною невеликих збурень орбіти Нептуна і Урана. Сам Нептун був відкритий у 1846 р (див. § 9.5), коли математики використали збурення орбіти Урана, і передбачили існування восьмої планети.

Потім майже цим методом астрономи шукали дев'яту планету, яка могла викликати невеликі збурення орбіти Урана, бо гравітаційним впливом Нептуну можна пояснити тільки 98 % збурень орбіти цієї планети.

Ще в 1956 р. астрономи помітили, що Плутон трохи змінює свою яскравість з періодом 6,4 доби. Це наводило на думку, що на його поверхні є темні області і планета обертається навколо осі з періодом 6,4 доби.

Тільки після того, як відкрили супутник Плутона, математики отримали можливість визначити масу планети. У 1978 р. астрономи звернули увагу на те, що на фотографії Плутона видно невеликий виступ на його дискові. Продовжуючи спостереження, вчені прийшли до висновку, що Плутон має супутника, якого назвали *Хароном* на честь міфічного човняра, який перевозив душі померлих людей у потойбічний світ. Він обертається навколо планети з періодом 6,4 доби (рис. 11.11). У 2006 р. за допомогою Космічного телескопа Габбла були відкриті ще два невеликі супутники Плутона *Нікс* і *Гідра*. У грецькій міфології Нікс була богинею ночі і матір'ю Харона. Третій крайній супутник Плутона назвали Гідрою, на честь дев'ятиголової міфологічної змії, яка охороняла володіння Плутона.



Ця проблема зацікавила американського мільйонера Парсівалю Ловелла, який продав частину своїх маєтків і у 1894 р. в штаті Арізона побудував астрономічну обсерваторію спочатку для пошуків життя на Марсі (див. § 8.4). Потім до самої смерті у 1916 р. Ловелл ще вів пошуки і дев'ятої планети, які, на жаль, за його життя не увінчалися успіхом.

У 1920 р. на Ловеллській обсерваторії був змонтований новий фотографічний телескоп, за допомогою якого астрономи випробували удосконалений метод пошуку планети X. Для цього, за допомогою інструмента, який називається блінк-компаратор, можна було, використовуючи плоске дзеркало, по черзі спостерігати дві фотографії однієї і тої самої ділянки зоряного неба, які зроблені з інтервалом у кілька діб. Два кадри фото розміщені в компараторі таким чином, що зорі в кожному кадрі з'являлися на тому ж місці. Якщо об'єкт рухається відносно зір, то він буде при перегляді перескакувати від однієї точки до іншої. Пошук планети в такий спосіб — досить нудна і кропітка робота, до того ж фотографувалися зорі в сузір'я Близнят, де знаходяться безліч слабких зір Молочного Шляху. Тому тільки через 10 років після монтажу нового телескопа 18 лютого 1930 р. Клайд Томбо знайшов розходження на двох кадрах фотографії, але він повідомив про відкриття нової планети тільки 13 березня в 75-у річницю народження Ловелла. Планету назвали на честь міфічного Бога підземного царства Плутона. Плутон має досить витягнуту в порівнянні з іншими планетами орбіту з ексцентриситетом $e = 0,25$, це означає що різниця між відстанню до Сонця в перигелії та афелії суттєво відрізняється. Плутон був найближче до Землі і до Сонця у 1989 р. на відстані $4,42 \cdot 10^9$ км, і найдалше буде у 2113 р. на відстані $7,38 \cdot 10^9$ км. Освітленість планети Сонцем за цей час змінюється майже в 3 рази, тому і яскравість Плутона на нашому небі відповідно змінюється більше ніж на одну зоряну величину. Якщо зараз його видима зоряна величина під час протистояння дорівнює приблизно $+13,9^m$, то в афелії не перевищує $+15^m$.

у зв'язку з тим, що Плутон має дуже витягнуту орбіту з великим ексцентриситетом і за масою та розмірами є набагато меншим за інші планети Сонячної системи, деякі астрономи вважають, що Плутон був колись супутником Нептуна, адже Юпітер, Сатурн, Нептун, і Земля мають набагато більші за нього супутники. Можливе зіткнення або проходження недалеко невідомого космічного тіла призвело до того, що Плутон покинув гравітаційне поле Нептуна і став самостійно обертатися навколо Сонця. Статус Плутона як планети поступово ставав підозрілим ще й тому, що його орбіта нахилена під значним кутом до площини екваторіалу порівняно з будь-якою планетою Сонячної системи, і трохи нагадує орбіти комет.

У 1951р., аналізуючи орбіти комет, астроном Ж. Койпер передбачив існування за Нептуном поясу астероїдів, який тепер офіційно назвали *поясом Койпера*. Астрономічні спостереження за допомогою сучасних телескопів підтвердили цю гіпотезу ще у 1990 р., коли за Плутоном почали відкривати нові об'єкти поясу Койпера. З наукової точки зору ставало очевидним, що Плутон більше схожий на членів цієї групи, ніж на інші 8 планет Сонячної системи. Поки Плутон був найбільшим об'єктом поясу Койпера, Міжнародний Астрономічний Союз вважав прийнятним, щоб залишити його планетний статус.

Потім, у липні 2005 р. відкрили новий об'єкт поясу Койпера, який був навіть більший за Плутон, тому деякі астрономи стали називати його 10-ю планетою. Кругле тіло, яке має діаметр майже 2400 км, знаходиться на відстані 16 млрд км від Сонця. Нову планету неофіційно прозвали "*Ксеною*" (з грецької — *чужа*). Це відкриття стало фатальним ударом для статус-кво дев'яти планет, бо якщо Плутон вважають планетою, то Ксена теж має належати до класу планет. Тому перед астрономами постали питання, що робити з іншими об'єктами поясу Койпера, які тільки не набагато менше ніж Плутон, а у майбутньому на околицях Сонячної системи можуть відкрити ще більші тіла? Для розв'язання цієї проблеми в Міжнародному Астрономічному Союзі був створений спеціальний комітет, який спочатку пропонував вважати Плутона і Ксену планетами. У цьому випадку планетою можна вважати і найбільший астероїд *Цереру*, яка була відкрита в 1801 р. Цю пропозицію відхилили, бо внаслідок цього виникнуть логічні нісенітниці такого типу: восьму планету Нептун було відкрито у 1846 р., в той час як астероїд Цереру відкрили раніше — у 1801р. Для того, щоб вивести Цереру і Ксену із класу планет, на з'їзд

| Плутон \mathcal{L} | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Радіус | 0,18 R_{\oplus} |
| Маса | 0,002 M_{\oplus} |
| Густина | 2,1 г/см ³ |
| Прискорення вільного падіння g | 0,06 м/с ² |
| Орбіта a | 39,5 а. о. |
| Рік | 248,6 земного року |
| Доба | 6,4 земної доби |



Рис. 11.11. Плутон та його супутник Харон. Ці тіла можна вважати подвійною планетою, тому що маса супутників тільки у 6 разів менша ніж маса планети

МАС запропонували модифікувати визначення планети, додавши, що планета має бути не тільки круглої форми, але повинна також бути єдиним тілом на своїй орбіті. За цим визначенням Церера не може бути планетою, бо вона є одним з багатьох астероїдів зі схожими орбітами. Але Плутон теж втрачає статус планети, оскільки він один з багатьох об'єктів у поясі Койпера, і до того ж його орбіта фактично перетинається з орбітою Нептуна. У вересні 2006 р. колишня 9-а планета Плутон була позначена астероїдним номером 134340, офіційну назву та номер отримав вище згаданий об'єкт в поясі Койпера з умовною назвою "Ксена". Він тепер має номер 136199 та назву *Ерінея*.

На вересень 2006 р. зареєстровано 3 планети-карлики: *Церера*, *Плутон*, *Ерінея*.

ВИСНОВКИ



Малі тіла Сонячної системи (планети-карлики, астероїди, комети, метеорні тіла) є залишками тої величезної хмари космічної речовини, з якої утворилися Сонце і великі планети. Основний пояс астероїдів знаходиться між Марсом та Юпітером, але за орбітою Нептуна існують ще мільйони планетоподібних тіл (пояс Койпера) та мільйони кометних ядер (хмара Оорта). Астероїди, можливо, стануть базами для дослідження космосу, а металічні астероїди можна використати як джерело для добування корисних копалин. Існує небезпека зустрічі Землі з тими астероїдами, орбіти яких наближуються до Землі або перетинають її орбіту.



- 11.1. Метеором називається явище, коли:
А. Зорі падають на Землю. Б. Каміння падає на Землю. В. Порошинки згорають у повітрі. Г. Блискавки спостерігаються у повітрі. Д. Пил викидається в атмосферу.
- 11.2. З чого складається ядро комети?
А. З льоду та пилу. Б. Із заліза. В. Із каміння. Г. З розжарених газів. Д. З пари води.
- 11.3. З якою найменшою швидкістю метеорити влітають в атмосферу Землі?
А. 1 м/с. Б. 1 км/с. В. 11,2 км/с. Г. 22,2 км/с. Д. 70 км/с. Е. 100 км/с.
- 11.4. З якою найбільшою швидкістю метеорит може влетіти в атмосферу Землі?
А. 1 м/с. Б. 1 км/с. В. 11,2 км/с. Г. 22,2 км/с. Д. 70 км/с. Е. 100 км/с.
- 11.5. Тунгуський метеорит називають загадковим тому, що:

А. Метеорит був космічним кораблем марсіян. Б. На місці падіння не виявлено метеоритного кратера. В. В атмосфері стався спалах, що нагадував вибух ядерної бомби. Г. Метеорит був брилою льоду. Д. Після падіння метеорита над Європою спостерігалося загадкове сяйво в атмосфері і вночі не було видно зір.


- 11.6. Чому більшість астероїдів мають неправильну форму?
- 11.7. Чому метеорити можуть досягати поверхні Землі?
- 11.8. Яке сімейство астероїдів може викликати загрозу для Землі?
- 11.9. Чим відрізняється метеор від метеорита?
- 11.10. Хвіст комети зазвичай притягується до Сонця чи відштовхується від нього?
- 11.11. Чому комета може змінити свою орбіту?
- 11.12. Який найбільший метеоритний кратер виявили на території України?
- 11.13. Обчисліть свою вагу на астероїді 1709 Україна, який має діаметр 20 км. Густина астероїда 3 г/см^3 .



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



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



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

12

Сонце — наша зоря

Вивчивши цей параграф, ми.

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

12.1

Сонце ☉

| | |
|-----------------------------|-------------------------|
| Радіус | 109 R_{\odot} |
| Маса | 330 000 M_{\oplus} |
| Середня густина | 1,4 г/см ³ |
| Хімічний склад за масою, %: | |
| H ₂ | 71 |
| He | 27 |
| Світність | 4 · 10 ²⁶ Вт |
| Температура, К: | |
| фотосфери | 5780 |
| ядра | 15 000 000 |

Сонячна стала q — енергія, що отримує 1 м² поверхні Землі за 1 с, якщо сонячні промені падають перпендикулярно до поверхні. За сучасними даними на межі верхніх шарів атмосфери Землі величина сонячної сталої $q = 1,4$ кВт/м²

Фізичні характеристики Сонця. Сонце — одна з мільярдів зір нашої Галактики, центральне світило у Сонячній системі, вік якого близько 5 млрд років. Воно дає Землі тепло і світло, що підтримує життя на нашій планеті. Сонце знаходиться 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 за конів випромінювання чорного тіла (див. § 6). Сонце випромінює електромагнітні хвилі різної довжини, які нашим оком сприймаються як біле світло. Насправді, біле світло складається з цілого спектра електромагнітних хвиль від червоного кольору до фіолетового, але Сонце випромінює найбільше енергії у жовто-зеленій частині спектра, тому астрономи називають Сонце жовтою зорею. Температура на поверхні Сонця 5780 К.

Світність Сонця L_{\odot} визначає потужність його випромінювання, тобто кількість енергії, що випромінює поверхня Сонця у всіх напрямках за одиницю часу. Для визначення світності Сонця треба виміряти сонячну сталу q — енергію, яку отримує 1 м² поверхні Землі за 1 с за умови, що Сонце знаходиться в зеніті. Для визначення світності Сонця необхідно величину сонячної сталої помножити на площу сфери з радіусом R :

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

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

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

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

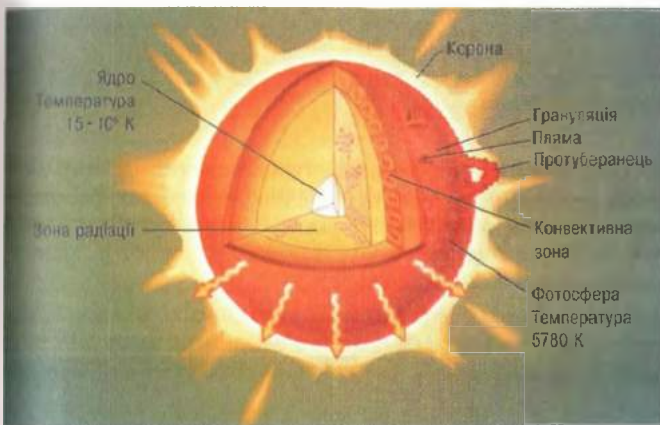


Рис. 12.1. Внутрішня будова Сонця

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

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

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

Ядро — центральні області Сонця, де протікають термоядерні реакції

Зона радіації — зона, де окремі кванти мандрують сотні тисяч років, поки досягнуть фотосфери

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



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



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



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

мірки, що трохи відрізняються одна від одної температурою та густиною.

Атмосферою виокремлюються зовнішні шари Сонця, що умовно поділені на три оболонки.

Найглибший шар атмосфери Сонця, що складається з газів, — *фотосфера* (від грец. — *сфера світла*), 200—300 км завтовшки, сприймається нами як поверхня Сонця (рис. 12.2). Густина газів у фотосфері у 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, в якій конвекційні комірки мають вигляд світлих та темних зерен — *гранул* (рис. 12.3).

Над фотосферою знаходиться *хромосфера* (від грец. — *кольорова сфера*), де атомами різних речовин утворюються темні лінії поглинання у спектрі Сонця (рис. 12.4). Загальна товщина хромосфери становить 10—15 тис. км, а температура у її верхніх шарах сягає 100 000 К.

Над хромосферою знаходиться 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 отримаємо, що 1 кг сонячної речовини генерує мізерну потужність $\approx 0,001$ Вт, у той час як середня потужність випромінювання людського тіла дорівнює приблизно 100 Вт, тобто в тисячу разів більша від потужності такої ж маси сонячної речовини. Правда, Сонце світить протягом мільярдів років, випромінюючи майже одну і ту саму енергію, надійно обігрівачи Землю та інші тіла Сонячної системи!

Сонячна активність визначається кількістю плям та їхньою загальною площею. Дослідження показали, що температура всередині плями досить висока і сягає 600 К, але пляма здається темною на тлі більш гарячої фотосфери з температурою 5780 К (рис. 12.5, 12.6). Виникає питання: що знижує температуру всередині пля-

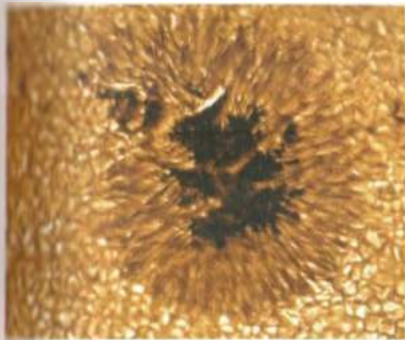


Рис. 12.5. Сонячна пляма — це область фотосфери, де знижується температура, тому що сильне магнітне поле у плямі зупиняє конвекцію

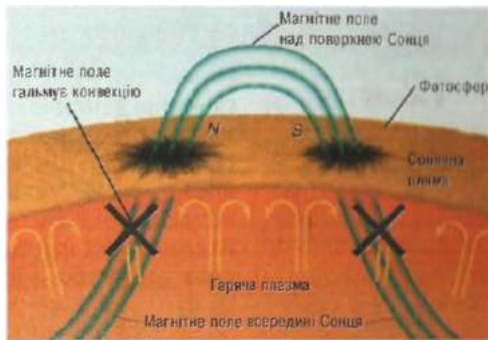
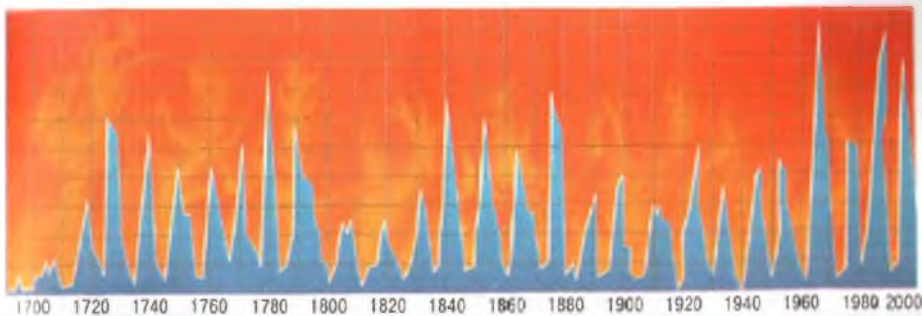


Рис. 12.6. Плями з'єднані між собою парно, як полюси у магніті, кожна пляма має свою магнітну полярність

ми? Плями на Сонці можуть існувати протягом кількох місяців, тому виникла гіпотеза, що якийсь процес гальмує конвекцію плазми у сонячній плямі і 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.

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

Рис. 12.7. Зміна сонячної активності визначається кількістю плям та їхньою площею. Піки активності повторюються приблизно через 11 років. Максимуми плям припадали на такі роки: 1979, 1990, 2001





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

12.4

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

Хромосферні спалахи — вибуховий викид речовини і енергії, яка накопичена у магнітному полі сонячних плям

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

Вплив сонячної активності на Землю. Досліджуючи Сонце за допомогою супутників та АМС, астрономи виявили його сильне *корпускулярне випромінювання*. Наприклад, під час так званих *хромосферних спалахів*, які вибухають поблизу плям, виділяється така потужна енергія, яку можна порівняти з випромінюванням всієї фотосфери Сонця. Не треба плутати спалахи з протуберанцями. *Протуберанці* (від латин. *protuberans* — *здуваюсь*) існують постійно — це щільні холодні хмари водню, які підіймаються у корону і рухаються вздовж магнітних силових ліній.

Під час спалахів у міжпланетний простір викидаються потоки заряджених частинок, які летять зі швидкістю до 20 000 км/с (рис. 12.8). Через кілька годин після спалаху корпускулярні потоки можуть долетіти до Землі та викликати збурення її магнітного поля та іоносфери.

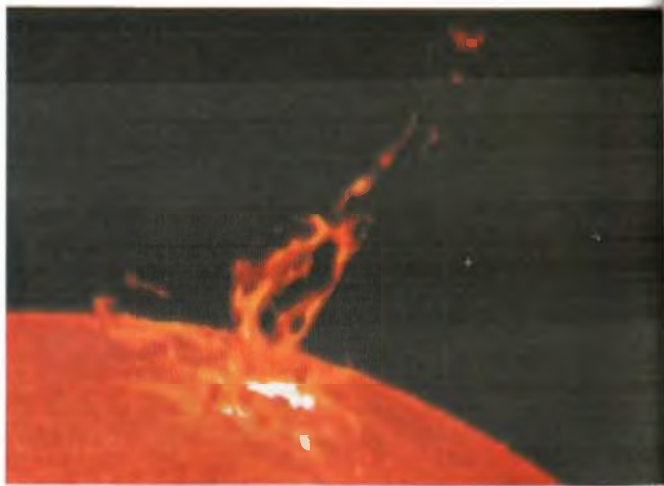


Рис. 12.8. Хромосферний спалах на Сонці

Основним джерелом енергії для нашої цивілізації є Сонце, яке дає не тільки тепло, але й суттєво впливає на всі процеси, що відбуваються на Землі. Ми визначили розміри, масу, температуру Сонця; знаємо, що джерелом сонячної енергії є термоядерні реакції у його надрах, і розгадали причину зниження температури у сонячних плямах. Але залишаються нерозгаданими причини сонячної активності та чому існує 11-річний цикл появи плям. У майбутньому сонячна енергія стане основним джерелом електричної енергії як на Землі, так і в космічних поселеннях при освоєнні інших планет.

12.1. Сонячна стала визначає:

А. Кількість енергії, що випромінює Сонце за рік. **Б.** Кількість енергії, що випромінює Сонце за 1 с. **В.** Температуру Сонця. **Г.** Кількість енергії, яку отримує вся поверхня Землі за одиницю часу. **Д.** Енергію, яку отримує 1 м^2 поверхні Землі за 1 с, якщо сонячні промені падають перпендикулярно до поверхні.

12.2. Для визначення світності Сонця необхідно знати:

А. Радіус Сонця. **Б.** Радіус Землі. **В.** Відстань від Землі до Сонця. **Г.** Температуру на поверхні Землі. **Д.** Температуру на поверхні Сонця.

12.3. Які з цих хімічних елементів найбільше поширені на Сонці?

А. Оксиген і Ферум. **Б.** Гідроген і Гелій. **В.** Гідроген і Оксиген. **Г.** Нітроген і Оксиген. **Д.** Ферум і Нітроген.

12.4. У результаті якого процесу виділяється енергія в надрах Сонця?

А. Ядерної реакції. **Б.** Гравітаційного стиснення. **В.** Термоядерної реакції. **Г.** Горіння водню. **Д.** Падіння метеоритів.

12.5. Грануляція у фотосфері утворюється в результаті того, що:

А. Корона дуже гаряча. **Б.** Енергія передається конвекцією. **В.** Плями дуже холодні. **Г.** Випромінюються нейтрино. **Д.** На поверхні Сонця є хвилі.

12.6. Сонце називають жовтою зорею, в той час як для більшості людей воно має білий колір. Як пояснити цю суперечність?

12.7. Що знижує температуру всередині сонячних плям?

12.8. Яке явище астрономи називають сонячною активністю?

12.9. Які процеси на Сонці можуть суттєво впливати на стан земної атмосфери?

12.10. Що є джерелом енергії Сонця?

12.11. Обчисліть, яку сонячну енергію зміг би поглинати за 1 год дах вашого будинку опівдні.



12.12. Які екологічно чисті джерела енергії можна запропонувати для використання у населеному пункті, де знаходиться наша школа?

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

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



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

Вивчивши цей параграф, ви:

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

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

Відстань від Землі до зорі визначається з прямокутного трикутника CBS :

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

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

Річні паралакси зір астрономи намагалися визначити ще за часів М. Коперника, що могло стати незаперечним доказом обертання Землі навколо Сонця та утвердженням геліоцентричної системи світу. Але тільки у 1837 р. В.Я. Струве у Пулковській астрономічній обсерваторії (Росія) визначив річний паралакс зорі *Вега* (α Ліри). Найбільший паралакс має найближча до нас зоря *Проксіма Кентавра* $p = 0,76''$, але її в Європі

13.1



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

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 |
| Росе 154 | 9,5 | 2,9 |
| є Ерідана | 11,0 | 3,3 |
| Прокіон | 11,4 | 3,5 |
| Альтаір | 16,5 | 5,1 |
| Вега | 26,5 | 8,1 |
| Арктур | 36,0 | 11,0 |
| Капелла | 45,0 | 13,8 |

не видно. З яскравих зір, які видно в Україні, найближче до нас перебуває зоря Сіріус (α Великого Пса), річний паралакс якої $p = 0,376''$.

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

$$l_{\text{пк}} = \frac{1 \text{ a.o.}}{\sin 1''} = 206065 \text{ a.o.} \approx 3,08 \cdot 10^{13} \text{ км.} \quad (13.2)$$

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

Якщо річний паралакс вимірюється кутовими секундами, то відстань до зір в парсеках можна виразити дуже простим співвідношенням :

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

13.2

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

Видимі зоряні величини. Вперше термін "зоряна величина" було введено грецьким астрономом Гіппархом у II ст. до н. е. для визначення яскравості зір. Тоді астрономи вважали, що зорі знаходяться на однаковій відстані від Землі, тому яскравість залежить від розмірів цих світил. Зараз відомо, що зорі навіть в одному сузір'ї знаходяться на різних відстанях від Землі, 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 сортів — 6 *зоряних величин*. Найяскравіші зорі були названі зорями першої зоряної величини, слабкіші — другої, а найслабкіші, які ледве видно на нічному небі, — шостої. У XIX ст. англійський астроном Погсон доповнив визначення зоряної величини ще однією умовою: *зорі першої зоряної величини мають бути у 100 разів яскравіші за зорі шостої величини* (рис. 13.2). Позначають видиму зоряну величину літерою m . Для будь-яких зоряних величин m_1, m_2 буде справедливе таке співвідношення їхньої яскравості E_1 та E_2 :

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

Рівняння (13.4) називають формулою Погсона. *Яскравість* E фактично визначає освітленість, яку створюють зорі на поверхні Землі, тому величину E можна вимірювати *люксами* — одиницями освітленості, які застосовують у курсі фізики. Згідно з форму-



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

тою (13.4), якщо різниця дорівнює величин двох світил дорівнює одиниці, то відношення блиску буде $\approx 2,512$.

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

Видимі та абсолютні зоряні величини деяких зір

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

Абсолютні зоряні величини та світність зорі. Хоча Сонце є найяскравішим світилом на нашому небі, це не означає, що воно випромінює більше енергії, ніж інші зорі. З курсу фізики відомо, що освітленість, яку створюють джерела енергії, залежить від відстані до них, тому невелика лампочка у вашій кімнаті може здаватися набагато яскравішою, ніж далекий прожектор. Для визначення *світності*, або загальної потужності випромінювання, астрономи вводять поняття абсолютної зоряної величини M . Зоряну величину, яку мала б зоря на стандартній відстані $r_0 = 10$ пк, називають *абсолютною зоряною величиною*. На такій відстані (11 пк, або 36 св. років) від нас знаходиться зоря Арктур, вона має видиму зоряну величину, яка приблизно дорівнює абсолютній. Сонце на відстані 10 пк мало б вигляд дощяк слабкої зорі п'ятої зоряної величини, тобто абсолютна зоряна величина Сонця $\approx +5$.

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:

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \quad (13.5)$$

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

$$L = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = 10^{0,4(5-M)}, \quad (13.6)$$

13.3

Абсолютна зоряна величина M визначає яскравість, яку мала б зоря на стандартній відстані 10 пк

Світність зорі визначає потужність випромінювання зорі

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

Світність L деяких зір

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

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

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

Найвищу температуру на поверхні мають сині зорі спектрального класу *O*, які випромінюють найбільше енергії у синій частині спектра (рис. 13.4).

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

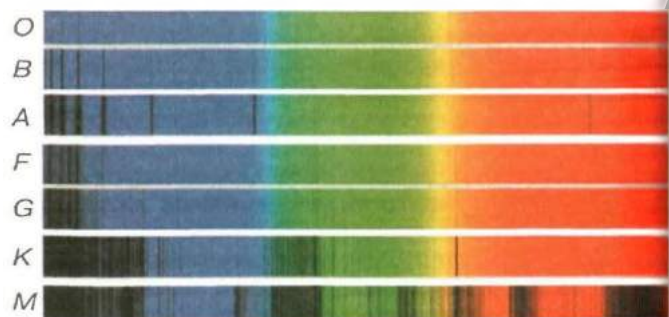
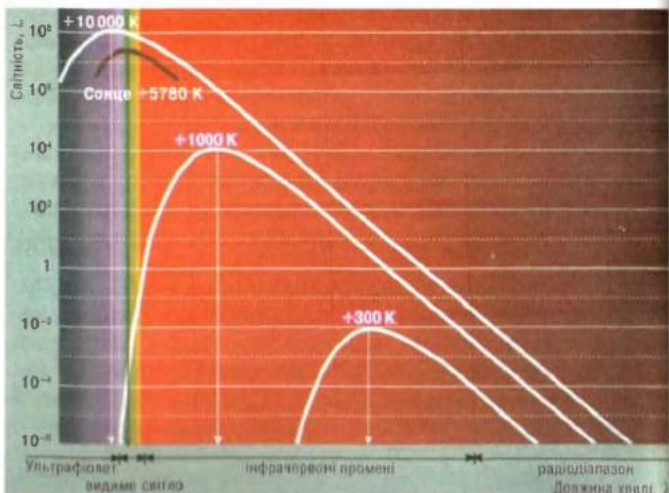


Рис. 13.4. Спектри зір. Гарячі зорі випромінюють більше енергії у синій частині спектра, а холодні зорі — у червоній. Планети випромінюють енергію переважно в інфрачервоній частині спектра



Звичайно у спектрі кожної зорі є темні лінії поглинання, які утворюються в розрідженій атмосфері зорі та в атмосфері Землі і показують хімічний склад атмосфери. Виявилось, що всі зорі мають майже однаковий хімічний склад, бо основні хімічні елементи у Всесвіті — Гідроген та Гелій, а основна відмінність різних спектральних класів обумовлена температурою зоряних фотосфер.

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

Для визначення радіуса зір астрономи використовують закон Стефана-Больцмана:

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

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

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

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

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

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

Таким чином, з рівнянь (13.8), (13.9) ми можемо визначити невідомий радіус зорі, якщо відомі R_{\odot} , T_{\odot} параметри Сонця:

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

де — L світність зорі в одиницях світності Сонця.

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

Радіус зорі можна визначити, вимірюючи її світність та температуру поверхні

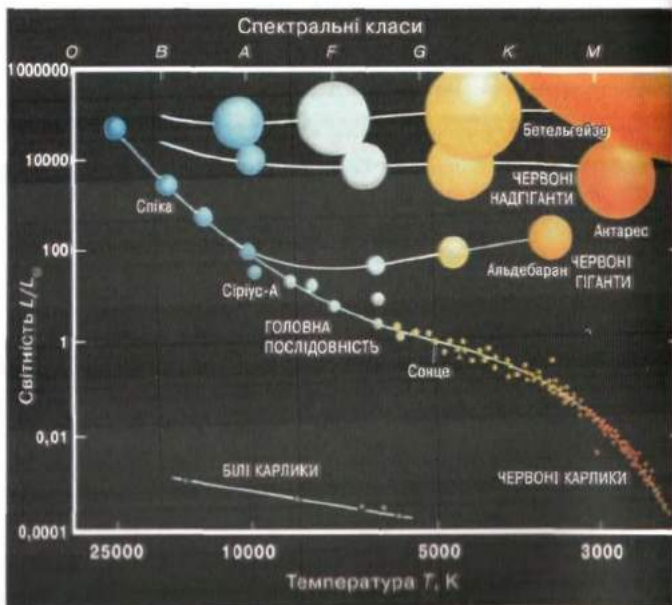


Рис. 13.5. Радіуси деяких зір у порівнянні з Сонцем

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

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

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



слідовності відрізняються у кілька разів, а їхня світність згідно із законом Стефана-Больцмана (див. § 13.5) визначається температурою поверхні. До цієї смуги входять Сонце та Сіріус. Суттєва різниця у температурі на поверхні зір різних спектральних класів пояснюється різною масою цих зірок: чим більша маса зорі, тим більша її світність. Наприклад, зорі головної послідовності спектральних класів *O* та *B* у кілька разів масивніші ніж Сонце, а *червоні карлики* мають масу у десятки разів меншу ніж сонячна.

Окремо від головної послідовності на діаграмі знаходяться *білі карлики* (ліворуч знизу) та *червоні надгіганти* (праворуч зверху), які мають приблизно однакову масу, але значно відрізняються за розмірами. Гіганти спектрального класу *M* мають майже таку саму масу, як білі карлики спектрального класу *B*, тому суттєво відрізняється середня густина цих зір. Наприклад, радіус *червоного гіганта Бетельгейзе* у 500 разів більший ніж радіус Сонця, але маса цих зір майже однакова, тому червоні гіганти спектрального класу *M* мають середню густину у мільйони разів меншу ніж густина земної атмосфери. Типовим представником білих карликів є супутник Сіріуса, радіус якого майже такий, як радіус Землі, а густина має фантастичну величину $3 \cdot 10^6 \text{ г/см}^3$, тобто наперсток речовини білого карлика важив би на Землі 10 000 Н. Ще більшу густину мають нейтронні зорі та чорні діри (див. § 14).

Червоні карлики — зорі з меншою масою 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 в десятки разів більший ніж сонячний. Маса цих зір не набагато більша від маси Сонця. Такі зорі не знаходяться в стані рівноваги.



Головна загадка діаграми спектр-світність полягає в тому, що в космосі астрономи ще не знайшли хоча б дві однакові зорі, які мають однакові фізичні параметри — масу, температуру, світність, радіус. Наприклад, багато зір належать до спектрального класу *G* (Капелла, Альфа Кентавра тощо), але немає зір, які були б точно такими, як Сонце. Напевно, протягом еволюції зорі змінюють свої фізичні параметри, тому навряд чи ми зможемо відшукати в космосі ще одну зорю, яка зародилася одночасно з нашим Сонцем, маючи тотожні початкові параметри. У діаграмі спектр-світність захована таємниця еволюції зір: деякі зорі тільки що народилися, інші мають середній вік і, крім того, багато зір закінчують своє існування потужними спалахами.

ВИСНОВКИ



Хоча всі зорі мають на перший погляд однаковий вигляд, але їхні фізичні характеристики: 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 знаходяться у стані рівноваги і не змінюють своїх розмірів протягом мільярдів років. У космосі існують зорі-гіганти, які у тисячі разів більші ніж Сонця, і зорі-карлики, радіус яких менший, ніж радіус Землі.



- 13.1. Якими одиницями астрономи вимірюють відстань до зір?
А. Кілометрами. Б. Астрономічними одиницями. В. Парсексами. Г. Світловими роками. Д. Парсеками.
- 13.2. Видима зоряна величина визначає:
А. Світність зорі. Б. Радіус зорі. В. Яскравість зорі. Г. Освітленість, яку створює зоря на Землі. Д. Температуру зорі.
- 13.3. На якій відстані абсолютна та видима зоряні величини мають однакове значення?
А. 1 а. о. Б. 10 а. о. В. 1 св. рік. Г. 10 св. років. Д. 1 пк. Е. 10 пк.
- 13.4. Які з наведених спектральних класів зір мають на поверхні найвищу температуру?
А. А. Б. В. В. F. Г. G. Д. К. Е. М. Є. О.
- 13.5. Виберіть температуру на поверхні та спектральний клас, до якого належить Сонце:
А. А. +10 000 °С. Б. В. +10 000 °С. В. С. +6000 °С. Г. G. +6000 °С. Д. М. +3000 °С. Е. О. +3000 °С.
- 13.6. Які зорі мають найвищу температуру на поверхні і до якого спектрального класу вони належать?
- 13.7. У чому полягає різниця між видимою та абсолютною зоряними величинами?
- 13.8. Як астрономи вимірюють температуру зір?
- 13.9. Якого кольору зорі мають найвищу температуру на поверхні? Які найменшу?
- 13.10. Чи існують зорі, маса яких менша маси Землі? Радіус яких менший ніж радіус Землі?
- 13.11. 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?
- 13.12. Річний паралакс Веги (α Ліри) дорівнює 0,12'' Яка відстань до неї у парсеках та світлових роках?

13.13. Опишіть, який був би клімат на Землі, коли б замість Сонця на нашому небі світила зоря Сіріус.

13.14. За допомогою карти зоряного неба знайдіть зорі різних спектральних класів *O, B, A, F, G, K, M*. Порівняйте колір цих зір щодо температури на їхній поверхні.

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



Вивчивши цей параграф, ми:

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

Зародження зір. Астрономи створили теорію еволюції зір завдяки тому, що в космосі ми можемо спостерігати мільярди зір різного віку. Це трохи схоже на те, як за кілька годин можна описати ріст та розвиток дерева, яке існує десятки років, — треба тільки піти в ліс і нивчити дерева 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 з планетами із розріджених газопилових хмар, які утворюються після вибуху старих зір. За допомогою сучасних телескопів астрономи виявили в космосі сотні таких величезних газопилових туманностей, де зараз відбувається утворення молодих світів. Наприклад, такі своєрідні "ясла" новонароджених зір можна побачити у сузір'ї Оріон (рис. 14.1), у зоряному скупченні Плеяди (рис. 14.2).

Доля зорі та тривалість її життя залежать від початкової маси зародка зорі — *протозорі*. Якщо вона була у кілька разів більша ніж маса Сонця, то під час гравітаційного стиснення утворюються гарячі зорі спектральних класів *O* та *B*. Протозорі з такою початковою масою, як маса Сонця, в цих умовах 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 термоядер-

14.1



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



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

них реакцій у надрах зорі, дорівнює приблизно 0,01 маси Сонця. Об'єкти меншої маси ніколи у зорі не перетворяться — вони будуть випромінювати енергію тільки в інфрачервоній частині спектра. Такі космічні тіла ми спостерігаємо навіть у Сонячній системі — це планети-гіганти Юпітер, Сатурн, Нептун (див. § 9). Можливо, що у міжзоряному просторі кількість таких холодних інфрачервоних тіл (їх ще називають *коричневими карликами*) може бути набагато більшою, ніж видимих зір.

14.2

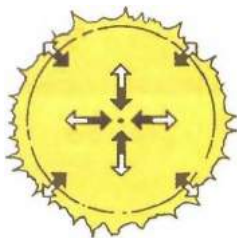


Рис. 14.3. Зоря в стані рівноваги: зовнішні сили гравітації врівноважені силами газового тиску

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

14.3

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

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

та температури на поверхні — на діаграмі *спектр-світність* такі зорі не мають постійного положення і зміщуються з головної послідовності праворуч.

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

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



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

Нові та Наднові зорі. Зорі з масою у кілька разів більшою ніж сонячна закінчують своє життя потужним 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, бо це був рік смерті Ярослава Мудрого. Вони вважали, що поява нової зорі віщувала "Боже знамення" на сумну подію у житті Русі. Сьогодні на тому місці, де спалахнула ця темнична зоря, видно *туманність Краб* (рис. 14.5). Зорі спектральних класів *O* та *B*, які протягом кількох днів збільшують свою яскравість у сотні мільйонів разів, називають *Новими*. Інколи Нова випромінює майже стільки ж енергії, скільки виділяють разом всі зорі в галактиці — такі зорі мають назву *Наднових*. Туманність Краб в сузір'ї Тільця є залишком такої Наднової, що спалахнула 4 липня 1054 р. Вірніше, якщо врахувати, що туманність Краб знаходиться на відстані 6500 св. років від Землі, то спалах Наднової стався ще 7500 років тому.

Останній спалах Наднової астрономи спостерігали у минулому тисячолітті 24 лютого 1987 р. у суєдній галактиці — *Великій Магеллановій Хмарі*. Вибухнула гігантська зоря з масою $15M_{\odot}$ спектрального класу *B*, яка кілька тижнів світила яскравіше від всіх зір у галактиці (рис. 14.6). Приблизно за 20 год. перед спалахом Наднової було зареєстровано ударну хвилю нейт-

14.4



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

Нова зоря — спалах, яким закінчують життя зорі великої маси

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

Білий карлик
Сіріус — В

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

ришого 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 200 000 років тому.

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



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



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



Після спалаху Нової чи Наднової залишається ядро, у якому відсутнє джерело енергії. Така зоря поступово зменшує свій радіус і світить тільки завдяки гравітаційному стисненню — потенціальна енергія перетворюється у тепло. При стисненні маса залишається сталою, тому збільшується густина і зоря перетворюється у білого карлика. Якщо початкова маса зорі була у кілька разів більшою ніж сонячна, то білий карлик може перетворитися у нейтронну зорю, радіус якої не перевищує кількох десятків кілометрів, а густина сягає фантастичної величини 10^{15} г/см^3 . Першу нейтронну зорю випадково відкрили у Кембриджському університеті у 1967 р. За допомогою невеликої антени астрономи зареєстрували радіосигнал, який повторювався з постійним періодом 1 с. Уночі в тому напрямку, звідки надходили імпульси, не було видно жодної зорі, тому астрономи навіть висунули гіпотезу про радіосигнал штучного походження від позаземної цивілізації. Потім спостереження показали, що такі періодичні сигнали надходять на Землю від сотень інших невидимих джерел, які було названо *пульсарями*. Один з пульсарів було виявлено навіть у центрі знаменитої туманності Краб.

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

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

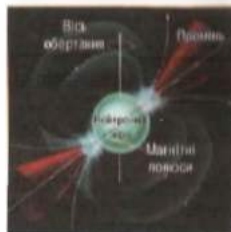


Рис. 14.8. Періодичні сигнали пульсарів пояснюються великою кутовою швидкістю обертання нейтронної зорі навколо осі

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

Чорні діри (рис. 14.9) утворюються на останній стадії еволюції зір з масою більшою ніж $3M_{\odot}$. Така дивна назва пов'язана з тим, що ці тіла мають бути невидимими, бо не випускають за свої межі світла. З іншого боку, такі об'єкти втягують до себе все з навколишнього простору. Якщо космічний корабель потрапляє на межу чорної діри, то вирватися з її поля тяжіння він не зможе, бо друга космічна швидкість біля її поверхні дорівнює швидкості світла 300 000 км/с. Якщо у формули (5.5) і (5.2) замість V_2 ввести швидкість світла, то отримаємо межу, до якої може стискатися зоря, поки друга космічна швидкість біля її поверхні не досягне швидкості світла:

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

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

Із формули (14.1) можна визначити критичний радіус будь-якого космічного тіла з відомою масою. На-



Рис. 14.9. Чорна діра

Чорна діра — об'єкт, що не випускає з себе жодних електромагнітних хвиль — це остання стадія еволюції зір певного класу. Радіус чорної діри залежить від її маси — від кількох метрів до мільярдів кілометрів

приклад, для Землі $R_0 = 1$ см, а для Сонця $R_0 = 3$ км — такий об'єкт не буде випускати з гравітаційного поля навіть квантів світла, тому він стає невидимим, і від нього не можна отримати інформацію за допомогою електромагнітних хвиль. Подібних чорних дір, або своєрідних зоряних могил, у космосі може налічуватися навіть більше, ніж звичайних зір. Отримати інформацію про чорну діру можна за допомогою і гравітаційного поля, яке безслідно не може зникнути.



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

14.7

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

Газопилова хмара



Протозоря



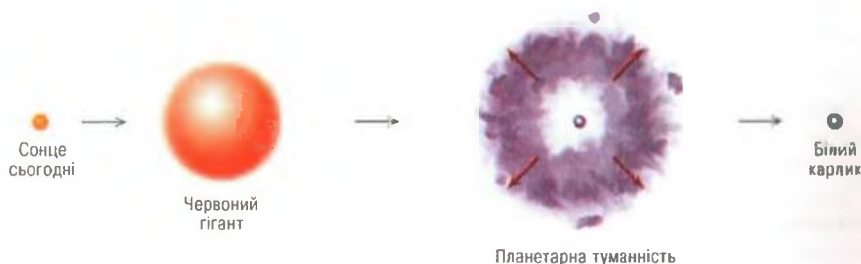
Сонце сьогодні



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

разів, а температура на поверхні цієї планети буде більшою ніж 1000 К. Випаруються океани, і Земля перетвориться на страшицю гарячу пустелю, чимось схожу на сучасну Венеру. У Сонячній системі така температура, як зараз на Землі, буде тільки на околицях — на супутниках Сатурна та Урана. У стадії червоного гіганта Сонце буде світити приблизно 100 млн років, після чого верхня оболонка відірветься від ядра і почне розширюватися у міжзоряний простір у вигляді планетарної туманності (рис. 14.11). При розширенні напевно випаруються всі планети земної групи, і на місці Сонця залишиться білий карлик — маленьке гаряче ядро, у якому колись протікали термоядерні реакції. Радіус білого карлика буде не більшим, ніж у Землі, але густина сягатиме 10^{10} кг/м³. Білий карлик не має джерел енергії, тому температура його поверхні поступово знизиться, і остання стадія еволюції нашого Сонця — холодний чорний карлик.

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



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

ВИСНОВКИ



У космосі постійно відбуваються народження нових зір із газопилових туманностей та вибухи старих, коли утворюються нові туманності. Сонячна система утворилася близько 5 мільярдів років тому з велетенської газопилової хмари, яка виникла на місці вибуху старої зорі. У стані рівноваги Сонце буде світити ще кілька мільярдів років і потім перетвориться на червоного гіганта, який знищить все живе на Землі...



- 14.1. Які з цих зір світять довше за всіх?
А. Гіганти спектрального класу *O*. Б. Білі зорі спектрального класу *A*. В. Сонце. Г. Червоні гіганти спектрального класу *M*. Д. Червоні карлики спектрального класу *M*.
- 14.2. Зорі якого спектрального класу мають найкоротше життя?
А. А. Б. В. В. F. Г. G. Д. К. Е. М.
- 14.3. Який космічний об'єкт називають пульсаром?
А. Подвійну зорю, коли одна зоря заслоняє іншу. Б. Нейтронну зорю. В. Білого карлика. Г. Пульсуєчу зорю. Д. Гіганта.
- 14.4. Термін "Нова зоря" означає:
А. У космосі утворилася молода зоря. Б. Вибухнула стара зоря. В. Періодично збільшується яскравість зорі. Г. Відбуваються зіткнення зір. Д. Космічні катастрофи з невідомим джерелом енергії.
- 14.5. У майбутньому Сонце може перетворитися:
А. У чорну діру. Б. У нейтронну зорю. В. У пульсар. Г. У червоного гіганта. Д. У червоного карлика. Е. У білого карлика.
- 14.6. Коли параметри зорі залишаються сталими?
- 14.7. Які зорі світять найдовше?
- 14.8. Скільки часу може світити Сонце у стані рівноваги?
- 14.9. Як гинуть зорі великої маси?
- 14.10. Чи може зоря червоний карлик перетворитися у білого карлика?
- 14.11. Чому пульсари періодично змінюють інтенсивність випромінювання?
- 14.12. Визначте густину зорі білого карлика, який має діаметр 1000 км, а його маса дорівнює 10^{30} кг.
- 14.13. Визначте густину зорі Бетельгейзе, якщо її радіус у 400 разів більший ніж радіус Сонця, а маса приблизно дорівнює масі Сонця.



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



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



Змінна зоря, коричневий карлик, кругообіг речовини, Наднова зоря, нейтронна зоря, Нова зоря, протозоря, планетарна туманність, пульсар, цефеїда, чорна діра.

Вивчивши цей параграф, ми:

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

Будова Галактики. Зорі у 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 (рис. 15.1). *Розсіяні зоряні скупчення* мають кілька тисяч об'єктів (найяскравіші з них *Плеяди (Стожари)* (рис. 14.2) та *Гіади* видно неозброєним оком у сузір'ї *Тельця*). У зоряні асоціації входять відносно молоді зорі, які мають спільне походження.

Галактику часто зображують як зоряну систему у вигляді велетенського млинця, у якому зорі рухаються в одній площині. Насправді Галактика має сферичну форму з діаметром майже 300000 св. років, але більшість зір великої світності знаходиться приблизно в одній площині, тому їх видно на небі як туманну світлу смугу, яку в Україні називають *Чумацький Шлях*. Назва *Галактика* прийшла із стародавньої Греції і в перекладі означає *Молочний Шлях* (див. § 1). Зверніть увагу, що всі яскраві зорі (сузір'я *Оріон, Лебідь, Ліра, Орел*) знаходяться у смузі Молочного Шляху. У цій площині розташовується значна частина газопилових туманностей (рис. 15.2), з яких утворюються нові покоління зір та планет. Всі ці об'єкти формують так звану *плоску складову Галактики*, до якої входить і Сонячна система (рис. 15.3).

15.1

Наша Галактика

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



Рис. 15.1. Кулясте зоряне скупчення М1 у сузір'ї *Геркулес*: відстань — 16 000 св. років, діаметр — 750 св. років, кількість зір — 10^6



Рис. 15.2 Газопилова туманність Трифід у сузір'ї Стрільця

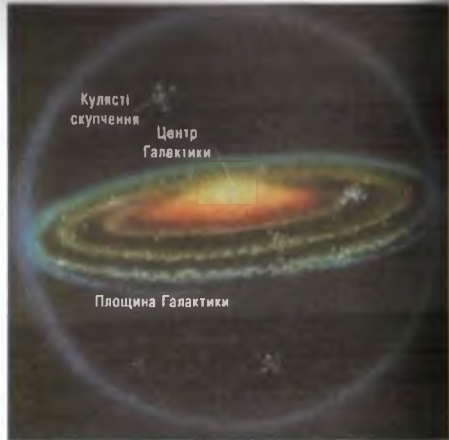


Рис. 15.3 Будава Галактики. У площині Галактики існують газопилові туманності, у яких народжуються молоді зорі й планетні системи

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, бо це зорі першого покоління, які сформувалися разом з утворенням Галактики ще 10—15 млрд років тому. Зародження нових зір та планетних систем зараз відбувається тільки у площині Галактики, де газопилові туманності утворюються після вибуху Нових та Наднових зір.

15.2



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

Центр Галактики знаходиться у напрямку сузір'я Стрільця, але ця область захована від нас величезними хмарами пилу, який поглинає випромінювання у видимій частині спектра (рис. 15.4). У центрі Галактики знаходиться ядро діаметром 1000—2000 пк. Існує гіпотеза, що у ядрі Галактики знаходиться чорна діра з масою у мільйони разів більшою ніж маса Сонця. У центрі Галактики поблизу ядра існує своєрідна випуклість — округлий виступ, де концентруються зорі та хмари гарячого газу, які знаходяться від нас на відстані майже 10 000 пк. Ці хмари оточують центр Галактики густим покривалом, тому за допомогою оптичних телескопів ми не можемо безпосередньо спостерігати її ядро. Тільки за допомогою радіотелескопів та телескопів інфрачервоного і рентгенівського діапазонів зареєстровано інтенсивне випромінювання центра (ядра) Галактики.

Обертання зір у Галактиці. Сонце розташоване поблизу площини Галактики на відстані 25000 св. років від її ядра. Вектор швидкості Сонця відносно найближчих зір направлений до сузір'я *Геркулес*. Разом з усіма сусідніми зорями Сонце обертається навколо ядра Галактики зі швидкістю 250 км/с. Період обертання Сонця навколо ядра називається *галактичним роком*, який дорівнює 250 000 000 років. Аналіз швидкості обертання зір свідчить про суттєву відміну між поведінкою об'єктів у *сферичній та плоскій складових* Галактики. Якщо зорі плоскої складової обертаються навколо центра Галактики поблизу однієї площини, то зорі сферичної складової об'єднані у величезні *кулясті скупчення*, що обертаються навколо центра по витягнутих орбітах у різних площинах. До того ж, період обертання цих скупчень показує, що вична маса Галактики розподілена саме у сферичній складовій. Це можуть бути об'єкти малої маси, які не випромінюють енергію у видимій частині спектра, або *чорні діри* малої маси (рис. 15.5).

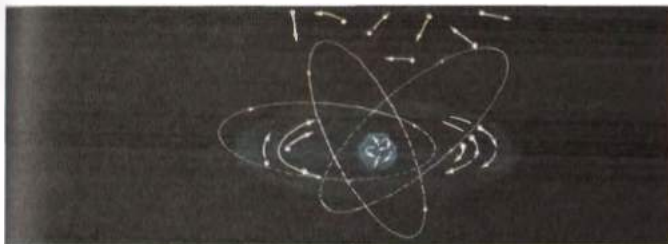


Рис. 15.5. Обертання зір у Галактиці

Однією з таємниць Галактики є так звані *спіральні рукави*, які зароджуються десь біля її центра. Сонце знаходиться в одному з таких рукавів, що закручений у площині галактичного диска. Астрономи вважають, що спіральні рукави виникають як спіральні хвилі густини, які створюються під час стиснення хмар міжзоряного газу на початковому етапі формування зір (§ 14). У свою чергу, при виникненні зір у міжзоряних хмарах газу та пилу виникають ударні хвилі, що призводить до утворення молодих зір. Коли масивні зорі спалахують як *Наднові*, то теж утворюються нові туманності й нові ударні хвилі поширюються у міжзоряному просторі. Тобто формування однієї групи зір забезпечує створення механізму для утворення нового покоління зір. Цей процес інколи називають *формуванням зір за допомогою саморозмноження*. Такий перебіг подій може формувати спіральні хвилі густини не тільки у нашої Галактиці, але й в інших спіральних галактиках.

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

Спіральні рукави виникають в деяких галактиках як дисні хвилі густини, де формуються нові покоління зір

15.4

Найближчі галактики

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

Рис. 15.6. Галактику М 31 у сузір'ї Андромеди видно неозброєним оком — вона знаходиться на відстані 2 млн св. років

Найближчі сусіди Галактики. Спостерігаючи інші галактики, астрономи звернули увагу на те, що не всі галактики мають спіральну структуру. За зовнішнім виглядом існують три типи галактик — *спіральні, еліптичні та неправильні*. Наша Галактика, так само як і галактика у сузір'ї Андромеди М 31, належить до спіральних. Вони мають схожий вигляд, майже однакові розміри і приблизно однакову кількість зір. Галактика М 31 знаходиться на відстані 2 млн св. років від Землі — це найдалший об'єкт у Всесвіті, який ще можна спостерігати неозброєним оком (рис. 15.6). Найближчі до нас галактики, Малу та Велику Магелланові Хмари, можна побачити на небі південної півкулі.

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



15.5

Розподіл галактик у Всесвіті. Спостерігаючи гравітаційну взаємодію планет та зір, астрономи звернули увагу на своєрідну ієрархічну структуру руху космічних тіл:

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

Наша Галактика та галактика М 31 входять до *Місцевої групи* галактик. Найбільші скупчення галактик спостерігаються у сузір'ях *Діви* та *Волося Вероніки*



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

(рис. 15.7). У цьому напрямку астрономи відкрили своєрідну *Велику Стіну*, де на відстані 500 млн св. років виявляється значне збільшення кількості галактик в порівнянні з іншими напрямками.

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

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

Велика Стіна
Величезні скупчення галактик в напрямку сузір'їв Діва і Волосся Вероніки



Рис. 15.8. Зіткнення галактик

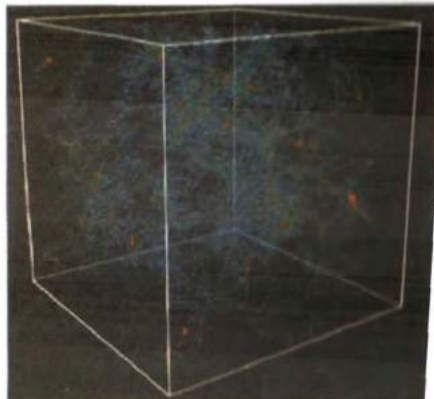


Рис. 15.9. Волокниста структура Всесвіту. Галактики розташовані на поверхні величезних бульбашок, а ми їх бачимо у вигляді намиста

15.6

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

Стала Габбла

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

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



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

15.7

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

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

Ми розглянемо тільки *фотометричний парадокс*, який був сформульований у 1744 р. швейцарським астрономом Ж. Шезо та доповнений німецьким астрономом І. Ольберсом у 1826 р. Суть цього парадокса можна виразити у такому запитанні: “Якщо Всесвіт

вскінченний, то чому вночі темно?". Здається, що на це запитання зможе відповісти кожний учень, адже зміну дня і ночі вивчають у початковій школі. Але треба пам'ятати, що над півною поверхнею Землі світить безліч зір безмежного Всесвіту, які випромінюють нескінченну кількість енергії, тому освітлення від зір та галактик має бути не меншим за освітлення, яке створює Сонце. Але з власного досвіду ми бачимо, що вночі небо набагато темніше, ніж вдень. Математики запропонували таку модель Всесвіту, у якій можна впростувати фотометричний парадокс. *Всесвіт може бути безмежний, але скінченний.* В одновимірному просторі такий *безмежний скінченний світ* — це звичайне коло або будь-яка інша замкнена крива (рис. 15.10). Зачинений *двовимірний простір* — *поверхня сфери*, яка не має межі, але площа поверхні сфери є скінченною величиною (рис. 15.11).



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

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



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

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

ВИСНОВКИ



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



- 15.1. Слово "галактика" в перекладі з грецької мови означає:
А. Чумацький Шлях. Б. Сріблястий шлях. В. Чорний шлях.
Г. Велика дорога. Д. Молочний Шлях.
- 15.2. Що знаходиться в центрі Галактики?
А. Зоряне скупчення. Б. Чорна діра. В. Червоний гігант. Г. Шілий карлик. Д. Чорна хмара.
- 15.3. Галактичний рік визначає:
А. Період обертання Галактики навколо осі. Б. Період обертання Сонця навколо центра Галактики. В. Відстань, що пролітає світло до галактики в Андромеді. Г. Період обертання Галактики навколо центра світу. Д. Період обертання зір сферичної складової навколо центра Галактики.
- 15.4. Термін "Велика Стіна" в астрономії означає:
А. Зародження нових зір та планетних систем. Б. Величезне скупчення галактик у напрямку сузір'їв Діви і Волосся Вероніки. В. Оборонні споруди, які створили галактичні цивілізації. Г. Скупчення газу і пилу у міжгалактичному просторі. Д. Скупчення невідомої темної речовини, яка поглинає світло далеких галактик.
- 15.5. Згідно із законом Габбла всі галактики розлітаються у різних напрямках. Що знаходиться у центрі цього розширення?
А. Земля. Б. Наша Галактика. В. Галактика М 31 у сузір'ї Андромеди. Г. Скупчення галактик у сузір'ї Діви. Д. Центра не існує, бо в безмежному Всесвіті відсутні центр та околиці.
- 15.6. Які зорі входять у плоску складову галактики?
- 15.7. Які структури мають галактики?
- 15.8. Як за допомогою закону Габбла можна виміряти відстань до галактик?
- 15.9. Чи можуть відбуватися зіткнення галактик?
- 15.10. Обчисліть, з якою швидкістю віддаляється від нас галактика, якщо світло від неї летить до Землі $4 \cdot 10^8$ р.

15.11. Як, на вашу думку, можна було б пояснити фотометричний парадокс безмежного і нескінченного Всесвіту (парадокс Ольберса): "Якщо Всесвіт нескінченний, то чому вночі темно?"

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

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



Вивчивши цей параграф, ви:

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

Великий Вибух та вік Всесвіту. У ХХ ст. загальна теорія відносності А. Айнштейна допомогла 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 знаходилися ближче одна до одної. За допомогою сталої Габбла можна підрахувати, коли всі галактики до початку розширення могли знаходитися в одній точці. Моментом початку розширення Всесвіту є дивний *Великий Вибух*, який пов'язаний з віком T Всесвіту: $T = 1/H$.

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 меншим за вік найстаріших кулястих зоряних скупчень, що існують вже понад 13 млрд років, то цю цифру можна також вважати за нижню межу віку нашого Всесвіту.

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

16.1

Великий Вибух — дивний процес під час зародження Всесвіту, коли почалося загальне розширення космічного простору й утворення елементарних частинок, атомів та великих космічних тіл

Сингулярність — початковий момент під час зародження Всесвіту, коли густина і температура матерії сягали надзвичайно великих значень

Головні ери в історії Всесвіту. Всесвіт на початку існування мав настільки маленькі розміри, що тоді ще було ні галактик, ні зір і навіть ще не існували елементарні частинки. Густина та температура повонародженого 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 латин. — *єдиний*). Потім густина і температура Всесвіту почали знижуватись і стали утворюватись елементарні частинки, атоми і галактики.

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

| Ера Всесвіту | Вік Всесвіту, роки | Фази еволюції | Температура, К | Густина, кг/м ³ |
|----------------|---------------------|--|----------------|----------------------------|
| Речовини | $1,5 \cdot 10^{10}$ | Сучасна епоха | 2,7 | $5 \cdot 10^{-17}$ |
| | $1,2 \cdot 10^{10}$ | 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 | Квасари | | |
| | $3 \cdot 10^8$ | Поява хмар Водню та Гелію | | |
| | 10^8 | Утворення атомів Гідрогену та Гелію | | 10^{-13} |
| Випромінювання | $3 \cdot 10^5$ | Початок ери речовини. Всесвіт стає нейтральним і темним | 3 | 10^{-10} |
| | 300 с | Кінець ери випромінювання | 10 | |
| Лептонна | 10 с | Утворення ядер Дейтерію та Гелію | 10^4 | 10^{16} |
| | 10^{-4} с | Електрони і позитрони в стані теплової рівноваги з випромінюванням | 10^{10} | |
| Адронна | 10^{-7} с | Розділення електромагнітної та слабкої взаємодії | 10^{15} | |
| | 10^{10} с | Утворення нейтронів і протонів | 10^{27} | |
| | 10^{-32} с | Відділення сильної взаємодії | | |
| | 10^{43} с | Відділення сил гравітації | 10^{32} | 10^{95} |
| Сингулярність | 0 | Усі чотири фундаментальні сили об'єднані у єдину | | |



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

Реліктове фонове випромінювання. Ті кванти електромагнітного випромінювання, що відірвалися від елементарних частинок в еру випромінювання, доводять до нас з усіх боків, які відповідають електромагнітному випромінюванню абсолютно чорного тіла з температурою 2,7 К (рис. 16.1). На початку існування кванти мали велику енергію, тому випромінювання відбувалося у височастотній частині спектра електромагнітних хвиль в *гамма-діапазоні*. З часом гаммакванти втрачали енергію, тому довжина електромагнітних хвиль збільшувалася, і через 10^5 років після Великого Вибуху максимум випромінювання припадав вже 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 знаходився в інфрачервоній частині спектра, а через 14 млрд років середня температура Всесвіту зменшилася до 2,7 К, тому зараз максимум випромінювання знаходиться у *радіодіапазоні на хвилі завдовжки 1 мм*. Таке випромінювання надходить до Землі звідусіль, його інтенсивність та частота не залежать від напрямку, і це свідчить про те, що середня температура Всесвіту повсюди однакова. Цікаво, що передбачив існування гарячого раннього Всесвіту ще 60 років тому уродженець Одеси Г. Гамов (США), але зареєстрували ці реліктові електромагнітні хвилі тільки у 1965 р.

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

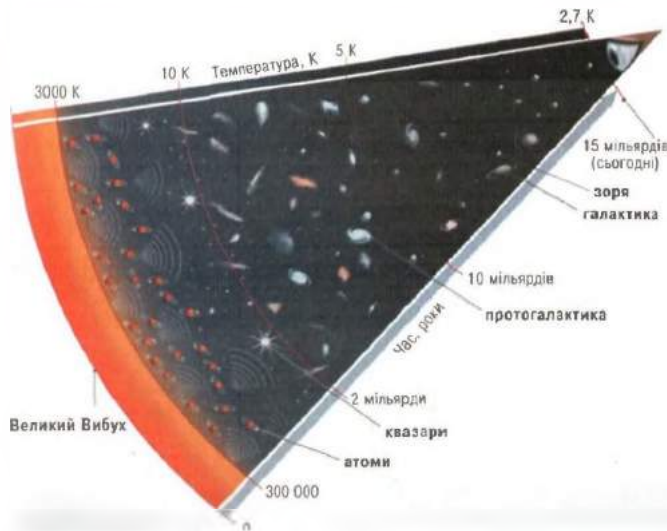


Рис. 16.1. Чим далі від Землі знаходиться космічний об'єкт, тим молодшим ми його бачимо, бо світло від нього досягає поверхні Землі через мільярди років. На межі видимої частини Всесвіту з відстані 10 млрд св. років надходить випромінювання, яке утворилося в часів Великого Вибуху. На відстані 5 млрд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

16.4



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

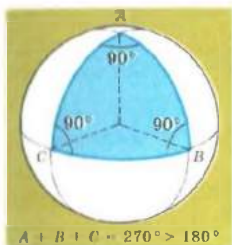


Рис. 16.3. Для зачиненого Всесвіту є правильною неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику більша 180°

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

Чи буде кінець світу? Гравітаційна взаємодія речовини в майбутньому може зменшити швидкість розширення Всесвіту. Виявляється, якщо середня густина Всесвіту має критичне значення $\rho_0 = 5 \cdot 10^{27}$ кг/м³, а стала Габбла $H = 70$ км/(с·Мпк), розширення буде відбуватися вічно. Розрахунки показують, що майбутня доля нашого Всесвіту залежить від значення справжньої середньої густини щодо критичної густини ρ_0 . Можуть бути три сценарії майбутнього розвитку подій:

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

Розглянемо 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 знижуватися, наближуючись до абсолютного нуля, а максимум випромінювання з часом буде зміщуватися у сантиметровий та метровий діапазони електромагнітних хвиль (рис. 16.2). Такий Всесвіт називають *відчипеним*, він не має межі у просторі й може існувати вічно, поступово перетворюючись в ніщо.

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

Через кілька мільярдів років розлітання галактик на мить зупиниться, а потім почнеться стиснення Всесвіту, бо гравітаційна сила змусить галактики зближуватися. Зближення галактик призведе до трагічних наслідків для живих організмів, бо енергія фонового випромінювання і температура Всесвіту будуть зростати (рис. 16.4). Небо почне світитися спочатку червоним кольором, а потім стане синім. Цей кінець світу відбуватиметься без свідків, бо температура зросте настільки, що всі живі істоти загинуть, потім зникнуть зорі, планети, елементарні частинки, і Всесвіт знову перетвориться у речовину з надзвичайно великою густиною.



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

Хоча це, на перший погляд, здається неймовірним, але ми можемо жити у такому "самостворюваному" світі, який випадково почав своє існування. Таке свого роду дивне створення первісної космічної енергії з абсолютно "нічого" трохи нагадує "скатерть-самобранку" з відомої казки.

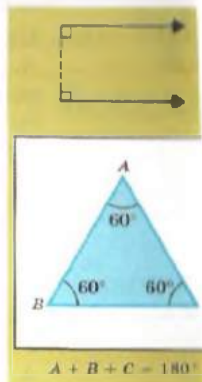


Рис. 16.5. У геометрії Евкліда паралелі прямі не перетинаються, а сума кутів у трикутнику дорівнює 180°



За сучасними дослідженнями середня густина Всесвіту менше критичної, тобто галактики будуть розлітатися вічно. Але сучасні спостереження підтверджують існування у Всесвіті прихованої маси, яка зосереджена у тілах, це випромінюють незначну енергію у вигляді електромагнітних хвиль — чорні діри, пульсари, нейтринне випромінювання, гравітаційні хвилі тощо. Астрономи, які займаються проблемами космології, запропонували гіпотезу про існування нового класу елементарних частинок, яким дали умовну назву — Слабко Взаємодіючі Масивні Частинки (СВМЧ). Якщо ці гіпотези про приховану масу підтвердяться, то середня густина Всесвіту може бути більша за критичну і майбутня еволюція Всесвіту буде проходити за другим сценарієм, який викладено у п. 2 (рис. 16.3, 16.4). Такий Всесвіт нагадує казкового птаха Фенікс, який періодично спалюється, а потім з попелу відроджується молодим.

ВИСНОВКИ



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

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



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



- 16.12. Який Всесвіт вам подобається більше з філософської точки зору: відчинений, зачинений чи Всесвіт, що змінюється у часі? Чому?



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



Великий Вибух, відчинений Всесвіт, зачинений Всесвіт, паралельні світи, пульсуючий Всесвіт, реліктове фонове випромінювання, сингулярність.

Вивчивши цей параграф, ми:

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

Антропний принцип. Життя є однією з великих таємниць Всесвіту. Ми бачимо на Землі різноманітні живі організми, але нічого не знаємо про інші форми життя на чужих планетах. Усі живі істоти народжують дітей, а потім рано чи пізно вмирають, тобто перетворюються у неживу матерію. Але на Землі ще ніхто не спостерігав безпосереднє зародження живих біологічних клітин з неживих хімічних сполук. З цього приводу англійський біолог Ф. Крік, який ще у 1953 р. разом з американцем Д. Уотсоном розкрив таємницю структури ДНК, висловився так: "Ми не бачимо шляху від первісного бульйону до природного відбору. Можна дійти висновку, що походження життя — чудо, але це свідчить лише про наше незнання".

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

17.1

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

Митридор
(III ст. до н. е.)

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

Відчигнена система обмінюється з навколишнім середовищем енергією та інформацією

Життя як відчинена система, яка зберігає та передає інформацію з минулого в майбутнє.

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

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

Гігантський стрибок у збільшенні потоку інформації відбувся 100 000 років тому з появою розумної людини — *homo sapiens*. Біологи доводять, що тоді на Землі паралельно існували два види розумних людей — *кроманьйонці та неандертальці*. Хоча неандертальці були фізично сильними та могутніми, але під час льодовикового періоду вони загинули. Вижили кроманьйонці, які навчилися не тільки добувати та зберігати вогонь, а і 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 у 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 розпочали безпосередні пошуки позаземних форм життя.

Імовірність існування життя на інших тілах Сонячної системи досить мала (див. § 7—11), тому пошуки позаземних цивілізацій зараз ведуться поблизу інших зір. Недавно виявлені десятки темних супутників зір, що свідчить про існування інших планетних систем, де можуть бути досі невідомі цивілізації.

Синергетика — наука, що вивчає закони та еволюцію складних систем

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

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



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

Проблеми контактів з позаземними цивілізаціями.

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

Контакти з іншими цивілізаціями можуть бути трьох типів:

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

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

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

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



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



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

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

Пам'ятайте!

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

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

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

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

Виникають і застереження щодо можливих наслідків контактів з цивілізацією, яка знаходиться на більш високому ступені розвитку. Якщо чужа цивілізація за інтелектом набагато випередила землян, то вона може вже здійснювати міжзоряні перельоти. Тобто контакти третього типу можуть відбутися і на Землі, якщо до нас прилетять чужі космічні кораблі. У цьому випадку виникне головна проблема: чи захочуть розумні істоти з інших світів спілкуватися з нами, адже між нами і ними може бути інтелектуальна різниця. Контакти між цивілізаціями можуть призвести до міжзоряних конфліктів, і ми повинні бути готовими до цього.

Прогнози еволюції земної цивілізації. Час існування окремої цивілізації теж впливає на визначення загальної кількості цивілізацій у Галактиці. Наприклад, у середньовіччі, коли середня тривалість життя людини була 20—30 років, кількість населення Землі не перевищувала 100 млн осіб, і тільки в кінці ХХ ст., коли значно зріс середній вік людей, населення Землі сягнуло за 6 млрд. Скільки часу може існувати окрема цивілізація, ми не знаємо, бо спостерігаємо тільки за

розвитком людства. Існують кілька наукових оцінок тривалості життя цивілізації. За так званою песимістичною точкою зору середня тривалість існування окремої ізольованої цивілізації не перевищує 10 000 років. Відповідно до цієї шкали земна цивілізація наближується до смерті, бо людство зіткнулося з цілим рядом проблем, які можуть призвести до катастрофічних наслідків.

Учені, які мають іншу, не таку безнадійну точку зору, вважають, що всі ці проблеми в майбутньому можуть бути розв'язані, тому оптимістична оцінка тривалості існування нашої цивілізації — 100 000 років. Тобто за цією шкалою наша цивілізація тільки народжується, і в майбутньому нас чекає розквіт, освоєння міжзоряного простору та зустрічі з інопланетними цивілізаціями. Для цієї мети в наших школах і вивчають астрономію — науку про таємничий і дивовижний космос...

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



Основні причини, які можуть викликати загибель нашої цивілізації:

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

ВИСНОВКИ



Життя — це складна відчинена система хімічних та біологічних сполук з високим ступенем упорядкованості, яка зберігає величезний об'єм інформації про себе і навколишній світ. Зі зростанням хаосу в довкіллі зростає об'єм інформації всередині живого організму, а потім ця інформація передається нащадкам у майбутнє. Земля за багатьма параметрами є зачиненою системою, тому проблема виживання людства пов'язана з освоєнням космосу. Наша цивілізація зробила перші кроки в цьому напрямку — ми почали дослідження Сонячної системи. Але при експансії людства в космос виникають проблеми контактів з чужими цивілізаціями...



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



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



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



Антропний принцип, контакти між цивілізаціями, космічна еволюція, синергетика, загибель цивілізацій.

Приклади розв'язання задач з астрономії

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

Дано:

$$D = 26,4 \text{ св. років}$$

$$c = 300\,000 \text{ км/с}$$

$$V = 30 \text{ км/с}$$

$$t = ?$$

Розв'язання:

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

Швидкість ракети в 10 000 разів менша ніж швидкість світла, тому космонавти будуть летіти до Веги у 10 000 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 три-кутника, де катетами є L (довжина тіні) та H (ваш зріст), знаходимо

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

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

Дано:

$$\lambda_K = 30^\circ = 2 \text{ год } 00 \text{ хв}$$

$$\lambda_C = 34^\circ 06' = 2 \text{ год } 16 \text{ хв}$$

$$\Delta T = ?$$

Розв'язання:

$$\text{Взимку } \Delta T = T_C - T_K = \lambda_C - \lambda_K = 16 \text{ хв.}$$

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

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

Дано:

$$T = 2,66 \text{ року}$$

$$e = 0,43$$

$$r_{\min} = ?$$

Розв'язання:

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

1. За допомогою третього закону Кеплера визначимо 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.

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



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

$$c = ea;$$

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

$$r_{\min} = 1,09 \text{ а. о.}$$

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

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

Дано:

$$T = 1 \text{ доба}$$

$$H = ?$$

Розв'язання:

1. За допомогою третього закону Кеплера визначимо 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.

$$a_1 = 41\,900 \text{ км.}$$

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

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

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

Дано:

$$D = 1000 \text{ км}$$

$$L = 380\,000 \text{ км}$$

$$\alpha = ?$$

Розв'язання:

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

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

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

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

Розв'язання:

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

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 рази меншою, ніж на Землі.

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

Розв'язання:

А. Кількість сонячної енергії, яку отримує одиниця поверхні за одиницю часу, можна порахувати 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 влітку. Б. Якщо вікно виходить на схід, то сонячні промені опівдні ніколи не освітлюють вашу кімнату.

§ 13. Визначте радіус зорі Вега, яка випромінює у 55 разів більше енергії, ніж Сонце. Температура поверхні 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.

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

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

Лабораторні роботи

Лабораторна робота № 1

Визначення географічної широти на місцевості за допомогою Полярної зорі

Мета: навчитись орієнтуватися на місцевості за допомогою Полярної зорі.

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

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

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

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

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Знайдіть на небі за допомогою карти зоряного неба Полярну зорю в сузір'ї Малої Ведмедиці (див. рис. 2.8).
2. Прикріпіть на штативі транспортир з виском (рис. Л.1.1).
3. Спрямуйте транспортир на Полярну зорю таким чином, щоб ваше око знаходилося на одній прямій з лінійкою транспортира та зорею. Площина транспортира при цьому буде знаходитися в площині меридіана.
4. Виміряйте кут φ між позначкою 90° на транспортирі та ниткою виска, який дорівнює географічній широті місця спостереження.
5. Позначте на поверхні Землі напрям пошукової лінії.
6. Визначте географічну довготу λ_k та широту φ_k вашого населеного пункту за допомогою карти або дод. 5.



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

7. Результати запишіть у таблицю.

| Географічні координати населеного пункту на карті | | Географічна широта місця спостереження φ |
|---|---------------------|--|
| Широта φ_K | Довгота λ_K | |
| | | |

8. Порівняйте φ_K і φ .

9. Зробіть висновок.

Лабораторна робота № 2 Визначення географічної довготи за допомогою сонячного годинника

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

Мета: навчитися орієнтуватися на місцевості за допомогою сонячного годинника.

Обладнання: папір, ножиці, клей.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

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

Різниця географічних довгот місця спостереження λ_M та Києва λ_K визначається різницею між місцевим часом T_M та київським часом T_K :

$$\Delta T = T_M - T_K = \lambda_M - \lambda_K. \quad (1)$$

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

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- Зробіть сонячний годинник. Для цього перенесіть його викрійку (рис. Л.2.1) на аркуш паперу, розріжте окремі смуги і склейте їх, сполучаючи відповідні букви на них, як показано на рис. Л.2.2.
- Установіть годинник в напрямку на південь так, щоб у момент кульмінації Сонця "зайчик" від дірочки показував 12 год. Це буде відповідати 12 год за місцевим часом (T_M).
- Обчисліть $\Delta T = T_M - T_K$.
- Знайдіть довготу місця спостереження λ_M за формулою (1).

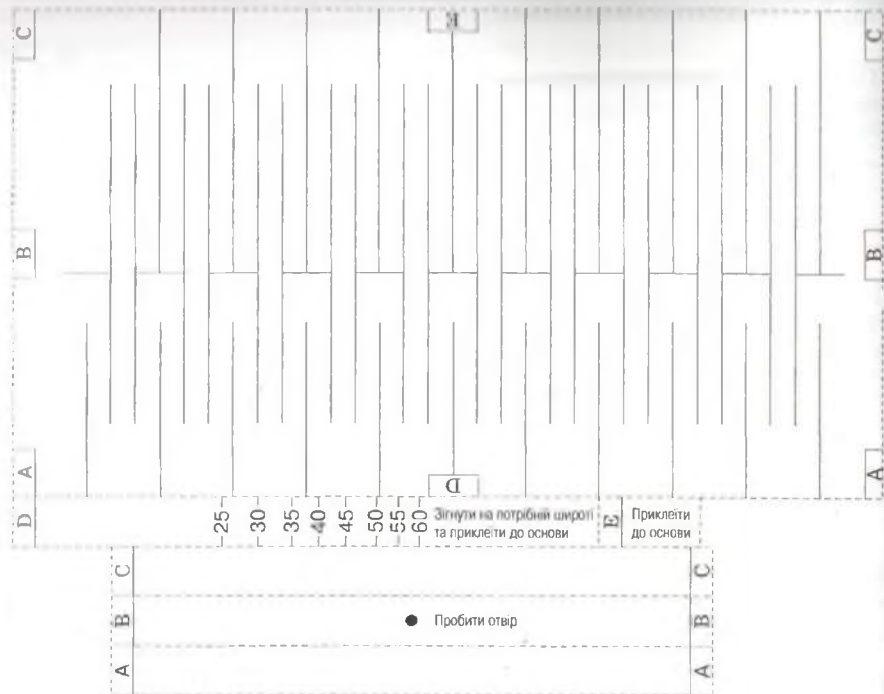


Рис. Л.2.1. Частина сонячного годинника. Пунктиром показано лінії, по яких треба розрізати викрійку

5. Результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю:

| Час | | ΔT | Довгота | |
|--------------------|-------------------|------------|-------------------|------------------------------------|
| київський T_K | місцевий T_M | | Києва λ_K | місця спостереження λ_M |
| | | | | |

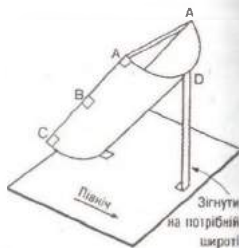


Рис. Л.2.2. Готовий сонячний годинник

- Знайдіть географічну довготу місця спостереження λ вашого населеного пункту за допомогою географічної карти або дод. 5.
- Порівняйте λ і λ_M .
- Зробіть висновок.

Лабораторна робота № 3
Сонячне світло — джерело енергії *

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

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

Обладнання: олівець, лінійка.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

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

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

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

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

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

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

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

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

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

| $H, \text{ м}$ | $L, \text{ м}$ | $i, ^\circ$ | $S, \text{ м}^2$ | $E, \text{ кВт} \cdot \text{ год}$ |
|----------------|----------------|-------------|------------------|------------------------------------|
| | | | | |

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

Додатки

1. ГРЕЦЬКИЙ АЛФАВІТ

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

2. АСТРОНОМІЧНІ ЗНАКИ І СИМВОЛИ

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

3. ЕЛЕМЕНТИ ОРБИТ ПЛАНЕТ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

| Планета | a , (в. о.) | $a \cdot 10^6$, км | T , р. | T_c , д/б | V , км/с | e | i , ° | Супутники, кількість |
|----------|---------------|---------------------|----------|-------------|------------|-------|---------|----------------------|
| Меркурій | 0,39 | 57,9 | 0,24 | 115,88 | 47,87 | 0,201 | 7,0 | — |
| Венера | 0,72 | 108,2 | 0,62 | 583,92 | 35,02 | 0,007 | 3,4 | — |
| Земля | 1,00 | 149,6 | 1,00 | — | 29,79 | 0,017 | — | 1 |
| Марс | 1,52 | 227,9 | 1,88 | 779,94 | 24,13 | 0,093 | 1,8 | 2 |
| Юпітер | 5,20 | 778,3 | 11,86 | 398,88 | 13,06 | 0,048 | 1,3 | 63 |
| Сатурн | 9,54 | 1427,0 | 29,46 | 378,09 | 9,65 | 0,056 | 2,9 | 60 |
| Уран | 19,18 | 2869,6 | 84,01 | 369,66 | 6,80 | 0,047 | 0,8 | 27 |
| Нептун | 30,06 | 4496,7 | 164,79 | 367,48 | 5,43 | 0,009 | 1,8 | 13 |
| Плутон * | 39,52 | 5912,0 | 247,70 | 366,72 | 4,7 | 0,253 | 17,1 | 3 |
| Церера * | 2,77 | 414,4 | 4,61 | 466,4 | 18,03 | 0,077 | 10,6 | — |
| Ерінєя * | 107 | 15858 | 1107,8 | 366 | 2,9 | | | 1 |

* Планети-карлики — Плутон, Церера, Ерінєя

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

4. ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

| Планета | Маса m , M_{\oplus} | Радіус R | | ρ , г/см ³ | Зоряна доба | ε , ° | Температура t , °C | |
|----------|----------------------------|------------|--------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------|----------|
| | | км | R_{\oplus} | | | | мін | макс |
| Меркурій | 0,06 | 2439 | 0,38 | 5,4 | 58,65 ^d | 3,0 | -170 | +430 |
| Венера | 0,82 | 6052 | 0,95 | 5,2 | 243,16 ^d | 177,0 | +480 | +480 |
| Земля | 1,00 | 6378 | 1,00 | 5,5 | 23 ^h 56 ^m | 23,5 | -88 | +60 |
| Марс | 0,11 | 3393 | 0,53 | 3,0 | 24 ^h 37 ^m | 25,2 | -130 | +20 |
| Юпітер | 317,89 | 71398 | 11,20 | 1,3 | 9 ^h 50 ^m | 3,08 | -120 | Невідомо |
| Сатурн | 95,17 | 60000 | 9,41 | 0,7 | 10 ^h 14 ^m | 26,1 | -175 | Невідомо |
| Уран | 14,6 | 26200 | 4,11 | 1,2 | 10 ^h 49 ^m | 97,9 | -215 | Невідомо |
| Нептун | 17,2 | 24300 | 3,81 | 1,6 | 19 ^h | 28,8 | -213 | Невідомо |
| Плутон* | 0,002 | 1125 | 0,18 | 2,1 | 6,38 ^d | 118,0 | -233 | -214 |

* Планета-карлик

- m, M_{\oplus} — маса планети в одиницях маси Землі;
 R, R_{\oplus} — радіус планети в одиницях радіуса Землі;
 ρ — густина;
 ε — кут нахилу екватора до екліптики;
 t — температура планет-гігантів у хмарах.

5. ГЕОГРАФІЧНІ КООРДИНАТИ МІСТ УКРАЇНИ

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

6. ЗАТЕМНЕННЯ СОНЦЯ, ЯКІ МОЖНА СПОСТЕРІГАТИ В УКРАЇНІ в 2003—2187 рр.

| Дата | Час макс. | Фаза | Вид | Місце повної фази | Дата | Час макс. | Фаза | Вид | Місце повної фази |
|------------|-----------|------|-----|-------------------|------------|-----------|------|-----|-------------------|
| 31.05.2003 | 6.17 | 0,79 | К | Азія | 12.06.2029 | 5.45 | 0,05 | Ч | — |
| 03.10.2005 | 12.32 | 0,32 | К | Африка | 01.06.2030 | 8.21 | 0,81 | К | Росія |
| 29.03.2006 | 14.07 | 0,68 | П | Росія | 20.03.2034 | 13.01 | 0,25 | П | Азія |
| 01.08.2008 | 13.05 | 0,40 | П | Росія | 16.01.2037 | 11.51 | 0,63 | Ч | — |
| 15.01.2010 | 8.32 | 0,01 | К | Азія | 05.01.2038 | 16.59 | 0,35 | К | Африка |
| 04.01.2011 | 10.49 | 0,81 | Ч | — | 21.06.2039 | 21.22 | 0,92 | К | Європа |
| 20.03.2015 | 12.07 | 0,62 | П | Арктика | 11.06.2048 | 17.00 | 0,90 | К | Європа |
| 21.06.2020 | 8.51 | 0,04 | К | Азія | 14.11.2050 | 16.20 | 0,70 | Ч | — |
| 10.06.2021 | 14.14 | 0,13 | К | Арктика | 12.09.2053 | 11.45 | 0,40 | П | Азія |
| 25.10.2022 | 12.35 | 0,62 | Ч | — | 05.11.2059 | 9.58 | 0,50 | К | Африка |
| 09.03.2025 | 14.38 | 0,01 | Ч | — | 30.04.2060 | 13.49 | 0,57 | П | Азія |
| 12.08.2026 | 21.03 | 0,86 | П | Азія | 20.04.2061 | 5.35 | 0,97 | П | Одеса, Крим |
| 02.08.2027 | 12.33 | 0,37 | П | Африка | 06.07.2187 | 10.04 | 0,98 | П | Харків, Черкаси |

Г — повне затемнення; К — кільцеподібне затемнення; Ч — часткове затемнення.
 Дату затемнення показано для м. Києва, час максимальної фази — за київським часом.

**7. ЗАТЕМНЕННЯ МІСЯЦЯ,
ЯКІ МОЖНА ПОВАЧИТИ В УКРАЇНІ в 2003—2062 рр.**

| Дата | Час | Фазя | Дата | Час | Фаза | Дата | Час | Фазя |
|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| 16.05.03 | 5.41 | Повне | 28.10.23 | 22.11 | 0,12 | 19.09.43 | 4.48 | Повне |
| 09.11.03 | 3.19 | Повне | 18.09.24 | 5.45 | 0,08 | 13.03.44 | 21.38 | Повне |
| 04.05.04 | 23.29 | Повне | 07.09.25 | 21.09 | Повне | 18.07.46 | 3.03 | 0,23 |
| 28.10.04 | 5.03 | Повне | 12.01.28 | 6.14 | 0,06 | 12.01.47 | 3.24 | Повне |
| 07.09.06 | 21.52 | 0,18 | 06.07.28 | 21.12 | 0,38 | 26.06.48 | 5.00 | 0,64 |
| 04.03.07 | 1.22 | Повне | 31.12.28 | 18.50 | Повне | 07.05.50 | 1.31 | Повне |
| 21.02.08 | 5.27 | Повне | 15.06.30 | 21.32 | 0,50 | 30.10.50 | 5.19 | Повне |
| 17.08.08 | 00.08 | 0,81 | 18.10.32 | 22.02 | Повне | 26.04.51 | 5.14 | Повне |
| 31.12.09 | 21.24 | 0,07 | 14.04.33 | 22.12 | Повне | 19.10.51 | 22.08 | Повне |
| 15.06.11 | 23.13 | Повне | 19.08.35 | 4.08 | 0,10 | 12.02.55 | 0.42 | Повне |
| 10.12.11 | 16.30 | Повне | 12.02.36 | 00.13 | Повне | 17.06.57 | 5.25 | 0,76 |
| 25.04.13 | 23.09 | 0,01 | 07.08.36 | 5.50 | Повне | 11.12.57 | 2.52 | 0,92 |
| 28.09.15 | 5.46 | Повне | 06.06.39 | 21.54 | 0,84 | 06.06.58 | 22.12 | Повне |
| 07.08.17 | 21.19 | 0,25 | 30.11.39 | 18.55 | 0,94 | 30.11.58 | 5.14 | Повне |
| 27.07.18 | 23.22 | Повне | 18.11.40 | 21.02 | Повне | 05.04.61 | 0.54 | Повне |
| 21.01.19 | 7.10 | Повне | 16.05.41 | 3.42 | 0,05 | 25.03.62 | 5.34 | Повне |
| 17.07.19 | 00.31 | 0,65 | 08.11.41 | 6.30 | 0,17 | 18.09.62 | 21.29 | Повне |

8. ДАТИ НОВОГО МІСЯЦЯ 2001—2057 рр.

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

9. НАЙЯСКРАВІШІ ЗОРІ

| № п/п | Назва | Сузір'я | Видима зоряна величина, m | Відстань, пк | Світність, $L - E/E_{\odot}$ | Температура, К | Радіус, R/R_{\odot} |
|-------|-------------|---------------------|-----------------------------|--------------|------------------------------|----------------|-----------------------|
| 1 | Сіріус | α Вел. Пес | -1,46 | 2,7 | 22 | 11 000 | 1,3 |
| 2 | Канопус | α Кіль | -0,75 | 55,0 | 20 000 | 7500 | 85,0 |
| 3 | Арктур | α Волопас | -0,05 | 11,1 | 113 | 5000 | 14,0 |
| 4 | Толіман | α Кентавр | -0,01 | 1,3 | 1,4 | 5800 | 1,2 |
| 5 | Вега | α Ліра | +0,03 | 8,1 | 55 | 11 000 | 2,0 |
| 6 | Кацелда | α Візничий | +0,08 | 13,7 | 151 | 5600 | 13,0 |
| 7 | Рігель | β Оріон | +0,13 | 250,0 | 50 000 | 12 000 | 52,0 |
| 8 | Проціон | α Мал. Пес | +0,37 | 3,5 | 7,6 | 7000 | 2,0 |
| 9 | Бетельгейзе | α Оріон | +0,47 | 150,0 | 13 000 | 3000 | 426,0 |
| 10 | Ахернар | α Ерідан | +0,51 | 40,0 | 870 | 15 000 | 4,0 |
| 11 | Гадар | β Кентавр | +0,63 | 150,0 | 10 000 | 20 000 | 8,0 |
| 12 | Альтір | α Орел | +0,76 | 5,1 | 11,3 | 9000 | 1,4 |
| 13 | Альдебаран | α Телець | +0,86 | 20,0 | 160 | 4500 | 21,0 |
| 14 | Антарес | α Скорпіон | +0,91 | 130,0 | 6300 | 3000 | 300,0 |
| 15 | Спіка | α Діва | +0,91 | 80,0 | 2400 | 25 000 | 2,6 |
| 16 | Поллукс | β Близнята | +1,14 | 11,0 | 37 | 5000 | 4,5 |
| 17 | Фомальгаут | α Півд. Риба | +1,19 | 7,7 | 17 | 10 000 | 1,4 |
| 18 | Денеб | α Лебідь | +1,25 | 500,0 | 70 000 | 10 000 | 90,0 |
| 19 | Регул | α Лев | +1,35 | 27,0 | 200 | 13 000 | 2,8 |
| 20 | Кастор | α Близнята | +1,58 | 16,0 | 50 | 11 000 | 2,0 |

10. АСТРОБЛЕМИ

| Назва | Адреса | Діаметр, км | Вік, роки |
|---------------------------------|--|-------------|------------------|
| Садбері (Sudbury) | Канада, Онтаріо | 200 | 1,8 млрд |
| Вредсфорт (Vredefort Ring) | Півд. Америка | 200 | 2 млрд |
| Бовтиська, с. Бовтишка | Україна, на межі Кіровоградської і Черкаської обл. | 31 | $65 \pm 1,2$ млн |
| Оболонська, с. Оболонь | Україна, Семенівський р-н Полтавської обл. | 20 | 169 ± 7 млн |
| Тернівська, с. Веселі Терни | Україна, Кіровоградська обл. | 15 | 280 ± 10 млн |
| Іллінецька, Іллінці | Україна, Вінницька обл. | 6,5 | 400 ± 30 млн |
| Білилівська, с. Білилівка | Україна, Житомирська обл. | 5,5 | 165 ± 6 млн |
| Ротмистрівська, с. Ротмистрівка | Україна, Смілянський р-н Черкаської обл. | 2,2 | 130 ± 10 млн |
| Зеленогайська, с. Зелений Гай | Україна, Знам. р-н Кіровоградська обл. | 0,8 | 60 млн |
| Зеленогайська, с. Зелений Гай | Україна, Знам. р-н Кіровоградська обл. | 0,7 | 60 млн |

Відповіді до письмових вправ та вказівки до розв'язання

- 1.11. $9,461 \cdot 10^{12}$ км.
- 1.12. 500 с; 5 год 30 хв; 1,5 року.
- 3.11. $h = \arctg(H/L)$, де H — висота палички; L — довжина тіні.
- 3.12. У Львові, тому що Львів знаходиться на заході України.
- 4.12. *Вказівка.* Використовуючи третій закон Кеплера, визначаємо велику піввісь орбіти астероїда: $a = 2,8$ а. о. Астероїд може зіткнутися з нашою планетою, бо в перигелії він наближується до Сонця $r_{\min} = 0,86$ а. о.
- 4.13. Така комета може існувати, бо її період обертання навколо Сонця та велика піввісь орбіти відповідають третьому закону Кеплера.
- 4.14. $P = mg$; $g = GM/R^2$; $R = GmM/R^2$, де m — маса космонавта; M — маса планети; R — радіус планети; G — гравітаційна стала.
- 5.10. 7746 м/с.
- 5.11. Із формули (5.3) $a \approx 5000$ км $< R_p$, тому такий супутник існувати не може.
- 6.10. 4,8 млрд км ≈ 32 а. о. *Вказівка.* Треба визначити, з якої відстані кутовий діаметр Сонця буде менший ніж $1'$: $\alpha = \arcsin(D/r)$, де D — лінійний діаметр Сонця; r — відстань.
- 6.11. Можна побачити, бо кутовий діаметр великих кратерів більший ніж $1'$.
- 7.11. $P \approx 0,17 P_{\oplus}$.
- 8.12. На Меркурії $P \approx 0,38 P_{\oplus}$, на Марсі $P \approx 0,38 P_{\oplus}$; на Венері $P \approx 0,9 P_{\oplus}$.
- 8.13. 0,52 а. о.; 2,52 а. о.
- 9.9. $\approx 4,2$ а. о.; $\approx 6,2$ а. о.
- 10.11. *Вказівка.* $P = mg$, де g — прискорення вільного падіння, яке визначаємо за допомогою закону всесвітнього тяжіння: $g = (4/3)\pi GR\rho$, де G — гравітаційна стала; R, ρ — відповідно радіус та густина супутника.
- 10.12. *Вказівка.* Урахувати вказівку до вправи 10.11; $g = GM/R^2$, де M — маса супутника. На поверхні Ю $P \approx 0,18 P_{\oplus}$.
- 11.13. $P \approx 0,0008 P_{\oplus}$.
- 12.11. *Вказівка.* Якщо дах має чорний колір і його площина розташована паралельно горизонту, то $Q = qSt \cos i$, де q — сонячна стала; i — кут падіння сонячних променів; S — площа даху; t — час. Для визначення кута падіння i можна використати відповідь вправи 3.6: $i = 90^\circ - h$.
- 13.11. *Вказівка.* Використайте дод. 9.
- 13.12. $r = 8,33$ пк = 27,1 св. р.
- 14.12. $1,9 \cdot 10^9$ г/см³.
- 14.13. $2,2 \cdot 10^{-8}$ г/см³.
- 15.10. 8600 км/с. *Вказівка.* Використайте закон Габбла, для цього відстань необхідно виразити у парсеках.
- 16.10. 326 000 000 років.
- 16.11. 21 000 км/с.
- 17.10. ≈ 16 000 000 років.

Предметний покажчик

А

Абсолютна зоряна величина 97
Антронний принцип 125
Апогей 37
Астероїд 77
Астролеми 80
Астрометрія 11
Астрономічна одиниця 9, 29
Астрономія 5
Астрофізика 11, 41
Атмосфера Сонця 88
Афелій 29

Б

Болід 80

В

Великий Вибух 119
Венера 59
Високосний рік 25
Відчинена система 125
Всесвітній час 20
Всесвітнього тяжіння закон 31

Г

Галактики 9, 111—115
— Велика Стіна 115
— галактичний рік 113
— розлітання галактик 112
— спіральні рукави 113
— типи галактик 111
Галілеєві супутники 72
Геліоцентрична система світу 6

Географічний меридіан 14
Геостационарний супутник 37
Геоцентрична система світу 6
Головна послідовність зір 96
Горизонтальний паралакс світила 33
Гринвіч 20

Д

Діаграма Герцшпрунга—Рессела (спектр—світність) 100
Доба 19
Друга космічна швидкість 38

Е

Екліптика 22
Елонгація 28

З

Затемнення Місяця 52
Затемнення Сонця 52
Збільшення телескопа 44
Збурення 32
Земля 50, 51
— атмосфера 50
— будова 51
— магнітне поле 50
Земний екватор 14
Зеніт 15
Змінні зорі 104
Зодіак 21
Зорі 5, 103—106
— білі карлики 100, 101, 106

— змінна зоря 104
— Наднова зоря 105
— Нова зоря 105
— протозоря 103
— червоні гіганти 100, 101
— червоні карлики 101
— червоні надгіганти 100
Зоряна величина 96, 97
Зоряні скупчення 107
Зоряний час 19

К

Календар 24—25
— григоріанський 25
— юліанський 24
Квазари 9, 120—121
Кеплера закони 29, 30, 31
Кільця планет 73, 74
Колова швидкість 36
Коло схилення 16
Комета 8, 82
Контакти між цивілізаціями 128
Конфігурації планет 27
Космічні швидкості 36, 38
Космологія 11
Космологічні парадокси 116
Кульмінація 15

Л

Лінія зміни дат 21

М

Магнітна буря 92
Марс 61—63

Межа Рона 74
Меркурій 58
Метеор 80
Метеорит 80
Місцевий час 19, 20
Місяць 52
— вузли місячної орбіти 52
— фази 52
— фізичні умови 53
Молочний Шлях 9, 111

Н

Надир 15
Наднава зоря 105
Небесна механіка 11
Небесна сфера 13
Небесні координати 16
Небесний екватор 14
Небесний меридіан 14
Нейтронна зоря 103
Нептун 69
Нова зоря 105, 106

П

Паралакс горизонтальний 33
Парсек 94
Перигей 37
Перигелій 29
Період обертання планет
— сидеричний 28, 52
— синодичний 28, 52
Перша космічна швидкість 36
Планети 6, 8
— гіганти 49, 65
— земної групи 49, 57
Планетарна туманність 105
Пляма сонячна 88
Плутон 85

Полос світу 14
Поле астероїдів 78
Поясний час 20
Прецесія 22
Простий рік 25
Протистояння 27, 28
Протуберанці 92
Пряме сходження 16
Прямовисна лінія 15
Пульсар 107

Р

Радіус небесної сфери 14
Реголіт 55
Реліктове випромінювання 121
Річний паралакс 91
Роздільна здатність ока 43
Розлітання галактик 112

С

Сарос 52
Сатурн 67
Світловий рік 9
Світність
— зорі 97
— Сонця 85
Сингулярність 120
Синергетика 126
Сонце 88—91
— фізичні характеристики 85
— будова 86—87
— активність 88
Сонячна стала 88
Сонячний вітер 82, 88
Сонячний час 19
Спектральні класи 94
Спектральні спостереження 44
Стала Габбла 116

Ступінь ризику 79
Супутники планет 71
Схилення 16

Т

Телескоп 44
— радіоінтерферометр 40
— радіотелескоп 45
— рефлектор 44
— рефрактор 44
Теорія еволюції Всесвіту 8
Точка весняного рівнодення 16
Третя космічна швидкість 38
Тропічний рік 24
Тропосфера 50

У

Уран 68

Ф

Фраунгоферові лінії 7

Х

Хромосфера 90
Хромосферний спалах 92

Ч

Чорна діра 107, 108
Чорне тіло 42
Чутливість ока 43

Ш

Штучний супутник Землі 35

Ю

Юпітер 65

Зміст

| | | | |
|--|----|--|----|
| Передмова | 3 | 6.3. Астрономічні спостереження неозброєним оком | 43 |
| 1. Що вивчає астрономія? | | 6.4. Телескопи | 44 |
| 1.1. Предмет астрономії | 5 | 6.5. Електронні прилади для реєстрації випромінювання космічних світил | 45 |
| 1.2. Коротка історія астрономії | 6 | 6.6. Радіотелескопи | 45 |
| 1.3. Наша космічна адреса | 8 | 6.7. Вивчення Всесвіту за допомогою космічних апаратів | 46 |
| 1.4. Основні розділи астрономії | 11 | 7. Земля і Місяць | |
| 2. Основи практичної астрономії | | 7.1. Планети земної групи та планети-гіганти | 49 |
| 2.1. Небесна сфера | 13 | 7.2. Земля є найчарівнішою планетою | 50 |
| 2.2. Точки та лінії небесної сфери | 14 | 7.3. Екологічна система Землі | 51 |
| 2.3. Орієнтування на місцевості | 15 | 7.4. Місяць | 52 |
| 2.4. Екваторіальна система небесних координат | 16 | 7.5. Фізичні умови на Місяці | 53 |
| 3. Вимірювання часу та календар | | 7.6. Дослідження Місяця за допомогою космічних апаратів | 54 |
| 3.1. Вимірювання часу | 19 | 8. Планети земної групи | |
| 3.2. Сонячний час та зодіак | 21 | 8.1. Загальна характеристика планет земної групи | 57 |
| 3.3. Зміна пір року на Землі | 23 | 8.2. Меркурій | 58 |
| 3.4. Календарі | 24 | 8.3. Венера | 59 |
| 4. Закони руху планет | | 8.4. Чи є життя на Марсі? | 61 |
| 4.1. Конфігурації планет | 27 | 9. Планети-гіганти | |
| 4.2. Сидеричний та синодичний періоди обертання планет навколо Сонця | 28 | 9.1. Загальна характеристика планет-гігантів | 65 |
| 4.3. Закони Кеплера | 29 | 9.2. Юпітер | 66 |
| 4.4. Закон всесвітнього тяжіння | 31 | 9.3. Сатурн | 67 |
| 4.5. Визначення відстаней до планет | 33 | 9.4. Уран | 68 |
| 5. Основи космонавтики | | 9.5. Чи існує океан на планеті Нептун | 69 |
| 5.1. Зародження космонавтики | 35 | 10. Супутники планет | |
| 5.2. Колова швидкість | 36 | 10.1. Супутники Марса | 71 |
| 5.3. Рух космічних апаратів по еліптичних орбітах | 36 | 10.2. Супутники Юпітера | 72 |
| 5.4. Період обертання | 37 | | |
| 5.5. Друга і третя космічні швидкості | 38 | | |
| 5.6. Практичне використання космонавтики | 38 | | |
| 6. Методи астрофізичних досліджень | | | |
| 6.1. Що вивчає астрофізика? | 41 | | |
| 6.2. Швидкість | 42 | | |

| | | | |
|--|-----|--|-----|
| 10.4. Кільця Сатурна | 73 | 14.6. Чорні діри | 107 |
| 10.5. Супутники Урана | 74 | 14.7. Еволюція Сонця | 108 |
| 10.6. Супутники Нептуна | 75 | | |
| 11. Малі тіла Сонячної системи | | | |
| 11.1. Астероїди | 77 | 15.1. Будова Галактики | 111 |
| 11.2. Таємниці астероїдів | 78 | 15.2. Центр Галактики | 112 |
| 11.3. Небезпечні астероїди | 79 | 15.3. Обертання зір у Галактиці | 113 |
| 11.4. Метеори та метеорити | 80 | 15.4. Найближчі сусіди Галактики | 114 |
| 11.5. Загадка Тунгуського метеорита | 81 | 15.5. Розподіл галактик у Всесвіті | 114 |
| 11.6. Комети | 82 | 15.6. Закон Габбла | 116 |
| 11.7. Планети-карлики | 83 | 15.7. Моделі Всесвіту | 116 |
| 12. Сонце — наша домашня зоря | | | |
| 12.1. Фізичні характеристики Сонця | 88 | 16.1. Великий Вибух та вік Всесвіту | 110 |
| 12.2. Будова Сонця | 89 | 16.2. Головні ери в історії Всесвіту | 120 |
| 12.3. Сонячна активність | 91 | 16.3. Реліктове фонове випромінювання | 121 |
| 12.4. Вплив сонячної активності на Землю | 92 | 16.4. Чи буде кінець світу? | 122 |
| 13. Фізичні характеристики зір | | | |
| 13.1. Вимірювання відстаней до зір | 95 | 17.1. Антропний принцип | 125 |
| 13.2. Видимі зоряні величини | 96 | 17.2. Життя як відчужена система | 126 |
| 13.3. Абсолютні зоряні величини та світність зір | 97 | 17.3. Проблеми контактів з позаземними цивілізаціями | 127 |
| 13.4. Колір та температура зір | 98 | 17.4. Можливі наслідки контактів з чужими цивілізаціями | 128 |
| 13.5. Радіуси зір | 99 | 17.5. Прогнози еволюції земної цивілізації | 128 |
| 13.6. Діаграма спектр-світність | 100 | | |
| 14. Еволюція зір | | | |
| 14.1. Зародження зір | 103 | Приклади розв'язання задач з астрономії | 131 |
| 14.2. Зоря в стані гравітаційної рівноваги | 104 | Лабораторні роботи | 134 |
| 14.3. Змінні зорі | 104 | Додатки | 138 |
| 14.4. Нові та Наднові зорі | 109 | Відповіді до письмових вправ та вказівки до розв'язання | 143 |
| 14.5. Пульсари і нейтронні зорі | 105 | Предметний покажчик | 144 |

ПРИШЛЯК Микола Павлович

АСТРОНОМІЯ

Підручник для 11 класу
загальноосвітніх навчальних закладів

Редактор

С.І. Хомініч

Технічний редактор

Т.М. Шендерович

Комп'ютерна верстка

С.В. Кубарева

Видавничий дім "Академперіодика" НАН України

01004, Київ-4, вул. Терещенківська, 4

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єкта
видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001.

Підписано до друку 01.08. 2008. Формат 70 × 100/16.

Папір офсетний. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 12,03.

Обл.-вид. арк.13,69. Наклад 300 прим. Зам. № 2178