

56. Методи астрофізичних досліджень

Вивчивши цей параграф, ми:

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

1

Що вивчає астрофізика?

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

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

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

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



Для допитливих :

Астрофізичні експерименти в космосі все ж таки відбуваються — їх здійснює сама природа, а астрономи спостерігають за тими процесами, які відбуваються в далеких світах, і аналізують одержані результати. Ми спостерігаємо своєрідні явища в часі та бачимо таке далеке минуле Всесвіту, коли ще не існувала не тільки наша цивілізація, але навіть не було Сонячної системи. Тобто астрофізичні методи вивчення далекого космосу фактично не відрізняються від експериментів, які проводять фізики на поверхні Землі. До того ж за допомогою АМС астрономи проводять справжні фізичні експерименти як на поверхні інших космічних тіл, так і в міжпланетному просторі.

2 Чорне тіло

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

Зорі випромінюють електромагнітні хвилі різної довжини X , але в залежності від температури поверхні найбільше енергії припадає на певну частину спектра λ_{\max} (рис. 6.1). Цим пояснюються різноманітні кольори зір — від червоного до синього (див. §13). Використовуючи закони випромінювання чорного тіла, які відкрили фізики на Землі, астрономи вимірюють температуру далеких космічних світил (рис. 6.2). При температурі $T = 300$ К чорне тіло випромінює енергію переважно в інфрачервоній частині спектра, яка не сприймається неозброєним оком. При низьких температурах таке тіло у стані термодинамічної рівноваги має справді чорний колір.

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

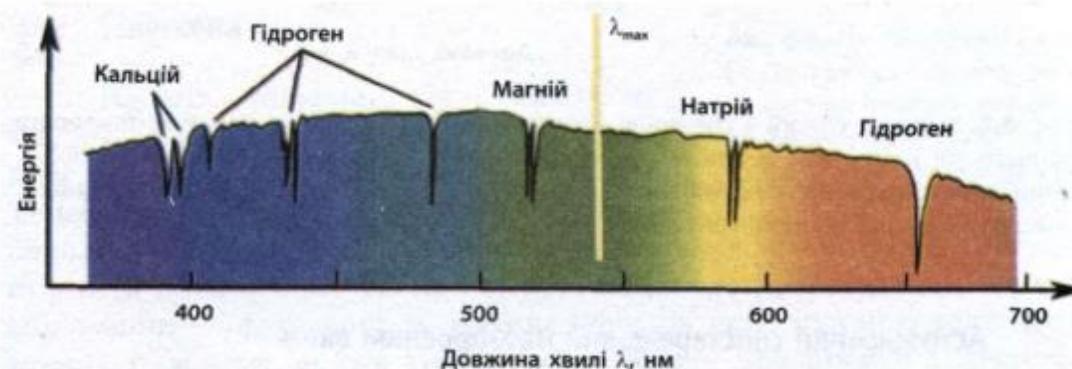


Рис. 6.1. Спектр випромінювання зорі з температурою $T = 5800$ К. Западини на графіку відповідають темним лініям поглинання, які утворюють окремі хімічні елементи



Для допитливих

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

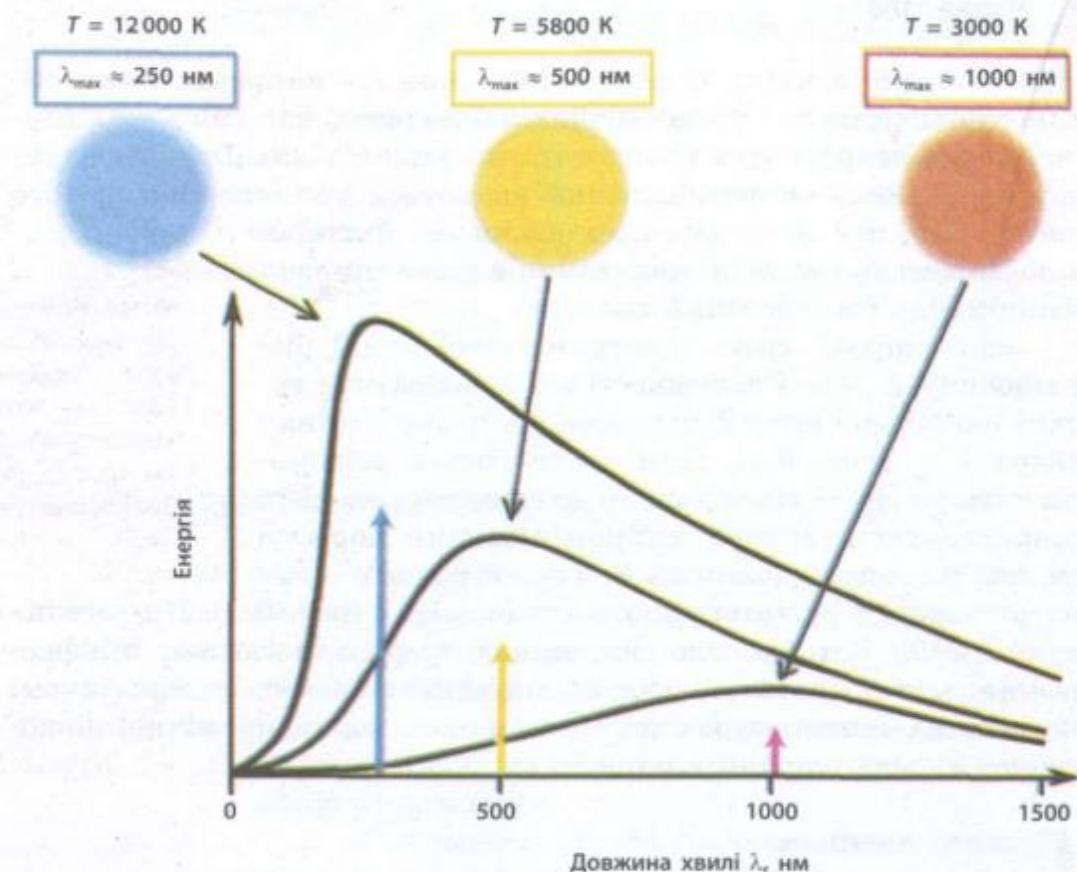


Рис. 6.2. Розподіл енергії у спектрі випромінювання зір. Колір зір визначає температуру поверхні T : сині зорі мають температуру 12000 К, а червоні — 3000 К. При збільшенні температури на поверхні зорі зменшується довжина хвилі λ_{\max} , яка відповідає максимуму енергії випромінювання

3

Астрономічні спостереження неозброєним оком

Око людини є унікальним органом чуття, за допомогою якого ми отримуємо понад 90 % інформації про навколошній світ. Оптичні характеристики ока визначаються роздільною здатністю та чутливістю.

Роздільна здатність ока, або гострота зору, — це спроможність розрізняти об'єкти існих кутових розмірів. Установлено, що роздільна здатність ока людини не перевищує Γ (одна мінuta дуги; рис. 6.3). Це означає, що ми можемо бачити окремо дві зорі (або дві літери в тексті книги), якщо кут між ними $a > \Gamma$, а якщо $a < \Gamma$, то ці зорі зливаються в одне світило, тому розрізнати їх неможливо.

Ми розрізняємо диски Місяця та Сонця, бо кут, під яким видно діаметр цих світил (кутовий діаметр), дорівнює близько $30'$, у той час як кутові діаметри планет і зір менші за $1'$, тому ці світила

неозброєним оком видно як яскраві точки. З планети Нептун диск Сонця для космонавтів буде мати вигляд яскравої зорі.

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



Для допитливих

Чутливість очів також залежить від діаметра зіниці — у темряві зіниці розширяються, а вдень звужуються. Перед астрономічними спостереженнями треба 5 хв посидіти в темряві, тоді чутливість очів збільшиться.

4

Телескопи

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

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

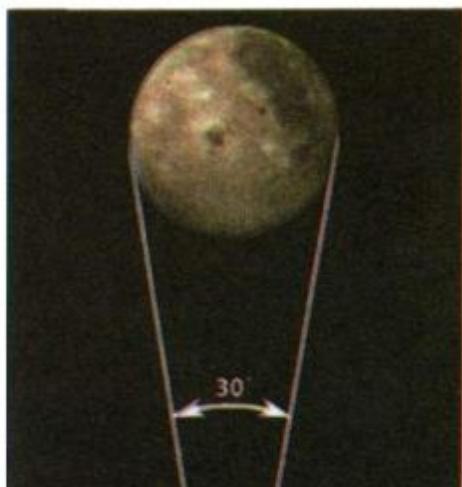


Рис. 6.3. Ми розрізняємо диск Місяця, бо його кутовий діаметр $30'$, у той час як кратери неозброєним оком не видно, бо їх кутовий діаметр менший за f . Гострота зору визначається кутом $\alpha > T$

Рефрактор — телескоп, у якому для створення зображення використовують лінзи

Рефлектор — телескоп, у якому для створення зображення використовують дзеркало

§6. МЕТОДИ АСТРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

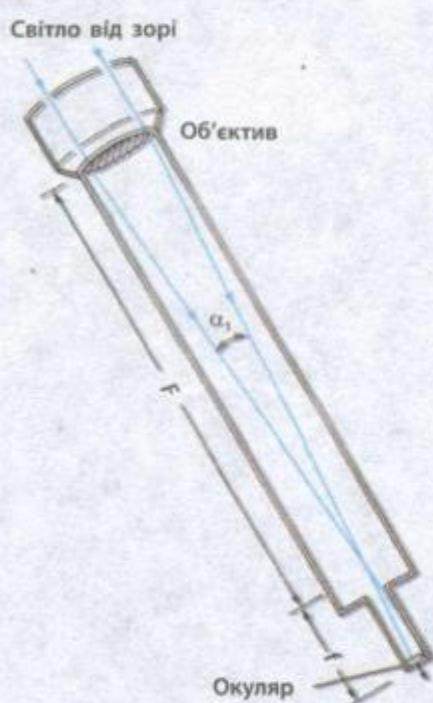


Рис. 6.4. Схема лінзового телескопа (рефрактора)

Збільшення телескопа визначається так:

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

де α_2 — кут зору на виході окуляра; α_1 — кут зору, під яким світило видно неозброєним оком; F, f — фокусні відстані відповідно об'єктива й окуляра.

Роздільна здатність телескопа залежить від діаметра об'єктива, тому при однаковому збільшенні більш чітке зображення дає телескоп із більшим діаметром об'єктива.

Крім того телескоп збільшує видиму яскравість світил, яка буде у стільки разів більша за ту, що сприймається неозброєним оком, у скільки площа об'єктива більша від площи зіниці ока. Запам'ятайте, що в телескопі не можна дивитись на Сонце, бо його яскравість буде такою великою, що ви можете втратити зір.



Для допитливих

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

Шкільні телескопи мають об'єктиви з фокусною відстанню 80—100 см, та набір окулярів із фокусними відстанями 1—6 см. Тобто збільшення шкільних телескопів згідно з формулою (6.1) може бути різним (від 15 до 100 разів), залежно від фокусної відстані окуляра, який застосовується під час спостережень. У сучасних астрономічних обсерваторіях є телескопи, які мають об'єктиви з фокусною відстанню більше за 10 м, тому збільшення цих оптичних

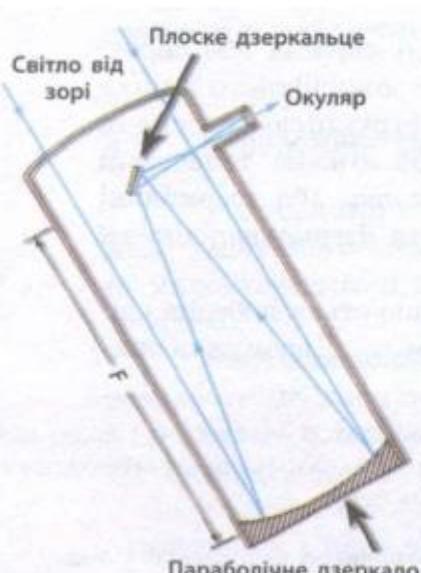


Рис. 6.5. Схема дзеркального телескопа (рефлектора)

приладів може перевищувати 1000. Але під час спостережень такі великі збільшення не застосовують, бо неоднорідності земної атмосфери (вітри, забрудненість пилом) дуже погіршують якість зображення.

5

Електронні прилади для реєстрації випромінювання космічних світил

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

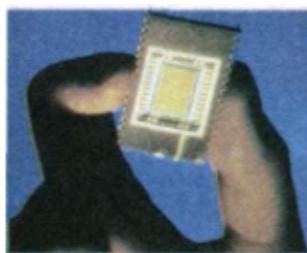


Рис. 6.6. Матриця ПЗЗ

6

Радіотелескопи

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

Існують два типи радіотелескопів — *рефлекторні* та *радіогратики*. Принцип дії рефлекторного радіотелескопа такий самий, як телескопа-рефлектора (див. рис. 6.5), тільки дзеркало для збирання слектромагнітних хвиль виготовляється з металу. Часто це дзеркало має форму параболоїда обертання. Чим більший діаметр такої параболічної «тарілки», тим більші роздільні здатність і чутливість радіотелескопа. Найбільший в Україні радіотелескоп РТ-70 має діаметр 70 м (рис. 6.8).

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

56. МЕТОДИ АСТРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

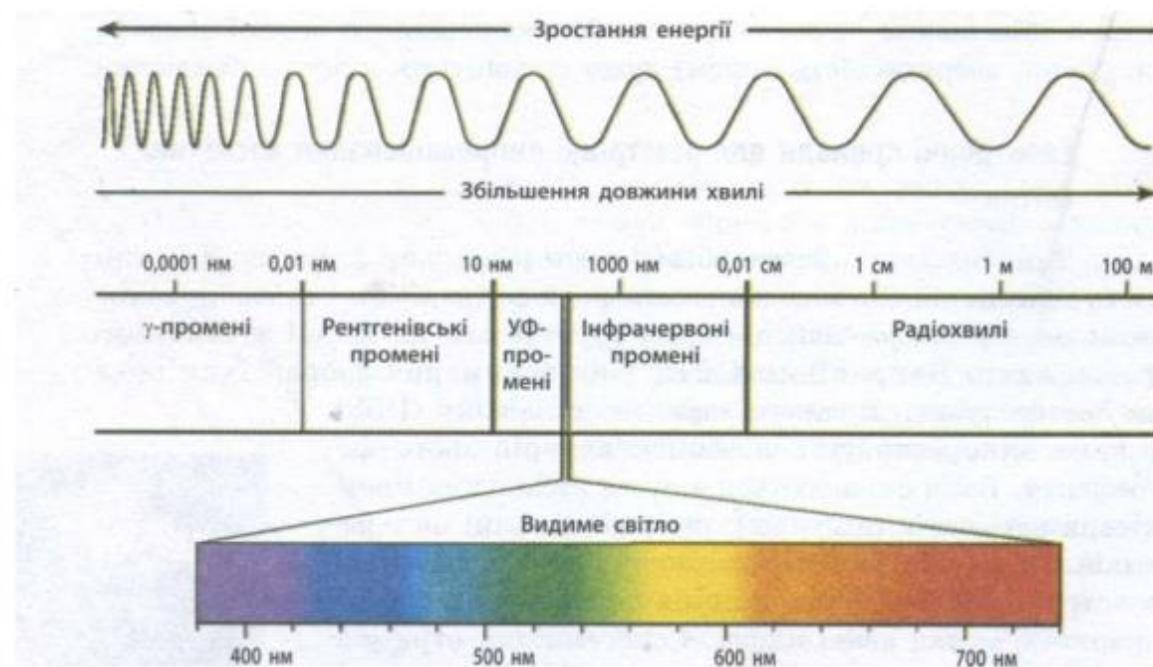


Рис. 6.7. Шкала електромагнітних хвиль



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



Для допитливих

Принцип інтерференції електромагнітних хвиль дозволяє об'єднати радіотелескопи, які розташовані на відстані десятків тисяч кілометрів, що збільшує їх роздільну здатність до $0,0001''$ — це в сотні разів перевершує можливість оптичних телескопів.



Рис. 6.9. Найбільший у світі радіотелескоп УТР-2 (Український Т-подібний радіотелескоп) має розміри $1800\text{ м} \times 900\text{ м}$.

7

Вивчення Всесвіту за допомогою космічних апаратів

Із початком космічної ери настас новий стан вивчення Всесвіту за допомогою ШСЗ та АМС. Космічні методи мають суттєву перевагу перед наземними спостереженнями, тому що значна частина електромагнітного випромінювання зір і планет затримується в земній атмосфері. З одного боку, це неглинання рятує живі органи зі смертельного випромінювання в ультрафіолетовій та рентгенівській частинах спектра, але з іншого — воно обмежує потік інформації від світил. У 1990 р. у СПА був створений унікальний космічний телескоп Габбла з діаметром дзеркала 2,4 м (рис. 6.10). У наш час у космосі функціонує багато обсерваторій, які реєструють та аналізують випромінювання всіх діапазонів — від радіохвиль до гамма-променів (рис. 6.7).

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



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

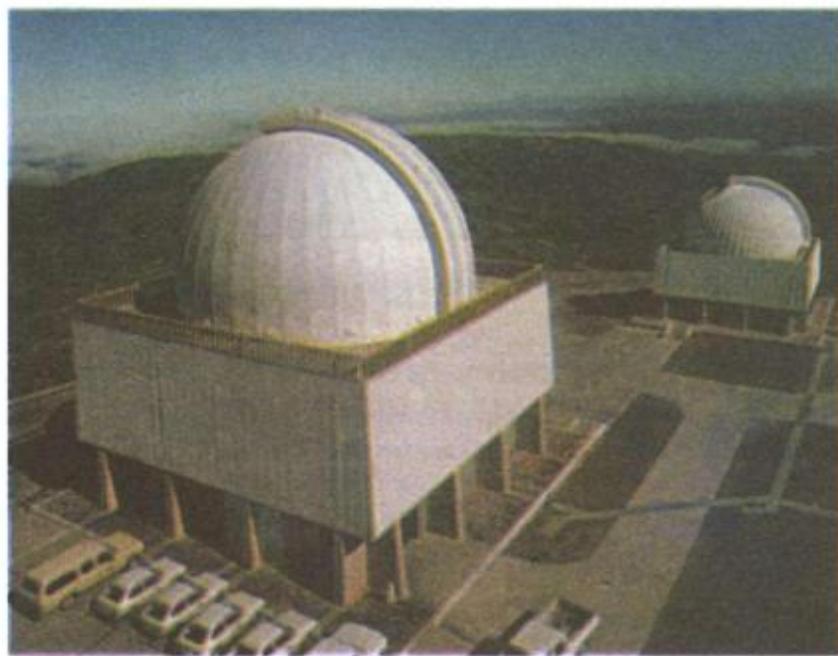


Рис. 6.11. Астрономічна обсерваторія

§ 6. МЕТОДИ АСТРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



Для допитливих

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

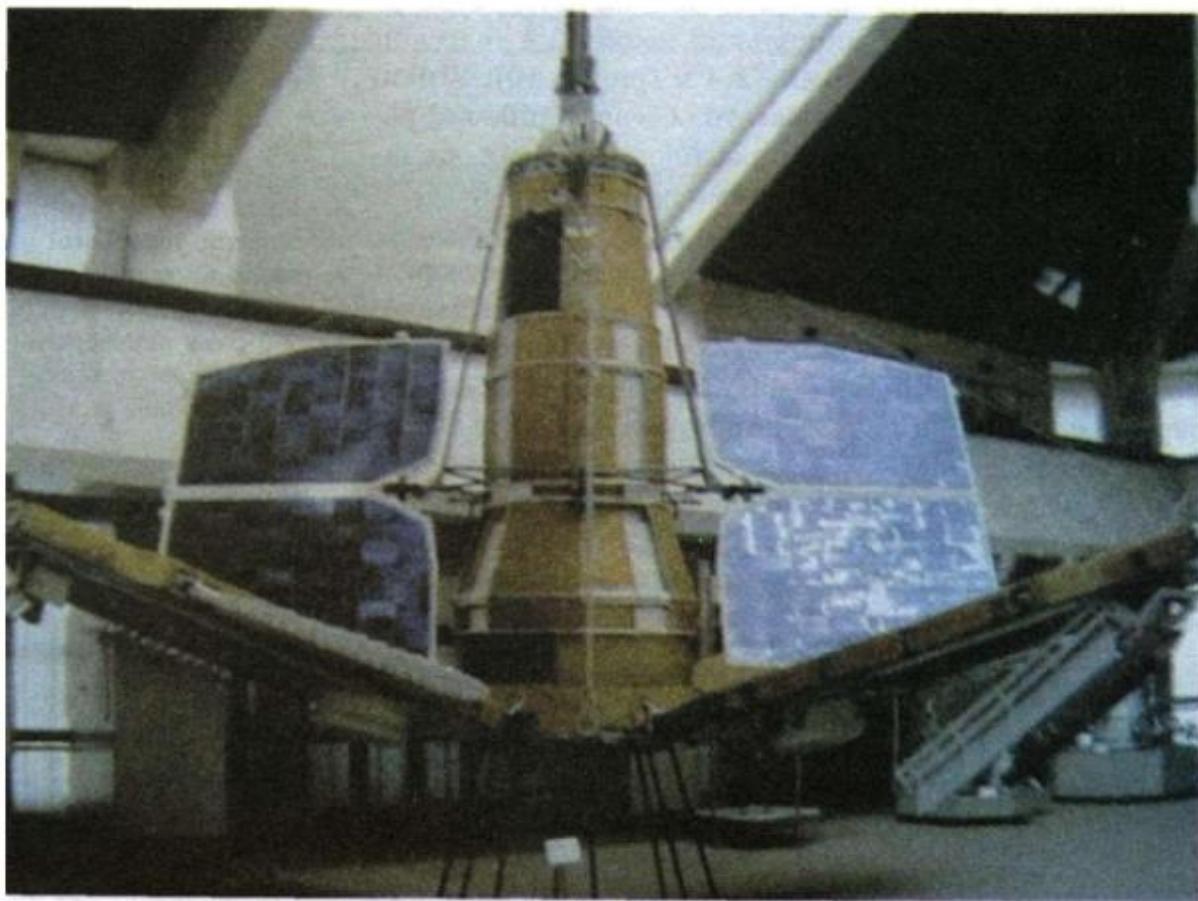


Рис. 6.12. Перший український супутник «Січ-1»



Висновки

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

§ 6. МЕТОДИ АСТРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Тести

1. Телескоп — це такий оптичний прилад, який:
A. наближує до нас космічні тіла. **B.** збільшує космічні світила. **C.** збільшує кутовий діаметр світила. **D.** приймає радіохвилі.
2. Чому великі астрономічні обсерваторії будують у горах?
A. щоб наблизитися до планет. **B.** у горах більша тривалість ночі. **C.** у горах менша хмарність. **D.** у горах більш прозоре повітря. **E.** щоб збільшити світлові перешкоди.
3. Чи може чорне тіло бути білого кольору?
A. Не може. **B.** може, якщо пофарбувати його білою фарбою. **C.** може, якщо температура тіла наближується до абсолютноного нуля. **D.** може, якщо температура тіла нижча ніж 0°C . **E.** може, якщо температура тіла вища ніж 6000 K .
4. У який із цих телескопів можна побачити найбільше зір?
A. У рефлектор із діаметром об'єктива 5 m . **B.** У рефрактор із діаметром об'єктива 1 m . **C.** У радіотелескоп із діаметром 20 m . **D.** У телескоп зі збільшенням 1000 і з діаметром об'єктива 3 m . **E.** У телескоп із діаметром об'єктива 3 m та збільшенням 500 .
5. Чим пояснюються різноманітні кольори зір?
6. Чому в телескоп ми бачимо більше зір, ніж неозброєним оком?
7. Чому спостереження у космосі дають більше інформації, ніж наземні телескопи?
8. Чому зорі в телескоп видно як яскраві точки, а планети в той самий телескоп — як диски?
9. На яку найменшу відстань треба відлетіти в космос для того, щоб космонавти неозброєним оком бачили Сонце як яскраву зорю у вигляді точки?
10. Кажуть, що деякі люди мають такий гострий зір, що навіть неозброєним оком розрізняють великі кратери на Місяці. Обчисліть достовірність цих фактів, якщо найбільші кратери на Місяці мають діаметр 200 km , а середня відстань до Місяця дорівнює 380000 km .

Диспути на запропоновані теми

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

Завдання для спостережень

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

Ключові поняття і терміни:

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