

## Оптичні телескопи [1,2]

**Телескоп** — це оптичний прилад для спостереження віддалених об'єктів.

Візуальний телескоп складається з *об'єктива* (лінзового, дзеркального або дзеркально-лінзового) і *окуляра*. Об'єктив будує зображення певного об'єкта (планети, зірки і т.п.) або ділянки зоряного неба у фокальній площині. Окуляр, який виконує роль лупи, дає змогу наблизитися до зображення цього об'єкта ближче - на відстань найліпшого бачення (25 см) - і розглядати його під більшим кутом, ніж є сам об'єкт.

Основними характеристиками телескопа є:

- *діаметр вхідного отвору*  $D$  (тобто діаметр об'єктива – лінзового або дзеркального) або ж *апертура* та
- *фокусна відстань* об'єктива  $F$ .

Ці два параметри визначають інші характеристики телескопа. Зокрема:

- *Роздільна здатність*  $r$  залежить від апертури. Приблизно визначається за формулою  $r = 140/D$ , де розмірність  $r$  задано у секундах, а  $D$  - у міліметрах.
- *Оптичне збільшення*  $\Gamma$  визначається з відношення  $\Gamma = F/f$ , де  $F$  і  $f$  - фокусні відстані об'єктива і окуляра відповідно.
- *Проникна сила*  $m$  – зоряна величина найбільш слабких зірок, які можна побачити за допомогою телескопа при спостереженні у зеніті. Для візуального телескопа  $m$  може бути оцінена за допомогою формули Боуена

$$m = 3,0 + 2,5 \lg D + 2,5 \lg \Gamma .$$

Проникна сила телескопа залежить від якості оптики, яскравості неба, прозорості та турбулентності атмосфери.

Відношення  $A = D/F$  називається *відносним отвором*, а величина  $A^2$  - *геометричною світлосилою* об'єктива. Від неї залежить освітленість у фокальній площині, яку створює протяжний об'єкт.

Астрономічні телескопи - у залежності від того, в якому діапазоні електромагнітних хвиль вони працюють - називаються інфрачервоними, ультрафіолетовими, рентгенівськими, гамма- або радіотелескопами. Для реєстрації випромінювання, відмінного від електромагнітного, створюються нейтринні та гравітаційні телескопи.

## Типи телескопів

Оптичні телескопи поділяються на два типи — рефрактори і рефлектори.

**Рефрактор** — це прилад, у якому в якості об'єктива слугує лінза. У **рефлекторі**, на відміну від рефрактора, для концентрування електромагнітного випромінювання використовується дзеркало.

## Рефрактор

Рефрактор - телескоп, в якому для фокусування світла використовується система лінз, яка називається об'єктивом. Робота таких телескопів ґрунтується на явищі рефракції.

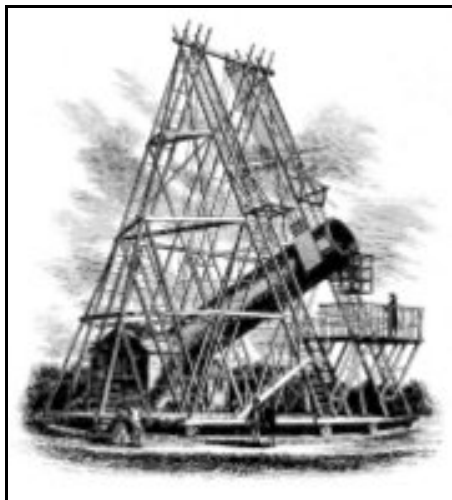
Внаслідок того, що кожна окремо взята лінза має різну аберацію (хроматичну, сферичну та інш.), зазвичай використовуються складні ахроматичні і апохроматичні об'єктиви. Такими об'єктивами є опуклі і увігнуті лінзи, складені і склеєні згідно розрахунків так, щоб мінімізувати аберацію.

Першим оптичним приладом для астрономічних спостережень був телескоп-рефрактор системи Галілея (початок 17-го століття). Найпростіший телескоп (системи Галілея складається з двох лінз: об'єктивом слугить двовипукла лінза (збиральна лінза), а окуляром двовігнута лінза (розсіювальна лінза).

Сучасні астрономічні телескопи є переважно рефлекторами.

Найбільший у світі рефрактор належить Йеркській обсерваторії (США) і має діаметр об'єктива 102 см. Більші рефрактори не будувались. Це пов'язано з тим, що якісні великі лінзи дорогі у виробництві, а також дуже важкі, що призводить

до деформації і погіршення якості зображення. Крупні телескопи зазвичай є рефлекторами.



Один з перших телескопів рефракторів: 40-футовий телескоп Гершеля

## Рефлектор

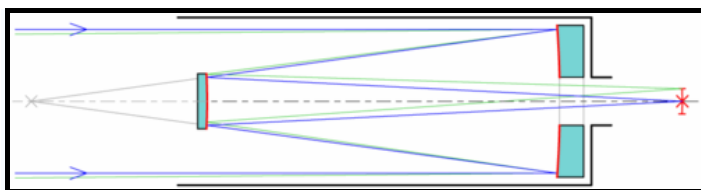
**Рефлектор** — оптичний телескоп, в якому використовуються дзеркала для фокусування світла і побудови зображень. Вперше рефлектор був побудований Ісаком Ньютоном у 1670 р. Телескопи-рефрактори із простих лінз, які будувалися до цього, мали хроматичну аберацию, рефлектор ж принципово не має хроматизму. Якість дзеркальних телескопів, якщо мати на увазі аберации, суттєво поліпшилася після того, як почали шліфувати параболічні дзеркала. Однак тут була ще одна не менш важлива проблема. Спочатку дзеркала для телескопів виготовляли з дзеркальної бронзи, поверхня якої після свіжої відшліфовки відбивала до 90% світла. Однак вона дуже швидко тьмяніла (буквально через декілька місяців), і її коефіцієнт відбивання різко зменшувався. Телескоп-рефлектор ніби заново народився у другій половині 19-го століття, коли розробили метод зовнішнього сріблення скляних дзеркал. Свіжа срібна плівка відбивала до 96% видимого світла, її можна було відновлювати декілька разів. А у 1930 р. скляні дзеркала почали алюмініювати.

Більшість сучасних телескопів є рефлекторами.

## Основні оптичні системи дзеркальних телескопів [2, 3]

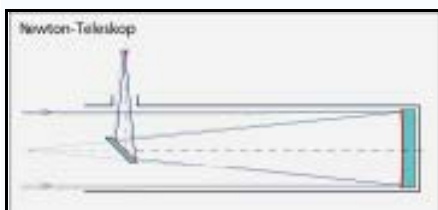
### Класична система Касегрена

"Класичний" телескоп системи Касегрена (Cassegrain) має параболічне первинне дзеркало і гіперболічне вторинне дзеркало, яке відбиває світло від первинного дзеркала і спрямовує його до спостерігача через отвір у первинному дзеркалі. Це робить телескоп більш компактним. Випуклий гіперболічний відбивач має два фокуси і відбиває всі світлові промені, направлені на один з його двох фокусів у напрямку до його іншого центру. Дзеркала цього телескопа проектуються і розташовуються таким чином, що вони поділяють один центр, а другий центр гіперболічного дзеркала знаходиться в тому ж пункті, в якому зображення має спостерігатися, зазвичай тільки за межами окуляра. Параболічне дзеркало виводить паралельні світлові промені, що входять в телескоп, до його центру, який є також центром гіперболічного дзеркала. Гіперболічне дзеркало тоді відбиває ті промені до іншого фокусу, де зображення спостерігається.



Оптична схема телескопа Касегрена

### Система Ньютона



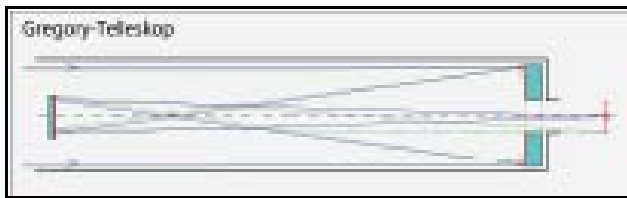
Оптична схема телескопа Ньютона

Як видно з назви, цю схему телескопів запропонував Ісаак Ньютон у 1667 р.

Плоске діагональне дзеркало, розташоване поблизу фокусу, відхиляє пучок світла за межі труби, де зображення розглядається через окуляр або фотографується.

Головне дзеркало параболічне, але якщо відносний отвір не дуже великий, воно може бути і сферичним.

### Система Грегорі

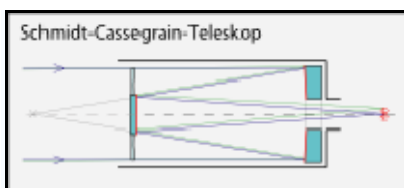


Оптична схема телескопа Грегорі

У системі Грегорі промені від головного увігнутого параболічного дзеркала спрямовуються на невелике увігнуте еліптичне дзеркало, яке відображає їх в окуляр, розташований у центральному отворі головного дзеркала. Оскільки еліптичне дзеркало розташоване за фокусом головного дзеркала телескопа, зображення у рефлекторі Грегорі пряме, тоді як в системі Ньютона – перевернуте. Наявність вторинного дзеркала подовжує фокусну відстань і тим самим дає можливість застосовувати великі збільшення.

## Основні оптичні системи дзеркально-лінзових телескопів [1, 2, 3]

### Система Шмідта-Касегрена

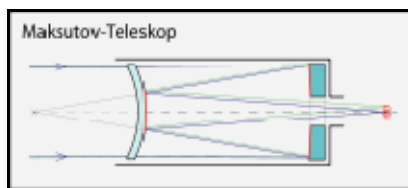


Оптична схема телескопа Шмідта—Касегрена

У 1930 р. естонський оптик, співробітник Гамбургської обсерваторії Барнхард Шмідт встановив в центрі кривизни сферичного дзеркала діафрагму, відразу усунувши і кому, і астигматизм. Для усунення сферичної аберації він помістив у діафрагмі лінзу спеціальної форми. В результаті винахідник отримав фотографічну камеру з єдиною аберацією — кривизною поля - і дивовижними якостями: чим більше світлосила камери, тим краще зображення, які вона дає, і більше поле зору!

У 1946 р. Джеймс Бекер встановив у камері Шмідта опукле вторинне дзеркало і отримав плоске поле. Деяко пізніше цю систему було видозмінено, і вона стала однією з самих довершених систем Шмідта-Касегрена, яка на полі діаметром 2 градуси дає дифракційну якість зображення.

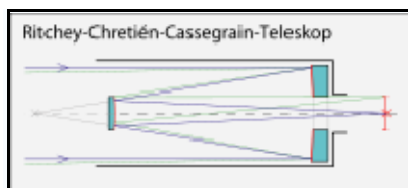
## Система Максутова-Касегрена



Оптична схема телескопа Максутова—Касегрена

У 1941р. Д. Д. Максутов встановив, що сферичну аберацию сферичного дзеркала можна компенсувати меніском великої кривизни. Знайшовши вдалу відстань між меніском і дзеркалом, Максутов зумів позбавитися від коми і астигматизму. Кривизну поля, як і в камері Шмідта, можна усунути, якщо встановити поблизу фокальної площини плоско-опуклу лінзу — так звану лінзу Піацци-Сміта. Проалюмініювавши центральну частину меніска, Максутов отримав меніскові аналоги телескопів Касегрена і Грегорі. Було запропоновано меніскові аналоги практично всіх телескопів.

## Система Річі-Крет'єна



Оптична схема телескопа Річі—Крет'єна—Касегрена

Останнім часом у дзеркальних телескопах широке застосування отримала система Річі-Крет'єна, яка є покращеним варіантом системи Касегрена. У цій системі головне дзеркало — увігнуте гіперболічне, а допоміжне — опукле гіперболічне. Окуляр встановлено в центральному отворі гіперболічного дзеркала. Поле зору системи Річі-Крет'єна - близько  $4^\circ$ .

### Посилання

- [1] Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. — М.: Наука, 1977
- [2] Курс астрофизики и звездной астрономии, 3 изд., т. 1, М.- Л., 1951
- [3] Малюнки оптичних схем телескопів взяті з енциклопедії Wikipedia

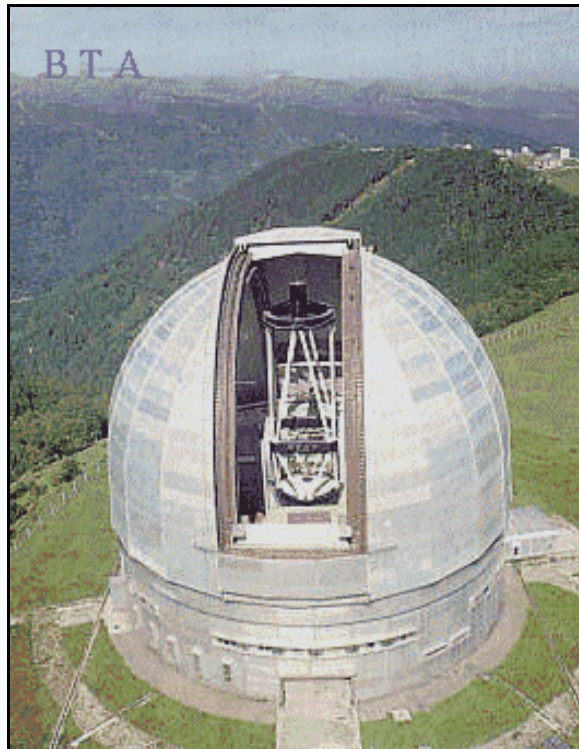
## Сучасні наземні телескопи

На даний час найбільшими в світі телескопами-рефлекторами є два телескопи, що розташовані на Гавайях. КЕСК-I і КЕСК-II введено в експлуатацію у 1993 і 1996 роках відповідно; вони мають ефективний діаметр дзеркал 9.8 м. Телескопи розташовані на одній платформі і можуть використовуватися разом в якості інтерферометра, забезпечуючи при цьому кутову роздільну здатність (по одній координаті), яка відповідає дзеркалу з діаметром 85 м.



Телескопи Кека [1]

**Найбільший в Євразії телескоп БТА** знаходиться на території Росії, у горах Північного Кавказу, і має діаметр головного дзеркала 6 м. Він працює з 1976 р. і тривалий час був найбільшим телескопом у світі [2].



Телескоп БТА [2]

Після 2005 року в експлуатацію було введено телескоп Gran Telescopio Canarias [3] на Канарських островах з діаметром дзеркала 10,4 м, а Southern African Large Telescope(SALT) [4] в ЮАР має діаметр дзеркала 11 м.



Телескоп Gran Telescopio Canarias [3]



Телескоп SALT [4]

### ***Посилання***

[1] Keck: The Largest Optical Telescopes

<http://astro.caltech.edu/mirror/keck/index.html>

[2] Телескоп БТА <http://w0.sao.ru/>

[3] Gran Telescopio CANARIAS (GTC) <http://www.eno.iac.es/observatories.php?op1=3&id=19>

[4] The Southern African Large Telescope (SALT) <http://www.salt.ac.za/>



# Космічні телескопи

## Космічний телескоп Хаббла

Космічний телескоп «Хаббл» (англ. *Hubble Space Telescope*, **HST**) — автоматична обсерваторія на орбіті навколо Землі, яку назвали на честь відомого астронома Едвіна Хаббла. Цей телескоп є спільним проектом NASA і Європейського космічного агентства ESA.

Розміщення телескопа в космосі дає можливість реєструвати електромагнітне випромінювання у тих діапазонах, для яких земна атмосфера непрозора, у першу чергу в інфрачервоному діапазоні. Через відсутність впливу атмосфери роздільна здатність телескопа у 7—10 разів більша, ніж у аналогічного телескопа, розташованого на Землі.



Космічний телескоп «Хаббл» у космосі

### Деякі характеристики телескопа

Маса: 11 тонн

Тип: рефлектор системи Річі—Крет'єна

Діаметр: 2.4 метра

Складною інженерною проблемою було, зокрема, створення космічного корабля для телескопа та інших приладів. До основних вимог належали: були захист устаткування від постійних перепадів температур при нагріві від прямого сонячного освітлення і охолодження у тіні Землі, і – особливо! – забезпечення точної орієнтації телескопа. Телескоп змонтовано всередині легкої алюмінієвої капсули, яка покрита багатошаровою термоізоляцією - такою, що забезпечує стабільність температури всередині. Жорсткість капсули і кріплення приладів забезпечує внутрішня просторова рама з вуглецевого волокна.

### **Запуск і початок роботи**

Спочатку запуск телескопа на орбіту планувався на жовтень 1986 року, але 28 січня того року катастрофа космічного човника «Челленджера» призупинила програму «Спейс Шаттл» на декілька років, і запуск довелося відкласти. Вимушена затримка дозволила провести ряд удосконалень: сонячні батареї було замінено на ефективніші; було модернізовано бортовий обчислювальний комплекс та системи зв'язку, а також змінено конструкцію кормового захисного кожуха з метою полегшення обслуговування телескопа на орбіті. Весь цей час

частини телескопа зберігалися у приміщеннях зі штучно очищеною атмосферою, що значно збільшило витрати на проект. Після відновлення польотів космічних шатлів у 1988 році запуск було остаточно призначено на 1990 рік. Перед запуском пил, що накопичився на дзеркалі, було видалено за допомогою стиснутого азоту, а всі системи пройшли ретельне тестування.



Старт шатлу «Діскавері» з телескопом «Хаббл» на борту

Космічний корабель «Діскавері» STS-31 стартував 24 квітня 1990 року, а наступного дня вивів телескоп на розрахункову орбіту.

Від початку проектування до запуску було витрачено 2,5 млрд. доларів США при початковому бюджеті у 400 млн. Загальні витрати на проект, за оцінкою на 1999 рік, становили 6 млрд. доларів з американського боку і 593 мільйони євро, сплачених ESA

### **Технічне обслуговування телескопа**

Обслуговування «Хаббла» проводиться під час виходів у відкритий космос з космічних кораблів багаторазового використання типу «Спейс Шаттл»

Всього було здійснено чотири експедиції з обслуговування телескопа «Хаббл».

### **Прилади**

Телескоп має модульну структуру і містить п'ять відсіків для оптичних приладів. Один з відсіків займає оптична система, встановлена під час першої експедиції обслуговування у 1993р. для компенсації неточності виготовлення головного дзеркала.

За станом на 2004 рік на телескопі функціонували:

- **Ширококутна і планетна камера-2**
- **Камера близького інфрачервоного діапазону і багатооб'єктний спектрометр**
- **Спектрограф**
- **Вдосконалена оглядова камера.**

### **Досягнення**

За 15 років роботи на навколоразомній орбіті «Хаббл» отримав 700 тисяч зображень від 22 тисяч небесних об'єктів — зірок, туманностей, галактик, планет. Потік даних, які він щоденно накопичує в процесі спостережень, становить близько 15 Гб. Загальний їх об'єм, накопичений за весь час роботи телескопа, перевищує 20 терабайтів. Більше 3900 астрономів мали можливість використовувати цей телескоп для спостережень, за результатами опубліковано близько 4000 статей у наукових журналах. Встановлено, що у середньому індекс цитування астрономічних статей, написаних на основі даних телескопа, у два рази більший, ніж статей з результатами обробки інших даних. Щорічно у списку з

200 найбільш цитованих статей не менше 10% займають роботи, які виконані на основі матеріалів «Хаббла».



**Стовпи творіння**, один з найвідоміших знімків, отриманих телескопом. Це область у Туманності Оріона, де формуються нові зірки.

### **Найбільш значимі спостереження**

- За допомогою вимірювання відстаней до цефеїд у сузір'ї Діви було уточнено значення сталої Хаббла. До спостережень орбітального телескопа помилка визначення постійною оцінювалася у 50%, а спостереження дозволили підвищити точність до 10%.
- «Хаббл» надав високоякісні зображення зіткнення комети Шумейхера-Леві 9 з Юпітером у 1994р.
- Вперше отримано карти поверхні Плутона та Еріди.
- Вперше спостерігалися ультрафіолетові полярні сяйва на Юпітері та Ганімеді.
- Знайдено велику кількість протопланетних дисків навколо зірок у Туманності Оріона. Доведено, що процес формування планет відбувається навколо більшості зірок у нашій Галактики.
- Частково підтверджено теорію про надмасивні чорні дірки у центрах галактик, на основі спостережень висунуто гіпотезу про залежність маси чорних дірок від характеристик галактик.
- За даними спостережень квазарів отримано сучасну космологічну модель Всесвіту, згідно якої він розширюється з прискоренням і заповнений темною енергією; уточнений вік Всесвіту становить 13,7 млрд. років.
- Виявлено наявність еквівалентів гамма-спалахів у оптичному діапазоні
- У 1995р. «Хаббл» провів дослідження ділянки північного неба (Hubble Deep Field) розміром в одну тридцятимільйонну площі неба, яка містить декілька тисяч слабких галактик. Порівняння цієї ділянки з іншими, розташованими в південній частині неба (Hubble South Deep Field), підтвердило гіпотезу про ізотропність Всесвіту.
- У 2004р. було сфотографовано ділянку неба (Hubble Ultra Deep Field) з ефективною експозицією близько  $10^6$  секунд (11,3 діб), що дозволило продовжити вивчення віддалених галактик аж до епохи утворення перших зірок. Вперше було отримано зображення протогалактик, перших згустків матерії, які сформувалися менше ніж через мільярд років після Великого Вибуху.

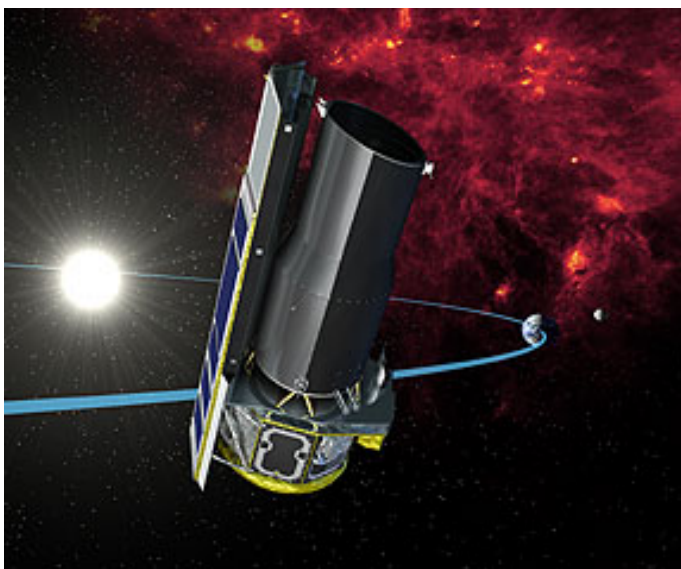
Крім того, Інститут космічного телескопа підтримує декілька веб-сайтів із зображеннями і вичерпною інформацією про телескоп ([www.stecf.org](http://www.stecf.org), [www.spacetelescope.org](http://www.spacetelescope.org), [www.esa.int](http://www.esa.int)).

Передбачається, що «Хаббл» пропрацює на орбіті до 2013 р., а тоді його змінить космічний телескоп «Джеймс Вебб».

## Космічний телескоп Spitzer

Космічний інфрачервоний телескоп Spitzer було запущено у космос ракетою Delta з мису Канаверал, Флорида, 25 серпня 2003р. Spitzer отримує зображення і спектри в інфрачервоному діапазоні з довжинами хвиль 3 і 180 мікрон. Більшість з цього інфрачервоного випромінювання блокується земною атмосферою, що унеможливило спостереження у цьому діапазоні з поверхні Землі.

*Credit: NASA/JPL-CALTECH*



Spitzer має діаметр 0.85м. Це найбільший інфрачервоний телескоп, що його було коли-небудь запущено у космос. Його високочутливі інструменти надають нам унікальний вид Всесвіту в невидимому діапазоні довжин хвиль, прихованому від оптичних телескопів. Багато областей простору наповнені величезними щільними хмарами газу і пилу. Інфрачервоне випромінювання може проникати крізь ці хмари, дозволяючи бачити області утворення зірок. Інфрачервоне випромінювання також приносить нам інформацію про планети навколо інших зірок, про гігантські молекулярні хмари. Багато молекул у космосі, зокрема органічні молекули, залишають свої сліди в інфрачервоній області.

Телескоп повинен бути охолоджений до температури, близької до абсолютного нуля (мінус 273 градуси за шкалою Цельсія), щоб виключити інфрачервоне випромінювання самого телескопа. Крім того, телескоп повинен бути захищений від тепла Сонця і інфрачервоного випромінювання Землі. Щоб добитися цього, Spitzer обладнано спеціальним щитом.

Spitzer буде завершальною місією NASA - сімейства чотирьох орбітальних обсерваторій, які ведуть спостереження Всесвіту в різних діапазонах довжин хвиль (видимий, рентгенівський, гамма- та інфрачервоний діапазони). Spitzer забезпечить учених інформацією, яка допоможе зрозуміти походження та еволюцію галактик, зірок і планет.

## Гамма-Обсерваторія Compton

Обсерваторія NASA Compton була найважчим астрофізичним інструментом з тих, які коли-небудь літали в космос. Її було виведено на орбіту 5 квітня 1991 р. космічним човником Атлантіс і повернуто на Землю 4 червня 2000 р. Compton мав чотири інструменти, які досліджували електромагнітний спектр у гамма-діапазоні від 30 кеВ до 30 геВ. Обсерваторію було названо на честь Артура Комптона, лауреата Нобелівської премії з фізики, який досліджував розсіювання фотонів високих енергій електронами.



Гамма-Обсерваторія Compton

### **Інструменти**

- Монітор всього неба для дослідження гамма-спалахів у діапазоні 20-600 кеВ. Інструмент виявив приблизно 2700 гамма-спалахів.
- Телескоп для побудови зображення ділянок неба в діапазоні 0.75 – 30 МеВ. Інструмент побудував карту неба в лінії випромінювання алюмінію.
- Телескоп для визначення координат гамма-спалахів. Інструмент завершив найповніший огляд галактичного центру і виявив можливу "хмару" антиречовини.

### **Деякі результати**

Гамма-спалах 23 січня 1999 р. було зафіксовано обсерваторією Compton. Він був одним з найяскравіших спалахів, що супроводжуються оптичним післясвітінням. Це дозволило астрономам заміряти відстань до об'єкту, вона становить 4.5 мільйона парсек. Енергія вибуху в гамма-променях дорівнює конверсії речовини приблизно двох сонячних мас в енергію. На малюнку наведено знімок післясвітіння спалаху, одержаний телескопом Хаббла.

