

§ 15. Будова Всесвіту

Вивчивши цей параграф, ми:

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

1 Будова Галактики

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

у подвійних та кратних системах, у яких компоненти обертаються навколо спільного центра мас подібно до обертання планет Сонячної системи. Найчисельніші системи об'єднання зір налічують сотні тисяч об'єктів – це зоряні скупчення та асоціації. *Кулясті зоряні скупчення* складаються з мільйонів зір (рис. 15.1). *Розсіяні зоряні скупчення* мають кілька тисяч об'єктів (найяскравіші з них *Плеяди (Стожари)* (рис. 14.2) та *Пади* 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 розміщуються приблизно в «дній площині, тому їх видно на небі як туманну світлу смугу, яку в Україні називають *Чумацький Шлях*. Назва *Галактика* прийшла з Давньої Греції і в перекладі означає *Молочний Шлях* (див. § 1). Зверніть увагу, що всі яскраві зорі (сузір'я *Оріон*, *Лебідь*, *Ліра*, *Орел*) розташовуються у смугі Молочного Шляху. У цій площині розташовується значна частина газопилових туманностей (рис. 15.2), з яких утворюються нові покоління зір і планет. Усі ці об'єкти формують так звану *плоску складову Галактики*, до якої входить і Сонячна система (рис. 15.3).

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

Наша Галактика	
Кількість зір	$4 \cdot 10^{11}$
Маса	$7 \cdot 10^{11} M_{\odot}$
Діаметр диска,	$3 \cdot 10^5$ св. років:
Відстань Сонця до центра	30000 св. років
Галактичний рік	$2,5 \cdot 10^8$ років



Рис. 15.1. Кулясте зоряне скупчення /M13 у сузір'ї *Геркулес*: відстань - 16000 св. років, діаметр – 75 св. років, кількість зір – 10^6



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

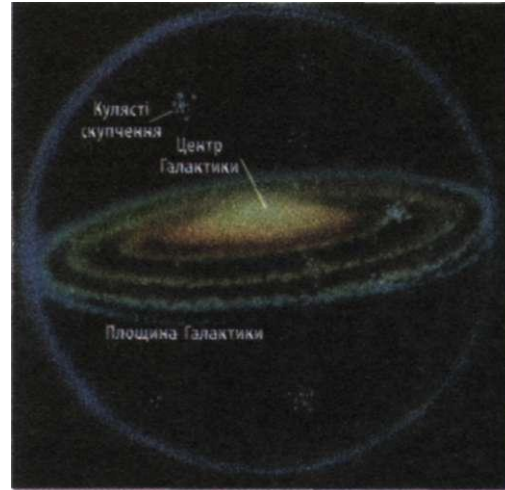


Рис. 15.3. Будова Галактики. У площині Галактики існують газопилові туманності, у яких народжуються молоді зорі та планетні системи

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

2 Центр Галактики

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

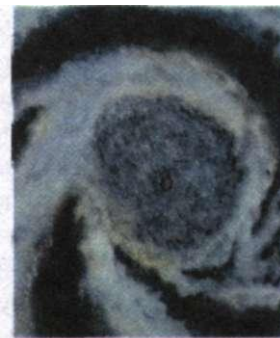


Рис. 15.4. Центр Галактики, який видно в напрямку сузір'я Стрільця

3 Обертання зір у Галактиці

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



Рис. 15.5. Обертання зір у Галактиці

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

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

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

4 Найближчі сусіди Галактики

Спостерігаючи інші галактики, астрономи звернули увагу на те, що не всі вони мають спіральну структуру. За зовнішнім виглядом існують три типи галактик — *спіральні*, *еліптичні* та *неправильні*. Наша Галактика, так само як і галактика в сузір'ї Андромеди М31, належить до спіральних. Вони мають схожий вигляд, майже однакові розміри і приблизно однакову кількість зір. Галактика М31 розташована на відстані 2 млн св. років від Землі — це найдавший об'єкт у Всесвіті, який ще можна спостерігати неозброєним оком (рис. 15.6). Найближчі до нас галактики, Велику та Малу Магелланові Хмари (ВМХ, ММХ), можна побачити на небі Південної півкулі.

Найближчі галактики

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



Рис. 15.6. Галактику М31 у сузір'ї Андромеди видно неозброєним оком — вона розташовується на відстані 2,3 млн св. років

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

5 Розподіл галактик у Всесвіті

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

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



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

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

Наша Галактика й галактика М31 входять до *Місцевої групи* галактик. Найбільші скупчення галактик спостерігаються у сузір'ях *Діви* та *Волосся Вероніки* (рис. 15.7). У цьому напрямку астрономи відкрили своєрідну *Велику стіну*, де на відстані 500 млн св. років виявляється значне збільшення кількості галактик у порівнянні з іншими напрямками.

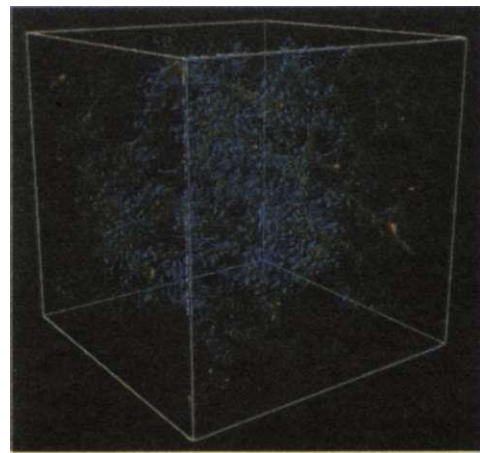
Окремі галактики взаємодіють між собою, навіть відбуваються їхні зіткнення, коли одна галактика поглинає іншу,— спостерігається своєрідний *галактичний «канібалізм»* (рис. 15.8). На останній, четвертій, ступені ієрархічної структури скупчення галактик майже не взаємодіють між собою, тому не виявлено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

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

Рис. 15.8. Зіткнення галактик



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



6 Закон Габбла

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

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

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



Для допитливих

Згідно із законом Габбла, якщо відоме зміщення спектральних ліній, то можна визначити швидкість галактики, а отже, і відстань до неї. Найвіддаленіший об'єкт, який удалося зареєструвати, розташований на відстані 14 млрд св. років і має швидкість 280000 км/с. Тобто ми його бачимо в той час, коли ще не було не тільки нашої Землі та Сонця, але не існувало навіть нашої Галактики. На перший погляд здається, що наша Галактика розташовується в центрі цього розширення, але виявляється, що ніякого центра у Всесвіті не існує. Мешканець будь-якої іншої галактики буде спостерігати таке саме розширення, тому він може вважати, що його галактика теж розташована в центрі Всесвіту.

7 Моделі Всесвіту

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

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

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



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



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

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

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

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



Висновки

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

**Тести**

1. Слово *галактика* в перекладі з грецької мови означає:
А. Чумацький Шлях. Б. Сріблястий шлях. В. Чорний шлях. Г. Велика дорога.
Д. Молочний Шлях.
2. Що розташоване в центрі Галактики?
А. Зоряне скупчення. Б. Чорна діра. В. Червоний гігант. Г. Білий карлик.
Д. Чорна хмара.
3. Галактичний рік визначає:
А. Період обертання Галактики навколо осі. Б. Період обертання Сонця навколо центра Галактики. В. Відстань, яку пролітає світло до галактики в Андромеді. Г. Період обертання Галактики навколо центра світу. Д. Період обертання зір сферичної складової навколо центра Галактики.
4. Термін *Велика стіна* в астрономії означає:
А. Зародження нових зір і планетних систем. Б. Величезне скупчення галактик у напрямку сузір'їв Діви і Волосся Вероніки. В. Оборонні споруди, які створили галактичні цивілізації. Г. Скупчення газу і пилу в міжгалактичному просторі. Д. Скупчення невідомої темної речовини, яка поглинає світло далеких галактик.
5. Згідно із законом Габбла, всі галактики розлітаються в різних напрямках. Що розташоване у центрі цього розширення?
А. Земля. Б. Наша Галактика. В. Галактика /И31 у сузір'ї Андромеди. Г. Скупчення галактик у сузір'ї Діви. Д. Центра не існує, бо в безмежному Всесвіті відсутні центр та околиці.
6. Які зорі входять у плоску складову Галактики?
7. Які структури мають галактики?
8. Як за допомогою закону Габбла можна виміряти відстань до галактик?
9. Чи можуть відбуватися зіткнення галактик?
10. Обчисліть, з якою швидкістю віддаляється від нас галактика, якщо світло від неї летить до Землі $4 \cdot 10^8$ р.

**Диспути на запропоновані теми**

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

**Завдання для спостережень**

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

**Ключові поняття і терміни:**

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

§ 16. Еволюція Всесвіту

Вивчивши цей параграф, ми:

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

1 Великий Вибух та вік Всесвіту

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

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

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

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

2 Головні ери в історії Всесвіту

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

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

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

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

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



Для допитливих

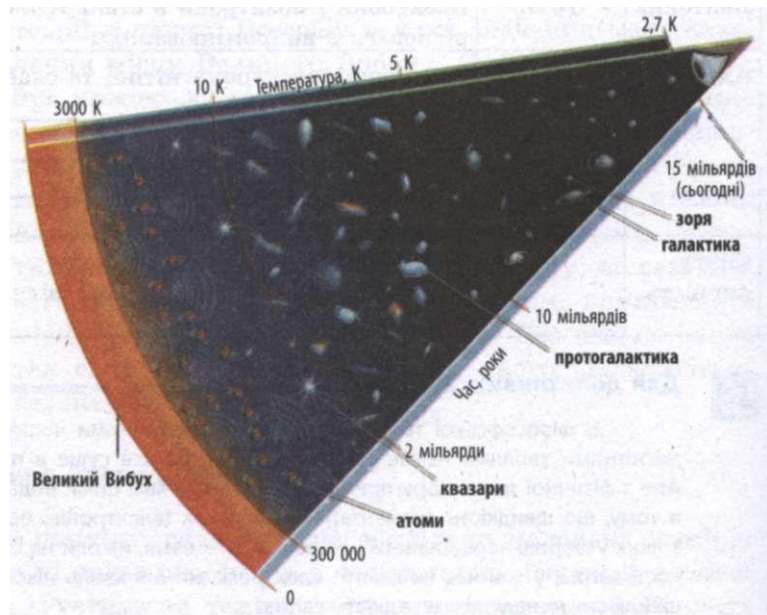
Із філософської точки зору між елементарними частинками та електромагнітними хвилями немає суттєвої різниці, бо все суще в природі є матерією. Але з фізичної точки зору принципова різниця між цими видами матерії полягає в тому, що швидкість елементарних частинок (електронів, протонів, нейтронів), з яких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

3 Реліктове фонове випромінювання

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

Ті кванти електромагнітного випромінювання, що відірвалися від елементарних частинок в еру випромінювання, доходять до нас з усіх боків і відповідають електромагнітному випромінюванню чорного тіла з температурою 2,7 К (рис. 16.1). На початку існування кванти мали велику енергію, тому випромінювання відбувалося у високочастотній частині спектра електромагнітних хвиль у *гамма-діапазоні*. Із часом гамма-кванти втрачали енергію, тому довжина електромагнітних хвиль збільшувалася, і через 10^5 років після Великого Вибуху максимум випромінювання припадав уже на видиму частину спектра — тоді *молодий Всесвіт* справді мав вигляд яскравої вогняної кулі й був подібний до вибуху ядерної бомби. Через 10 млн років максимум випромінювання вже розташовувався в *інфрачервоній* частині спектра, а через 14 млрд років середня температура Всесвіту зменшилася до 2,7 К, тому зараз максимум випромінювання розташовується в *радіодіапазоні* на хвилі завдовжки 1 мм. Таке випромінювання надходить до Землі звідусіль, його інтенсивність і частота не залежать від напрямку, і це свідчить про те, що середня температура Всесвіту повсюди однакова. Цікаво, що передбачив існування гарячого раннього Всесвіту ще 60 років тому уродженець міста Одеси Г. Гамов (США), але зареєстрували ці реліктові електромагнітні хвилі тільки в 1965 р.

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



4 Майбутнє Всесвіту

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

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

Розгляньмо ці моделі можливої еволюції нашого світу:

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

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

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

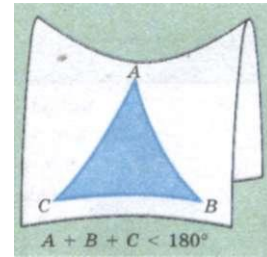
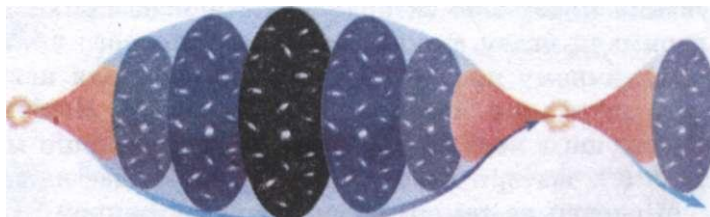


Рис. 16.2. У відкритому Всесвіті справедлива неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику менша від 180°

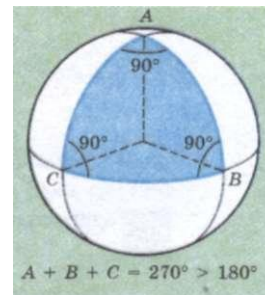


Рис. 16.3. Для закритого Всесвіту є правильною неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику більша за 180°

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

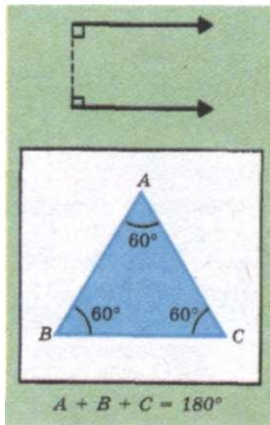


Рис. 16.5. У геометрії Евкліда паралельні прямі не перетинаються, а сума кутів у трикутнику дорівнює 180°

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

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



Для допитливих

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

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

**Висновки**

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

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

**Тести**

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

**Завдання для спостережень**

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

**Ключові поняття і терміни:**

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

§ 17. Життя у Всесвіті

Вивчивши цей параграф, ми:

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

1 Антропний принцип

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

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

*Митридор
(III ст. до н. е.)*

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

Відкрита система обмінюється з навколишнім середовищем енергією та інформацією

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

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

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

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

Гігантський стрибок у збільшенні потоку інформації відбувся 100000 років тому з появою розумної людини — *Homo sapiens*. Біологи доводять, що тоді на Землі паралельно існували два види розумних людей — *кроманьйонці* та *неандертальці*. Хоча неандертальці були фізично сильними та могутніми, але під час льодовикового періоду вони загинули. Вижили кроманьйонці, які навчилися не тільки добувати та зберігати вогонь, а й передавати свої знання нащадкам, тобто передавати інформацію з минулого в майбутнє не тільки за допомогою генів. Майже всі тварини для обміну інформацією користуються звуками, але тільки розумна людина для збереження інформації почала застосовувати різноманітні знаки і символи, які з часом перетворилися на писемність.

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

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

Синергетика — наука, що вивчає закони та еволюцію складних систем

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

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

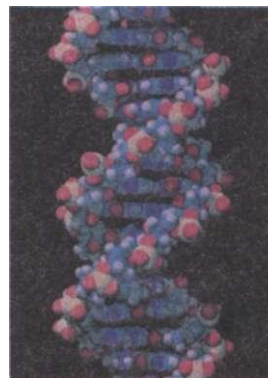


Рис. 17.1. Ланцюг ДНК, за допомогою якого записується і зберігається інформація про живий організм

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

3 Проблеми контактів із позаземними цивілізаціями

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

Контакти з іншими цивілізаціями можуть бути трьох типів:

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



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

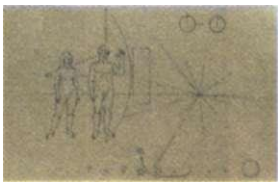


Рис. 17.3. Перша спроба встановити контакт другого типу. На золотій пластинці викарбувані фігури людей і координати Землі в Галактиці. До найближчої зорі АМС «Піонер» (США) буде летіти 10^5 років

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

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

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

4

Можливі наслідки контактів із чужими цивілізаціями

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

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

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

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

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

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

5 Прогнози еволюції земної цивілізації

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

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

Учені, які мають іншу, не таку безнадійну точку зору, вважають, що всі ці проблеми в майбутньому можуть бути розв'язані, тому оптимістична оцінка тривалості існування нашої цивілізації — **100000** років. Тобто за цією шкалою наша цивілізація тільки народжується, і в майбутньому

нас чекає розквіт, освоєння міжзоряного простору та зустрічі з інопланетними цивілізаціями. Для цієї мети в наших школах і вивчають астрономію — науку про таємничий і дивовижний космос.

Основні причини, які можуть викликати загибель нашої цивілізації:

1. Екологічна катастрофа, яка може виникнути внаслідок забруднення навколишнього середовища промисловими відходами наших підприємств.
2. Зміна клімату на Землі через збільшення кількості вуглекислого газу в атмосфері, збільшення парникового ефекту та підвищення температури.
3. Збільшення озонових дір в атмосфері може викликати підвищення частки ультрафіолетового випромінювання Сонця, яке досягає поверхні Землі, внаслідок чого можуть загинути флора і фауна нашої планети (окрім живих організмів у воді та під поверхнею Землі).
4. Катастрофічне зіткнення з астероїдом або кометою може призвести до різкого зниження температури та виникнення нового льодовикового періоду.
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.

Інтернет

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

**Висновки**

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

**Тести**

- Синергетика — це нова наука, що вивчає:
 - Космічне право.
 - Еволюцію складних систем.
 - Світову економіку.
 - Світову екологію.
 - Екологію космосу.
- Контакти з інопланетними цивілізаціями визначають:
 - Зоряні війни з чужими цивілізаціями.
 - Обмін інформацією.
 - Спортивні змагання з інопланетянами.
 - Торгівлю з інопланетянами.
 - Передачу інформації інопланетянами.
- Як розшифровується абревіатура НЛО?
 - Нелітаючі легкі об'єкти.
 - Непізнані легкі об'єкти.
 - Непізнані літаючі об'єкти.
 - Нові літаючі об'єкти.
 - Наднові літаючі об'єкти.
- Над якою проблемою працює міжнародна організація SETI?
 - Пошуки життя у Всесвіті.
 - Пошуки життя за межами Всесвіту.
 - Пошуки радіосигналів від інших цивілізацій.
 - Пошуки інопланетних космічних кораблів.
 - Пошуки марсіян.
- Яку роль відіграють космічні катастрофи в еволюції життя на Землі?
- Які існують підстави для пошуків життя за межами Сонячної системи?
- Скільки часу сучасні космічні кораблі повинні летіти до найближчої зорі?
- Чи можна за допомогою сучасних радіотелескопів установити контакт із позаземними цивілізаціями?
- Що означає вислів *звичайне життя*? Які інші форми життя могли б існувати у Всесвіті?
- Космічний корабель стартував із поверхні Землі з третьою космічною швидкістю (див. §5). Обчисліть, скільки часу буде тривати політ до межі Сонячної системи, що розміщується на відстані 100000 а. о. від Сонця. (Вказівка: можна вважати, що корабель летить по величезному еліпсу, коли в перигелії відстань до Сонця становить 1 а. о., а в афелії — 100000 а. о.)

**Диспути на запропоновані теми**

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

**Завдання для спостережень**

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

**Ключові поняття і терміни:**

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

Приклади розв'язання задач з астрономії

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

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

Розв'язання:

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

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

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

Дано:
 $H = 2L$
 $h = ?$

Розв'язання:

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

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

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

Дано:
 $\lambda_K = 30^\circ = 2$ год 00 хв
 $\lambda_C = 34^\circ 06' = 2$ год 16 хв
 $\Delta T = ?$

Розв'язання:

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

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

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

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

Розв'язання:

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

За допомогою третього закону Кеплера визначаємо велику піввісь орбіти астероїда:

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

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

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

2.



Рис. П.1.

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

$$c = ea;$$

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

$$r_{\min} = 1,09 \text{ а. о.}$$

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

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

Дано:

$$T = 1 \text{ доба}$$

$$H = ?$$

Розв'язання:

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

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

де $a_2 = 380000$ км — велика піввісь орбіти Місяця; $T_1 = 1$ доба — період обертання супутника навколо Землі; $T_2 = 27,3$ доби — період обертання Місяця навколо Землі.

$$a_1 = 41900 \text{ км.}$$

2. $H = a_1 - R_{\oplus} = 35500$ км.

Відповідь. Геостационарні супутники обертаються із заходу на схід у площині екватора на висоті 35500 км.

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

Дано:

$$D = 1000 \text{ км}$$

$$L = 380000 \text{ км}$$

$$\alpha = ?$$

Розв'язання:

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

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

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

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ З АСТРОНОМІЇ

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

Розв'язання:

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

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

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

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

Розв'язання:

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

$$E = q \cos i,$$

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

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

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

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

Дано:
$L = 55$
$T = 11000 \text{ К}$
$R = ?$

Розв'язання:

Радіус зорі визначають за допомогою формули (13.11):

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

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

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

Відповідь. Зоря Вега має радіус у 2 рази більший, ніж у Сонця, тому на нашому небі вона мала б вигляд синього диска з кутовим діаметром 1° . Якби Вега світила замість Сонця, то Земля отримувала б у 55 разів більше енергії, ніж тепер, і температура на її поверхні була б вищою за $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким чином, умови на нашій планеті стали б непридатними 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, у якій основною площиною є математичний горизонт та прямовисна лінія. Прямовисну лінію OZ (див. рис. 2.4) визначають за допомогою звичайного виска-тягарця, який підвішують на нитці. Математичний горизонт є площиною, яку проводять перпендикулярно до прямовисної лінії та через око спостерігача.

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

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

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

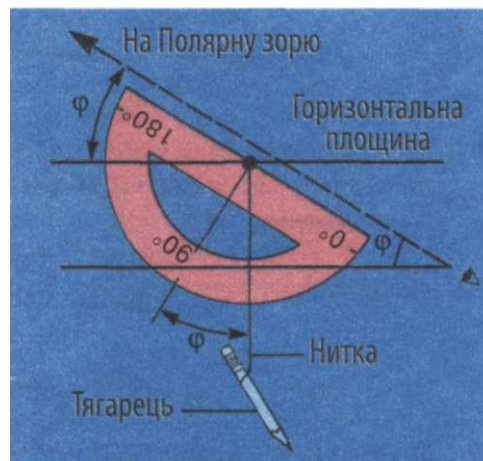


Рис. Л.1.1. Визначення географічної широти за допомогою Полярної зорі. Кут між площиною горизонту та напрямком на полюс світу дорівнює географічній широті місця спостереження

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

- Визначте географічну довготу λ_K та широту φ_K вашого населеного пункту за допомогою карти або дод. 5.
- Результати запишіть у таблицю.

Географічні координати населеного пункту на карті		Географічна широта місця спостереження φ
Широта φ_K	Довгота λ_K	

- Порівняйте φ_K і φ .
- Зробіть висновок.

Лабораторна робота №2

Визначення географічної довготи за допомогою сонячного годинника

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

Мета: навчитися орієнтуватися на місцевості за допомогою сонячного годинника.

Обладнання: папір, ножиці, клей.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

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

Різниця географічних довгот місця спостереження λ_M та Києва λ_K визначається різницею між місцевим часом T_M та київським часом T_K :

$$\Delta t = T_M - T_K = \lambda_M - \lambda_K. \quad (1)$$

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

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

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

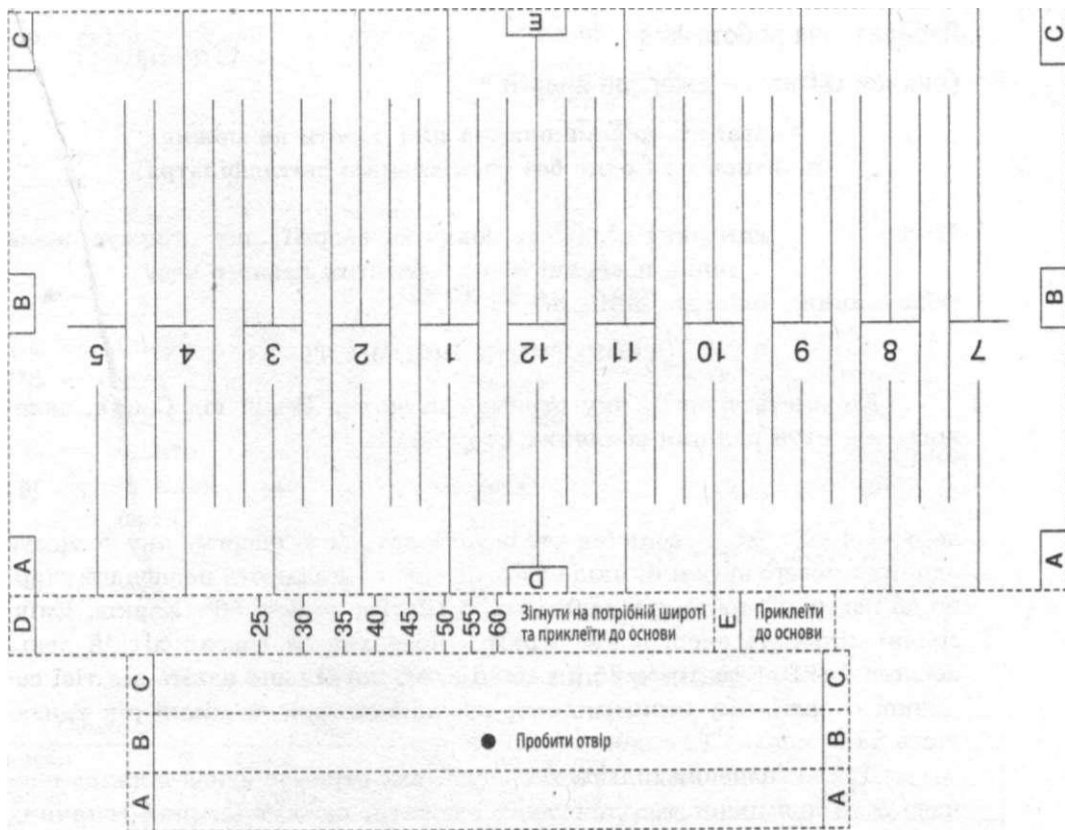


Рис. Л.2.1. Частина сонячного годинника. Пунктиром показано лінії, по яких треба розрізати викрійку

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

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

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

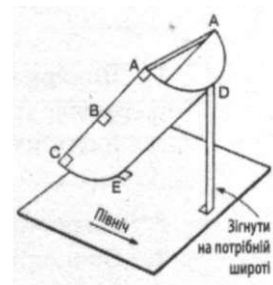


Рис. Л.2.2. Готовий сонячний годинник

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 годин.

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

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

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

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

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

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

$H, \text{ м}$	$L, \text{ м}$	$i, ^\circ$	$S, \text{ м}^2$	$E, \text{ кВт} \cdot \text{год}$

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

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

Додатки

1. ГРЕЦЬКИЙ АЛФАВІТ

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

2. АСТРОНОМІЧНІ ЗНАКИ І СИМВОЛИ

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

3. ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНЕЙ

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

4. ДЕЯКІ ФІЗИЧНІ ТА АСТРОНОМІЧНІ ВЕЛИЧИНИ

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

5. ГЕОГРАФІЧНІ КООРДИНАТИ МІСТ УКРАЇНИ

п/п	Місто	Широта	Довгота		Різниця між місцевим та київським часом	
			градуси	години	взимку	влітку
1	Вінниця	49° 14'	28° 30'	1 год 54 хв	-0 год 06 хв	-1 год 06 хв
2	Дніпропетровськ	48° 30'	35° 05'	2 год 20 хв	+0 год 20 хв	-0 год 40 хв
3	Донецьк	47° 59'	37° 45'	2 год 31 хв	+0 год 31 хв	-0 год 29 хв
4	Житомир	50° 16'	28° 40'	1 год 55 хв	-0 год 05 хв	-1 год 05 хв
5	Запоріжжя	47° 58'	35° 15'	2 год 21 хв	+0 год 21 хв	-0 год 39 хв
6	Івано-Франківськ	48° 56'	24° 45'	1 год 39 хв	-0 год 21 хв	-1 год 21 хв
7	Київ	50° 27'	30° 30'	2 год 02 хв	+0 год 02 хв	-0 год 58 хв
8	Кіровоград	48° 30'	32° 15'	2 год 09 хв	+0 год 09 хв	-0 год 51 хв
9	Луганськ	48° 35'	39° 15'	2 год 37 хв	+0 год 37 хв	-0 год 23 хв
10	Луцьк	50° 45'	25° 15'	1 год 41 хв	-0 год 19 хв	-1 год 19 хв
11	Львів	49° 51'	24° 02'	1 год 36 хв	-0 год 24 хв	-1 год 24 хв
12	Миколаїв	46° 58'	32° 00'	2 год 08 хв	+0 год 08 хв	-0 год 52 хв
13	Одеса	46° 28'	30° 45'	2 год 03 хв	+0 год 03 хв	-0 год 57 хв
14	Полтава	49° 36'	34° 34'	2 год 18 хв	+0 год 18 хв	-0 год 42 хв
15	Рівне	50° 35'	26° 00'	1 год 44 хв	-0 год 16 хв	-1 год 16 хв
16	Сімферополь	44° 58'	34° 06'	2 год 16 хв	+0 год 16 хв	-0 год 44 хв
17	Суми	50° 53'	34° 45'	2 год 19 хв	+0 год 19 хв	-0 год 41 хв
18	Тернопіль	49° 34'	25° 30'	1 год 42 хв	-0 год 18 хв	-1 год 18 хв
19	Ужгород	48° 38'	22° 15'	1 год 29 хв	-0 год 31 хв	-1 год 31 хв
20	Харків	50° 00'	36° 13'	2 год 25 хв	+0 год 25 хв	-0 год 35 хв
21	Херсон	46° 38'	32° 30'	2 год 10 хв	+0 год 10 хв	-0 год 50 хв
22	Хмельницький	49° 24'	27° 00'	1 год 48 хв	-0 год 12 хв	-1 год 12 хв
23	Черкаси	49° 27'	32° 00'	2 год 08 хв	+0 год 08 хв	-0 год 52 хв
24	Чернівці	48° 17'	25° 57'	1 год 44 хв	-0 год 16 хв	-1 год 16 хв
25	Чернігів	61° 29'	31° 18'	2 год 05 хв	+0 год 05 хв	-0 год 55 хв

6. ДАТИ НОВОГО МІСЯЦЯ (2001–2057 рр.)

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

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

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

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

ДОДАТКИ

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

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

9. НАЙЯСКРАВІШІ ЗОРІ

№ п/п	Назва	Сузір'я	m	Відстань пк	Світність $L = E/E_{\odot}$	Температура K	Радіус R/R_{\odot}
1	Сіріус	α Вел. Пес	-1,46	2,7	22	11000	1,3
2	Канопус	α Кіль	-0,75	55,0	20000	7500	85,0
3	Арктур	α Волопас	-0,05	11,1	113	5000	14,0
4	Рігель	α Кентавр	-0,01	1,3	1,4	5800	1,2
5	Вега	α Ліра	+0,03	8,1	55	11000	2,0
6	Капелла	α Візничий	+0,08	13,7	151	5600	13,0
7	Рігель	β Оріон	+0,13	250,0	50000	12000	52,0
8	Проціон	α Мал. Пес	+0,37	3,5	7,6	7000	2,0
9	Бетельгейзе	α Оріон	+0,47	150,0	13000	3000	426,0
10	Ахернар	α Ерідан	+0,51	40,0	870	15000	4,0
11	Гадар	β Кентавр	+0,63	150,0	10000	20000	8,0
12	Альтаір	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	25000	2,6
16	Поллукс	β Близнята	+1,14	11,0	37	5000	4,5
17	Фомальгаут	α Півд. Риба	+1,19	7,7	17	10000	1,4
18	Денеб	α Лебідь	+1,25	500,0	70000	10000	90,0
19	Регул	α Лев	+1,35	27,0	200	13000	2,8
20	Кастор	α Близнята	+1,58	16,0	50	11000	2

10. АСТРОБЛЕМИ

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

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

11. АСТРОНОМІЧНІ ОБСЕРВАТОРІЇ УКРАЇНИ І СВІТУ

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

Закінчення таблиці

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

12. ХРОНОЛОГІЯ КОСМІЧНИХ ПОДІЙ

- 15000000000 р. до н. е. зародження Всесвіту — Великий Вибух.
- 5000000000 р. до н. е. зародження Сонячної системи.
- 4500000000 р. до н. е. утворення Землі.
- 3500000000 р. до н. е. початок архейської ери в шкалі геологічного літочислення.
- 1900000000 р. до н. е. на Землі з'явилися перші водорості.
- 500000000 р. до н. е. початок палеозойської ери — з'явилися перші спорові рослини.
- 400000000 р. до н. е. на Землі виникли перші риби.
- 230000000 р. до н. е. початок мезозойської ери — з'явилися хвойні рослини.
- 200000000 р. до н. е. початок юрського періоду — виникли перші плазуни і птахи.

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

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

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

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

Відповіді до письмових вправ та вказівки до розв'язання

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

Предметний покажчик

- А**
Абсолютна зоряна величина 104
Антропний принцип 132
Апогей 41
Астероїд 9, 86
Астрономи 89
Астрономія 11
Астрометрія 11
Астрономічна одиниця 9, 10, 33
Астрономія 5, 13
Астрофізика 11, 46
Атмосфера Сонця 98
Афелій 32
- Б**
Болід 89
- В**
Великий Вибух 126
Венера 9, 67
Верхня кульмінація 17
Видима зоряна величина 49
Високосний рік 27
Відкрита система 132
Всесвіт 5, 10, 123
Всесвітнього тяжіння закон 7, 35
- Г**
Габбла закон 123
Галактики 9, 118, 121
— Велика стіна 122
— галактичний рік 120
— розлітання галактик 123
— складові галактик 118, 120
— спіральні рукави 120
— типи галактик 121
Галілеєві супутники 81
- Геліоцентрична система світу 7
Географічний полюс 15
Геостаціонарний супутник 41
Геоцентрична система світу 6
Головна послідовність зір 107, 108
Горизонт 16
Гринвіч 15
- Д**
Діаграма Герцшпрунга—Рессела (спектр—світність) 107
Доба 21
- Е**
Екліптика 24
Електронно-оптичний перетворювач 51
Екологічна катастрофа 58
Елонгація 31
- З**
Затемнення Місяця 59
Затемнення Сонця 59
Збільшення телескопа 50
Збурення 36
Земля 9, 57
— атмосфера 57
— будова 58
— магнітне поле 58
Земний екватор 15
Зеніт 16
Зодіак 23
Зорі 5, 102
— білий карлик 107
— змінна зоря 111
— Наднова 112
— Нейтронна — Нова 112
— протозоря 110
— цефеїда 115
— червоний гігант 107
— червоний карлик 107
— червоний надгігант 108
Зоряні асоціації 118
Зоряна величина 103
Зоряні скупчення 118
Зоряний час 21
- К**
Календар 28
— григоріанський 28
— юліанський 27, 28
Квазари 10, 127
Кеплера закони 32, 33, 34
Кільця планет 82, 83
Коло схилення 18
Комета 9, 91
Контакти між цивілізаціями 135
Конфігурації планет 30
Корпускулярне випромінювання 100
Космічні швидкості 111
Космологія 11, 126
Космологічні парадокси 123
Космонавтика 8, 39
Космос 5
Кульмінація 17
Кулясті скупчення 120
- Л**
Лінія зміни дат 23
- М**
Магнітна буря 100
Марс 9, 69
Межа Роша 82
Меркурій 65
Метеор 89

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

Зміст

Передмова	4	5 Друга і третя космічні швидкості	42
§ 1. Що вивчає астрономія?		6 Практичне використання космонавтики	43
1 Предмет астрономії	5	§ 6. Методи астрофізичних досліджень	
2 Коротка історія астрономії	6	1 що вивчає астрофізика?	46
3 Наша космічна адреса	9	2 Чорне тіло	47
4 Основні розділи астрономії	11	3 Астрономічні спостереження неозброєним оком	48
§ 2. Основи практичної астрономії		4 Телескопи	49
1 Небесна сфера	14	5 Електронні прилади для реєстрації випромінювання космічних світил	51
2 Точки та лінії небесної сфери	15	в Радіотелескопи	51
3 Орієнтування на місцевості	16	7 Вивчення Всесвіту за допомогою космічних апаратів	53
4 Екваторіальна система небесних координат і карти зоряного неба	18	§ 7. Земля і Місяць	
§ 3. Вимірювання часу та календар		1 Планети земної групи та планети-гіганти	56
1 Вимірювання часу	21	2 Земля — найчарівніша планета Сонячної системи	57
2 Сонячний час та зодіак	23	3 Екологічна система Землі	58
3 Зміна пір року на Землі	25	4 Місяць	59
4 Календарі	27	5 Фізичні умови на Місяці	60
§ 4. Закони руху планет		6 Дослідження Місяця	62
1 Конфігурації планет	30	§ 8. Планети земної групи	
2 Сидеричний і синодичний періоди обертання планет	81	1 Загальна характеристика планет земної групи	65
3 Закони Кеплера	32	2 Меркурій	65
4 Закон всесвітнього тяжіння	35	3 Венера	67
5 Визначення відстаней до планет	86	4 Марс	69
§ 5. Основи космонавтики		§ 9. Планети-гіганти	
1 Зародження космонавтики	39	1 Загальна характеристика планет-гігантів	74
2 Колова швидкість	40		
3 Рух космічних апаратів по еліптичних орбітах	41		
4 Період обертання космічного апарата	41		

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

Навчальне видання

Микола Павлович ПРИШЛЯК

АСТРОНОМІЯ

Підручник для **11** класу
загальноосвітніх навчальних закладів

Рівень стандарту
Академічний рівень

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено

Відповідальна за випуск *Г. Ю. Рогінська*
Відповідальний за комп'ютерну верстку *С. Я. Захарченко*

Формат 70x100/16. Гарнітура Шкільна.
Ум. друк. арк. 13,0. Обл.-вид. арк. 14,7.
Наклад 243 631 прим. Зам. 3906-11

ТОВ Видавництво «Ранок».
Свідоцтво ДК №3322 від 26.11.2008.
61071 Харків, вул. Кібальчича, 27, к. 135.
Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

Надруковано у друкарні ПП «Тріада+».
м. Харків, вул. Киргизька, 19.

Газопищова туманність,
де народжуються молоді зорі



ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

Планета	Маса M_{\oplus}	Радіус		ρ г/см ³	Зоряна доба	ε°	Температура поверхні t , °C	
		км	R_{\oplus}				min	max
Меркурій	0,06	2439	0,38	5,4	58,65 ^d	3	-170	+430
Венера	0,82	6052	0,95	5,2	243,16 ^d	177	+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	71 398	11,2	1,3	9 ^h 50 ^m	3,08	-120	
Сатурн	95,17	60 000	9,41	0,7	10 ^h 14 ^m	26,1	-175	
Уран	14,6	26 200	4,11	1,2	10 ^h 49 ^m	97,9	-215	
Нептун	17,2	24 300	3,81	1,6	19 ^h	28,8	-213	
Планети-карлики								
Церера	0,0005	480	0,08	3,1	9 ^h	4	-140	+11
Плутон	0,002	1125	0,18	2,1	6,38 ^d	119	-240	-218
Ерида	0,002	1200	0,19	2,0	26 ^h		-250	-240

m — маса планети в одиницях маси Землі;
 ρ — густина в г/см³;
 ε° — кут нахилу екватора до екліптики;
 t — температура планет-гігантів у хмарах.

На базі підручника створено навчально-методичний комплект «Астрономія-11»:

- **Підручник**
- Методичні рекомендації для вчителів
- Рухома карта зоряного неба
- Робочий зошит

Підручник містить:

- Матеріали для мотивації навчальної діяльності
- Приклади розв'язування типових задач
- Завдання для самоперевірки
- Тематичне узагальнення матеріалу
- Покрокові описи лабораторних робіт
- Інформацію про практичне застосування астрономії

Відкрий для себе:

- Далеке минуле Всесвіту, коли ще не існувало ні Землі, ні Сонця
- Сучасні космічні дослідження, що дозволили людству розгадати багато таємниць зоряного неба

Дізнайся:

- Про планети Сонячної системи, дивні й чужі світи, які мало чим нагадують Землю
- Як народжуються, світять, а потім вибухають далекі зорі
- Про Сонце, яке дає світло і тепло всім живим істотам
- Чи існують позаземні цивілізації, з якими можна встановити зв'язок і обмінюватись інформацією про Всесвіт

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК
www.ranok.com.ua

