

Методи астрофізичних досліджень

План

1. Що вивчає астрофізика?
2. Закони випромінювання абсолютно чорного тіла.
3. Визначення температури космічних тіл.
4. Астрономічні спостереження неозброєним оком.
5. Схема телескопа-рефрактора.
6. Збільшення телескопа.
7. Схема телескопа-рефлектора.
8. Основи спектрального аналізу.
9. Електронні приймачі випромінювання.
10. Дослідження космосу за допомогою міжпланетних автоматичних станцій.
11. Астрономічні обсерваторії України та світу.

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

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

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

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

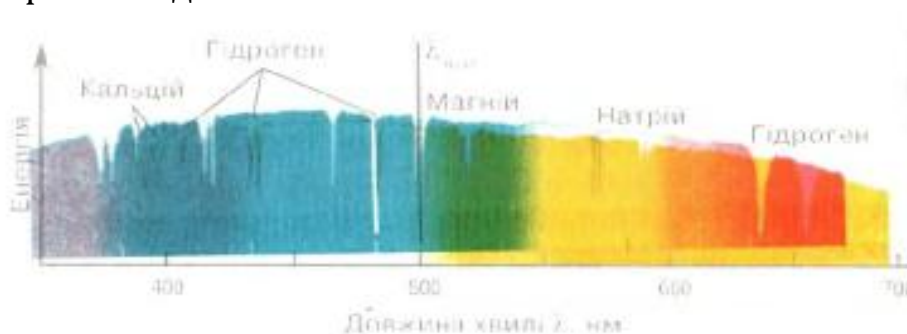


Астрофізичні експерименти у космосі все ж таки відбуваються - їх здійснює сама природа, а астрономи спостерігають за тими процесами, які відбуваються в далеких світах, і аналізують одержані результати. Ми спостерігаємо своєрідні явища у часі та бачимо таке далеке минуле Всесвіту, коли ще не існувала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

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

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

Зорі випромінюють електромагнітні хвилі різної довжини λ , але залежно від температури поверхні найбільше енергії припадає на певну частину спектра λ_{max} . Цим пояснюються різноманітні кольори зір - від червоного до синього.



Спектр
випромінювання зорі
з температурою
 $T = 5800 \text{ K}$

Використовуючи закони випромінювання чорної тіла, які відкрили фізики на Землі, астрономи розраховують температуру далеких космічних світил.

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



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

Астрономічні спостереження неозброєним оком. Око є унікальним органом чуття, за допомогою якого ми отримуємо понад 90% інформації про навколишній світ. Оптичні характеристики ока визначаються роздільною здатністю та чутливістю.

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

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



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

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

- *рефрактори* (латин, *refractus* — заломлення), або лінзові телескопи;

- *рефлектори* (латин, *reflectio* — відбиваю), або дзеркальні телескопи;
- *дзеркально-лінзові телескопи.*

Рефрактор — телескоп, у якому для створення зображення використовують лінзи

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

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

Збільшення телескопа визначається так:

$$n = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{F}{f}$$

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

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

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

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



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

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

Радіотелескопи. Для реєстрації електромагнітного випромінювання в радіодіапазоні (довжина хвилі від 1 мм і більше) 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 радіогратки*. Принцип дії рефлекторного радіотелескопа такий самий, як телескопа рефлектора тільки дзеркало для збирання електромагнітних хвиль виготовляється з металу. Часто це дзеркало має форму параболоїда обертання. Чим більший діаметр такої параболічної "тарілки", тим більші роздільна здатність та чутливість радіотелескопа. Найбільший в Україні радіотелескоп РТ-70 має діаметр 70 м, він розташований у Криму.

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



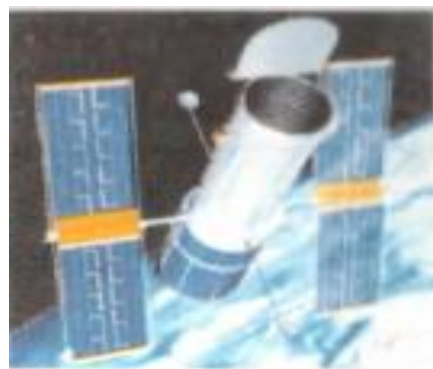
Принцип інтерференції електромагнітних хвиль дозволяє об'єднати радіотелескопи, які розташовані на відстані кількох тисяч кілометрів, що збільшує їхню роздільну здатність до 0,00001' — це в сотні разів перевершує можливість оптичних телескопів.

Вивчення Всесвіту за допомогою космічних апаратів. З початком космічної ери настає новий етап вивчення Всесвіту за допомогою ШСЗ та АМС. Космічні методи мають суттєву перевагу перед наземними спостереженнями, тому що значна частина електромагнітного

випромінювання зір та планет затримується в земній атмосфері. З одного боку це поглинання рятує живі організми від смертельного випромінювання в ультрафіолетовій та рентгенівській частинах спектра, але з іншого боку воно обмежує потік інформації від світил. У 1990 р. в США був створений унікальний космічний телескоп Габбла з діаметром дзеркала 2,4 м. У космосі функціонує багато обсерваторій, які



Астрономічна обсерваторія



Космічний телескоп Габбла

реєструють та аналізують випромінювання всіх діапазонів - від радіохвиль до гама-променів.

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



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. Першими астрономічними обсерваторіями Європи вважають Паризьку у Франції, яку відкрили у 1607 р., і Гринвіцьку в Англії (1675 р.). Зараз астрономічні обсерваторії працюють на всіх материках, і їхня загальна кількість перевершує 400. В Україні працюють 7 астрономічних обсерваторій — у Києві (дві), Криму, Львові, Миколаєві, Одесі, Полтаві — та 2 астрономічні інститути у Харкові.

ВИСНОВКИ

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

Контрольні запитання

1. Що таке космічні промені?
2. Що таке абсолютно чорне тіло?
3. Які типи телескопів використовують в астрономії і хто першим сконструював кожен із них?
4. Яку роль відіграють телескопи в астрономії?
5. Які види телескопів ви знаєте?
6. Де розташовано найбільші телескопи?
7. Що таке радіоінтерферометр і за яким принципом він збудований?

Хочеш знати більше?

Додаткова інформація <http://shkola.ua/book/read/99/page8>

Виберіть правильну відповідь:

1. Телескоп - це такий оптичний прилад, який...
 - А) наближує до нас космічні світила;
 - Б) збільшує космічні світила;
 - В) збільшує кутовий діаметр світила;
 - Г) наближує нас до планети;
 - Д) приймає радіохвилі.
2. Чому великі астрономічні обсерваторії будують в горах?
 - А) Щоб наблизитися до планет;
 - Б) У горах більша тривалість ночі;
 - В) У горах менша хмарність;
 - Г) У горах більш прозоре повітря;
 - Д) Щоб збільшити світлові перешкоди.
3. Чи може абсолютно чорне тіло бути білого кольору?
 - А) Не може;
 - Б) Може, якщо його пофарбувати білим кольором;
 - В) Може, якщо температура тіла наближається до абсолютного нуля;
 - Г) Може, якщо температура тіла нижча, ніж 0 градусів;
 - Д) Може, якщо температура тіла вища 6000 К.
4. У яких з цих телескопів можна побачити найбільшу кількість зір?
 - А) У рефлектор з діаметром об'єктива 5 м;
 - Б) У рефрактор з діаметром об'єктива 1 м;
 - В) У радіотелескоп діаметром 20 м;
 - Г) У телескоп діаметром об'єктива 3 м і збільшенням 500.