

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

Ще стародавні греки візуально неозброєним оком бачили так само як і ми: 6000 зір, 5 планет Сонячної системи, Сонце і Місяць. І найбільш віддалений об'єкт який можна було спостерігатися знаходиться на відстані 2 млн.св. років.

Проїшли роки і людина, завдяки розвитку науки і техніки, змогла набагато розширити межі «видимого» Всесвіту : аматорський телескоп може зафіксувати 100млн. зірок, а за підрахунками деяких вчених – їх 70 секстильйонів, і це – не межа. Кожного дня ми відкриваємо нові, їх кількість зростає.

Ми можемо розглядати космічні об'єкти на відстані 15 млрд. св. років.

За допомогою чого це стало можливо? Відповідь на це запитання і є метою нашого уроку.

1.Телескопи

Оптичний телескоп

1609 року Г. Галілей уперше застосував оптичний телескоп для дослідження небесних тіл і зробив ряд відкриттів (гори на Місяці, супутники Юпітера). Телескоп – це основний прилад в астрономії, призначення якого - зібрати більше світла і збільшити кут зору, під яким спостерігається те чи інше світило.

Основними складовими частинами оптичного телескопа є: об'єктив (збирає світло і будує у фокусі зображення об'єкта), тубус (труба), окуляр (для розгляду зображення, побудованого об'єктивом).

Як працює оптичний телескоп?

Об'єктив будує зображення об'єкта (Місяця, планет) або ділянок зоряного неба у фокальній площині. Окуляр, що виконує роль лупи, дозволяє наблизитися до зображення цього об'єкта і розглядати його під більшим кутом, ніж сам об'єкт. Ще одна важлива властивість телескопа — збільшити кут, під яким ми спостерігаємо небесне тіло.(кутовий діаметр небесного світила). Збільшення (n) телескопа залежить від фокусної відстані об'єктива (F) і фокусної відстані використовуваного окуляра (f):

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

Оптичні телескопи є лінзові (*рефрактори*), дзеркальні (*рефлектори*) та дзеркально-лінзові (меніскові).

У рефракторах об'єктивом є лінза, від розмірів якої залежить якість зображення. Найбільший лінзовий об'єктив має діаметр лише 102 см.

У рефлекторах об'єктивом є сферичне або параболічне дзеркало, від розмірів якого також залежить якість зображення. Для покращення відбивної здатності дзеркала покривають шаром алюмінію. (Перший рефлектор винайшов Ісаак Ньютон – 1668 р.)

Зараз астрономи мають оптичні телескопи з діаметром об'єктива 10 м, триває розроблення проєктів більших телескопів, проте їх планують використовувати на орбіті. Земна атмосфера сильно поглинає випромінювання, тому виведення телескопа за межі атмосфери розширило можливості оптичних телескопів.

Телескопи невидимого спектру. Радіотелескопи

В сучасній астрономії використовують, крім оптичних, й інші телескопи: *радіотелескопи, ультрафіолетові, інфрачервоні, рентгенівські, гамма-телескопи* тощо.

Радіотелескопи - для дослідження радіовипромінювань. Радіохвилі здебільшого без проблем проходять крізь земну атмосферу, і лише деякі з них, які називають короткими, відбиваються від іонізованого шару земної атмосфери. Завдяки цьому можливий зв'язок між радіостанціями, розташованими на протилежних точках планети. Середовище незначною мірою поглинає радіохвилі, тому вивчення Всесвіту в радіодіапазоні дуже інформативне для астрономів. Радіоастрономічні дослідження дозволяють: а) вивчати космічні об'єкти, дослідження яких іншими методами дає дуже обмежені відомості про їх фізичну природу; б) проводити ряд спостережень вдень і в погану погоду, а також орієнтуватися за радіоджерелами; в) радіолокаційними методами можна уточнити відстані до Місяця, планет і Сонця, а також дослідити метеори.

Основними частинами радіотелескопа є антена (параболічне металеве дзеркало, що приймає радіохвилі), опромінювач (пристрій, який збирає радіовипромінювання, направлене на нього дзеркалом) і чутливий приймач.

Існують два типи радіотелескопів – рефлекторні та радіогратки. Принцип дії рефлекторного радіотелескопа такий самий, як і у телескопа-рефлектора, тільки дзеркало для збирання ЕМ хвиль виготовляється з металу. Найбільший в Україні радіотелескоп РТ – 70 (Євпаторія) має діаметр 70м. Найбільший у світі радіотелескоп з параболічною антеною 500 м FAST округі Пінтан, провінції Гуйчжоу (Китай) - 2016 р. Радіогратки складаються з великої кількості окремих антен, які розташовані на поверхні Землі у певному порядку. Якщо дивитися зверху, то велика кількість таких антен нагадує літеру «Т». Найбільший у світі радіотелескоп декаметрового діапазону УТР-2 розташований під Харковом.

Об'єднання кількох радіотелескопів утворюють радіоінтерферометри. В наддалекій радіоінтерферометрії використовують антени, розташовані на великих відстанях (Земля-штучний супутник), що дозволяє значно збільшити їх роздільну здатність до $0,0001''$ – це в сотні разів перевищує можливість оптичних телескопів.

2. Детектори нейтрино.

Частинки нейтрино утворюються внаслідок деяких видів радіоактивного розпаду, ядерних реакцій, подібних до тих, що відбуваються на Сонці, чи внаслідок зіткнення космічних променів з атомами. Через дуже слабку взаємодію з речовиною нейтрино надає унікальну можливість спостерігати за процесами, які недоступні для досліджень через оптичні телескопи.

Швидкість руху нейтрино є близькою до швидкості світла. Вони відіграють велику роль у перетвореннях елементарних частинок. Маса нейтрино вкрай мала у порівнянні з іншими елементарними частинками, але вона є важливою для пояснення в космології феномену прихованої маси, оскільки, незважаючи на її мале значення, концентрація нейтрино у Всесвіті досить висока, щоб істотно вплинути на середню густину речовини.

Переважаюча кількість нейтринних детекторів, метою яких є вивчення нейтрино, розташовують глибоко під землею, щоб запобігти впливу на них будь-якого космічного випромінювання та інших джерел природного радіаційного фону. Через слабку взаємодію нейтрино з іншими елементарними частинками, розмір нейтринного детектора має бути дуже великим та здатним уловити значну кількість нейтринних частинок.

Однією з найвідоміших обсерваторій, що спеціалізується на виявленні нейтрино, є обсерваторія Супер-Каміоканде в Японії. В ній знаходяться так звані водяні детектори нейтрино, у яких використовують звичайну воду H_2O або важку воду D_2O (кожний атом Гідрогену тут містить, окрім протона, додатковий нейтрон). Принцип роботи водяних детекторів такий: нейтрино, проходячи крізь товщу звичайної води, збуджує електрони в молекулах H_2O або реагує з нейтроном молекули D_2O з утворенням протона й електрона. Надлишок енергії швидко висвічується (відомий з фізики ефект черенковського випромінювання). Реєстрація цього випромінювання дає змогу не тільки підрахувати кількість нейтрино, які взаємодіють з речовиною детектора за одиницю часу, а ще й вказати напрямок руху нейтрино, а отже, встановити напрямок на джерело цього випромінювання.

3. Детектори гравітаційних хвиль.

Новітньою галуззю спостережної астрономії є гравітаційно-хвильова астрономія, що використовує гравітаційні хвилі (найдрібніші викривлення простору-часу, передбачені загальною теорією відносності Ейнштейна) для спостережень та збору даних про нейтронні зорі й чорні діри, про вибухи Наднових, а також для дослідження інших процесів у космосі.

Безпосередня реєстрація гравітаційних хвиль є досить складною через слабкість гравітаційної взаємодії між зорями (вона майже на 40 порядків слабша електромагнітної), тому гравітаційні хвилі спричиняють дуже мале викривлення простору. Вони викликають надзвичайно слабку періодичну зміну відстаней між пробними частинками. 11 лютого 2016 року було оголошено про експериментальне відкриття гравітаційних хвиль. Приладом для їх реєстрації є детектор гравітаційних хвиль.

Детектор гравітаційних хвиль (гравітаційний телескоп) — пристрій, призначений для реєстрації гравітаційних хвиль. Оскільки, гравітаційна хвиля, проходячи через певний розподіл мас, спричиняє в ньому збурення сили тяжіння. Тому найпростішим детектором гравітаційних хвиль можуть бути дві кулі, з'єднані пружиною. Якщо на них перпендикулярно до осі, що з'єднує центри куль, падає гравітаційна хвиля, то відстань між кулями буде позмінно збільшуватися і зменшуватися.

Нині розроблено твердо тільні гравітаційні антени другого покоління, у яких п'ятитонні алюмінієві циліндри охолоджуються до 2 К, а датчики здатні реєструвати амплітуди коливань до $2 \cdot 10^{-17}$ см. У США введено вдію велику лазерно-інтерференційну гравітаційно-хвильову обсерваторію ЛІГО (LIGO), один інтерферометр якої з базою 4 км встановлено у штаті Луїзіана, другий з такою самою базою - у штаті Вашингтон. Інструменти об'єднані за допомогою комп'ютерної мережі. Є плани будівництва великих інтерферометрів для цієї самої мети і в інших країнах, а також встановлення супутникових гравітаційних антен, у яких база досягала б сотень мільйонів кілометрів. (eLISA– 2034 рік введення в експлуатацію)

Вважають, що вивчення гравітаційних хвиль допоможе пролити світло на історію Всесвіту і не тільки.

З 1958 р. американець Джозеф Вебер (1919-2000) намагався зареєструвати гравітаційні хвилі за допомогою детектора. Це був алюмінієвий циліндр завдовжки 1,54 м, та діаметром 0,6 м і масою 1,5 т, підвішений на спеціальній тонкій нитці в рамі зі сталевих блоків і поміщений у вакуумну камеру, оточену чутливими акустичними фільтрами. Розтяг і стиск циліндра під дією гравітаційної хвилі датчики можуть реєструвати з надзвичайною точністю. Щоб уникнути похибок, пов'язаних, наприклад, з коливанням земної кори або електричним розрядом в атмосфері, Вебер встановив два аналогічні детектори на відстані 1000 км. Система реєструє лише ті сигнали, початки яких збігаються з точністю до 0,2 с. Ці детектори і справді впродовж багатьох місяців реєстрували в середньому один імпульс на кожні п'ять діб. Однак дотепер жодна інша лабораторія цього не підтвердила, і природа сигналів, які зареєстрував Вебер, залишається нез'ясованою.

4. Електронні прилади реєстрації випромінювання космічних світил

Якщо замість окуляра розмістити фотопластинку, то зображення буде зафіксоване на тривалий час. Створено фотоемульсії, здатні реєструвати випромінювання в різних діапазонах електромагнітного спектра. Електронні прилади для реєстрації випромінювання космічних світил значно збільшують роздільну здатність і чутливість телескопів. До них належать фотопомножувачі та електронно-оптичні перетворювачі, дія яких ґрунтується на явищі зовнішнього фотоефекту. За допомогою фотоелектронних помножувачів (ФЕП) потік фотонів від небесного світила можна перетворити в електричний струм. Електронно-оптичні перетворювачі (ЕОП) здатні невидиме інфрачервоне випромінювання перетворити у видиме світло.

Наприкінці ХХ ст. для отримання зображень почали використовувати прилади зарядового зв'язку (ПЗЗ), у яких використовується явище внутрішнього фотоефекту. Вони складаються з маленьких кремнієвих елементів, що розташовані на невеликій площі. Матриці ПЗЗ використовують не тільки в астрономії, а й у домашніх телекамерах і фотоапаратах — так звані цифрові системи для отримання зображення. ПЗЗ значно збільшують чутливість приймачів ЕМ, що дає змогу реєструвати космічні об'єкти в десятки разів слабкіші ніж при фотографуванні.

Корисні посилання:

1. [Астрономія: підруч. для 11 класу \(рівень стандарту\) В.Д. Сиротюк, Ю.Б. Мирошніченко](#)
2. [Перевір себе \(тест\)](#)

Додаткові відео з теми:

1. [Сучасні телескопи](#)
2. [Види телескопів](#)
3. [Телескоп Габбл, який бачить небачене](#)

Переглянути найновіші світлини, що зроблені автоматичною обсерваторією (телескопом) з орбіти Землі можна на сайті:

1. [Сайт, що містить матеріали, відзняті Хабблом](#)