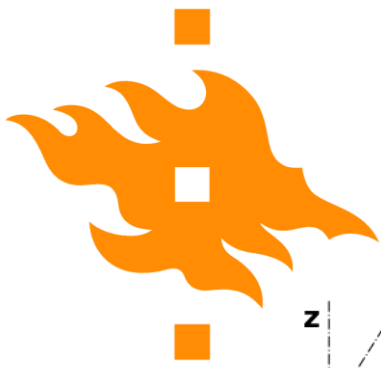




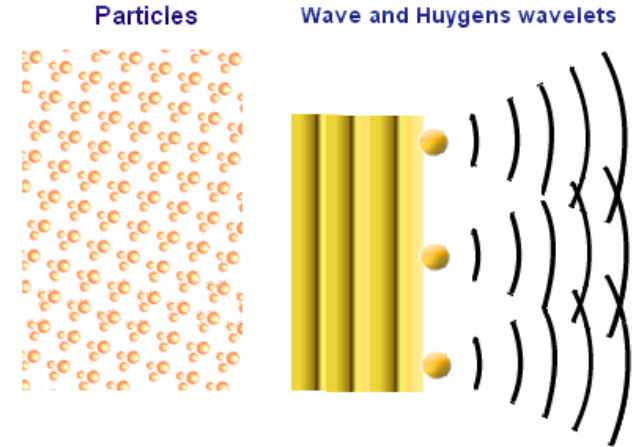
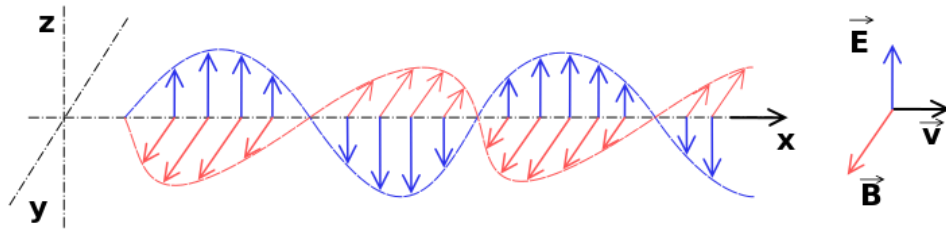
Universum nu

3. Astronomiska observationer

Universum nu, 26.1 2024, TH & KK

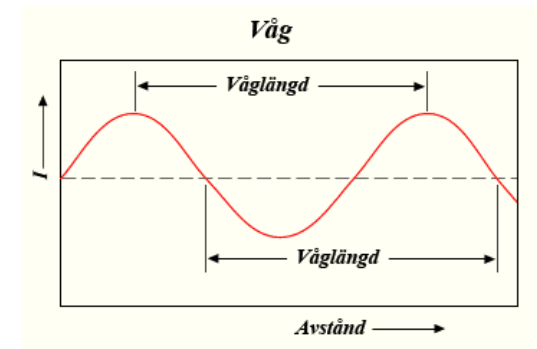


3.1 Elektromagnetisk strålning



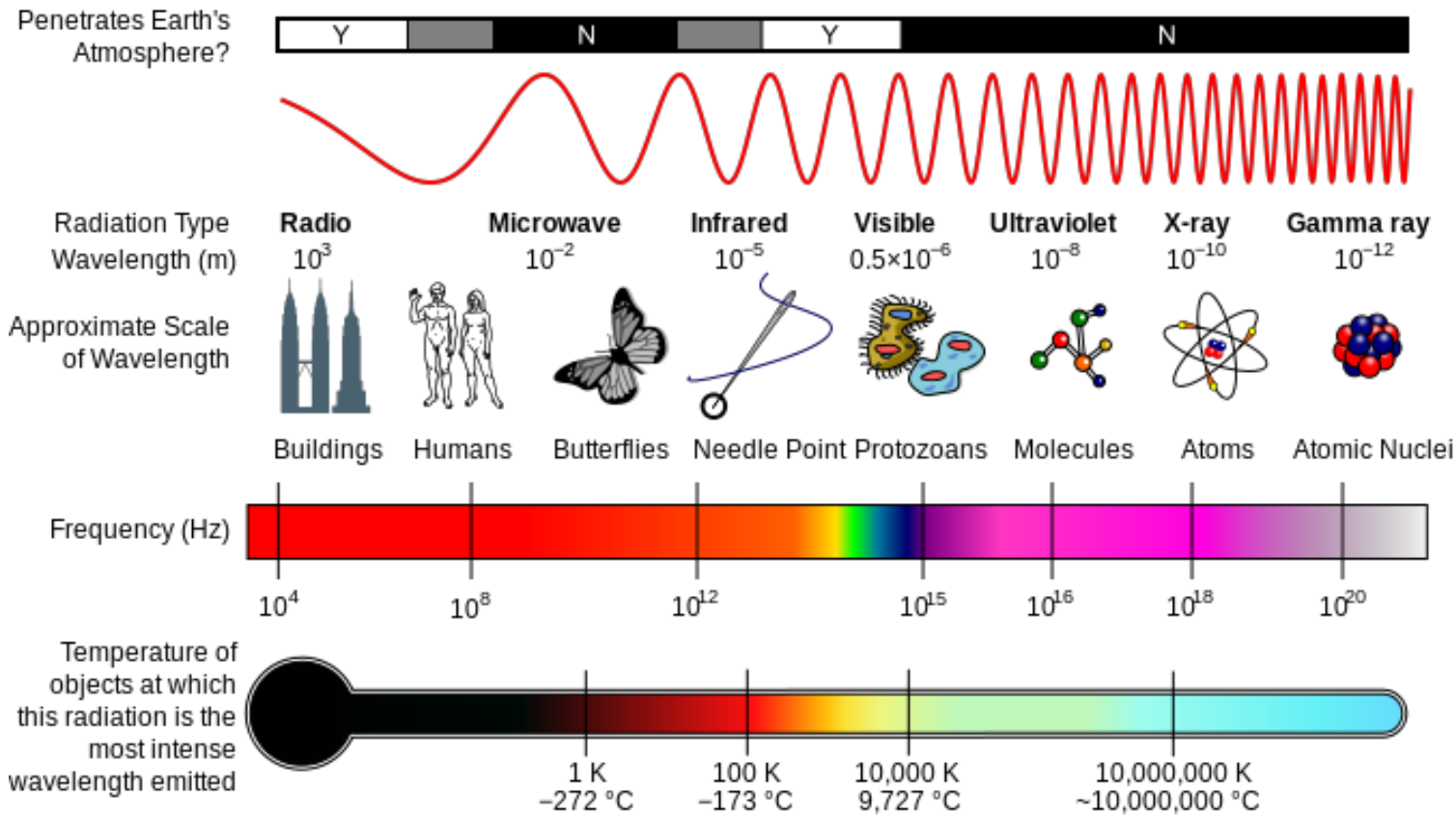
- Astronomiska observationer: Huvudsakligen elektromagnetisk strålning
- Elektromagnetiska strålningens duala natur
 - Vågrörelse, elektromagnetisk våg
 - Energipartikel, *foton*
- Egenskaper: *energi* E , *frekvens* f och *våglängd* λ
 - $c = \lambda \cdot f$, där $c \sim 3 \times 10^8$ m / s (ljusets hastighet i vakuum)
 - Strålningens *energi*: $E = h \cdot f$, där h är *Plancks konstant* ($\sim 6.63 \times 10^{-34}$ m² kg / s)

Light as Particles and wave



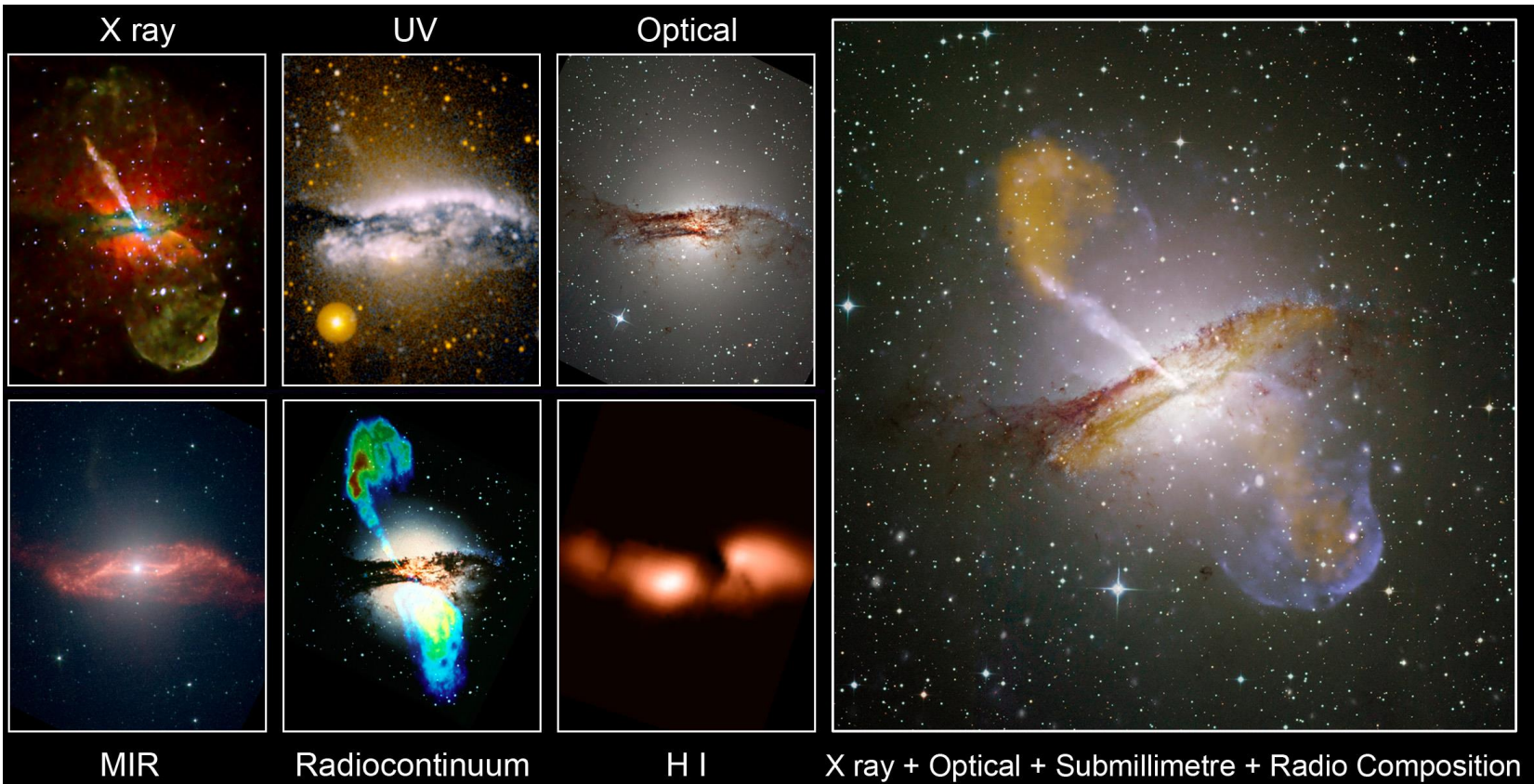


3.2 Elektromagnetiska spektret





3.2 Elektromagnetiska spektret

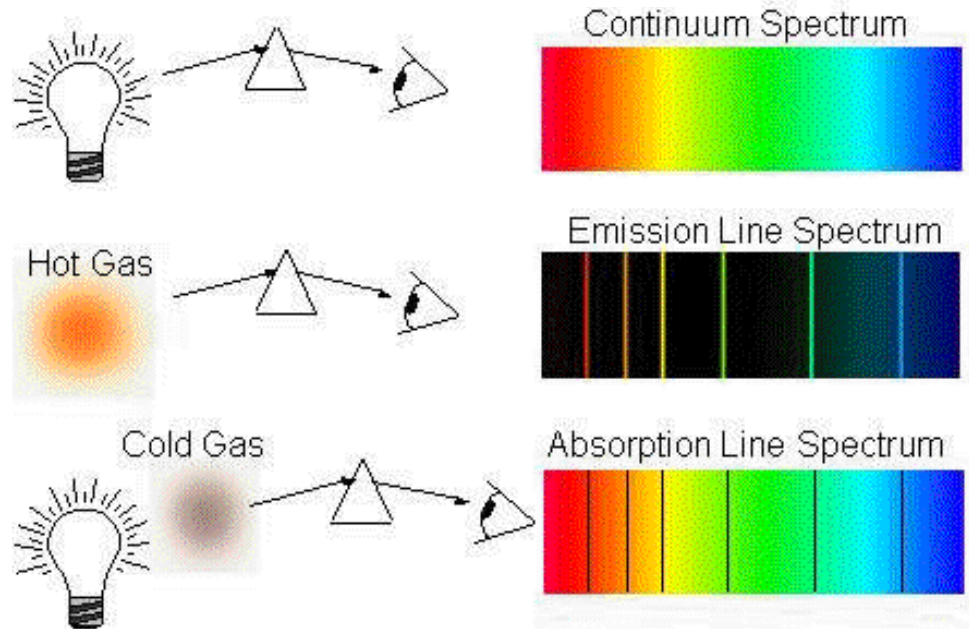
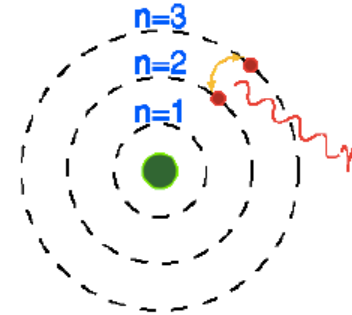


Olika våglängder avslöjar olika egenskaper av samma objekt (Centaurus A)
<=> Olika metoder och instrument för olika våglängdsområden



3.3 Absorption och emission

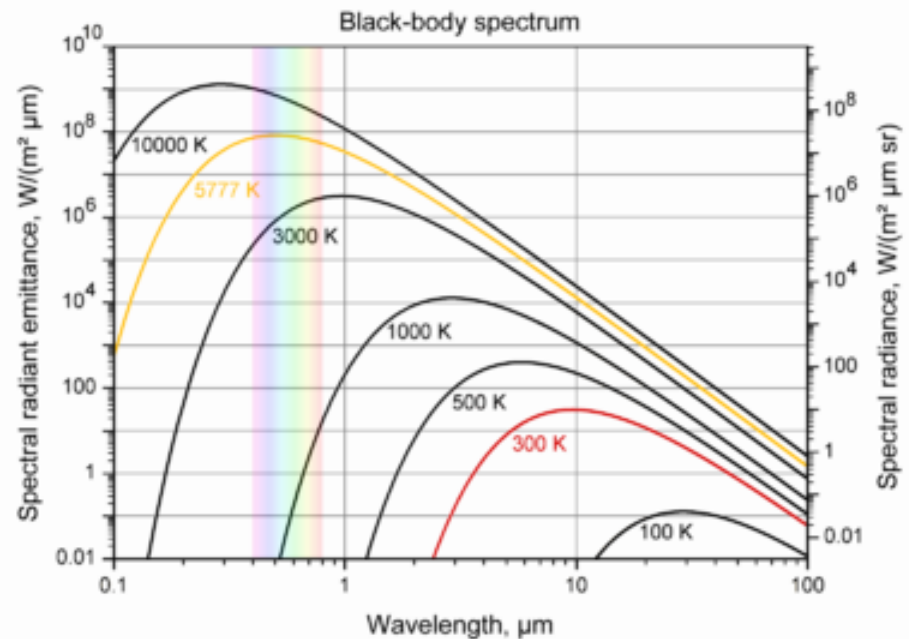
- Elektromagnetisk strålning \Leftrightarrow förändringar av materiens energitillstånd
- Strålning växelverkar genom:
 - *Emission* - materia avger strålning
 - *Absorption* - strålning upptas av materia
- Strålning kan bestå av *spektrallinjer* och/eller *kontinuum*
- Övergångar mellan diskreta energinivåer ger spektrallinjer
- Spektrallinjer: "fingeravtryck" för olika ämnen





3.4 Svartkropsstrålning

- *Svartkroppar* varken reflekterar eller sprider den strålning som träffar dem:
 - Absorberar all strålning
 - Re-emitterar ett kontinuum-spektrum som bara beror på temperaturen
 - Plancks strålningslag
- Viktig inom astronomin, t.ex. stjärnor följer i stort sett Plancks strålningslag





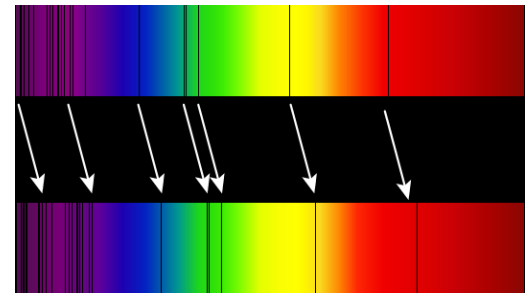
3.5 Dopplereffekten

- En kropp rör sig i förhållande till observatorn => våglängden på dess strålning ändras
- Strålningens dopplerförskjutning \Leftrightarrow ljuskällans radiella hastighet.
- För hastigheter mycket mindre än ljusets gäller:

$$\Delta\lambda = \frac{v}{c}\lambda_0,$$

där λ_0 = "vilovåglängden", v = hastigheten i förhållande till observatorn och c = ljusets fart. Om v närmar sig c måste man använda den relativistiska formeln

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} - 1$$





3.6 Magnitud

- Ljusstyrkan inom astronomin mäts ofta som magnituder
- $m = -2.5 \lg \frac{F}{F_0}$, där F är objektets energiflöde och F_0 det flöde som ger $m=0$
- Logaritmisk skala \Leftrightarrow motsvarar ögats förnimmelse
- Större ljusstyrka \Leftrightarrow lägre magnitud

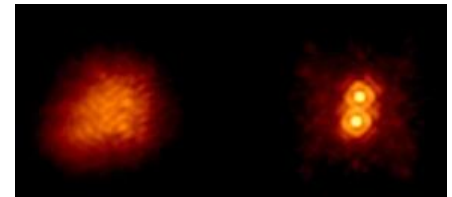


3.7 Teleskop

- Före 1600-talet gjordes alla observationer med blotta ögat
- Teleskop har större öppning än ögats pupill
 - => samlar mera ljus
 - => ljussvagare objekt kan observeras
- Teleskopets upplösningförmåga berättar hur små detaljer kan utskiljas
 - Ett stort teleskop har bättre upplösningförmåga än ett litet
 - Den teoretiska upplösningförmågan i radianer ges av:

$$\theta \approx 1.22\lambda/D \sim \lambda/D.$$

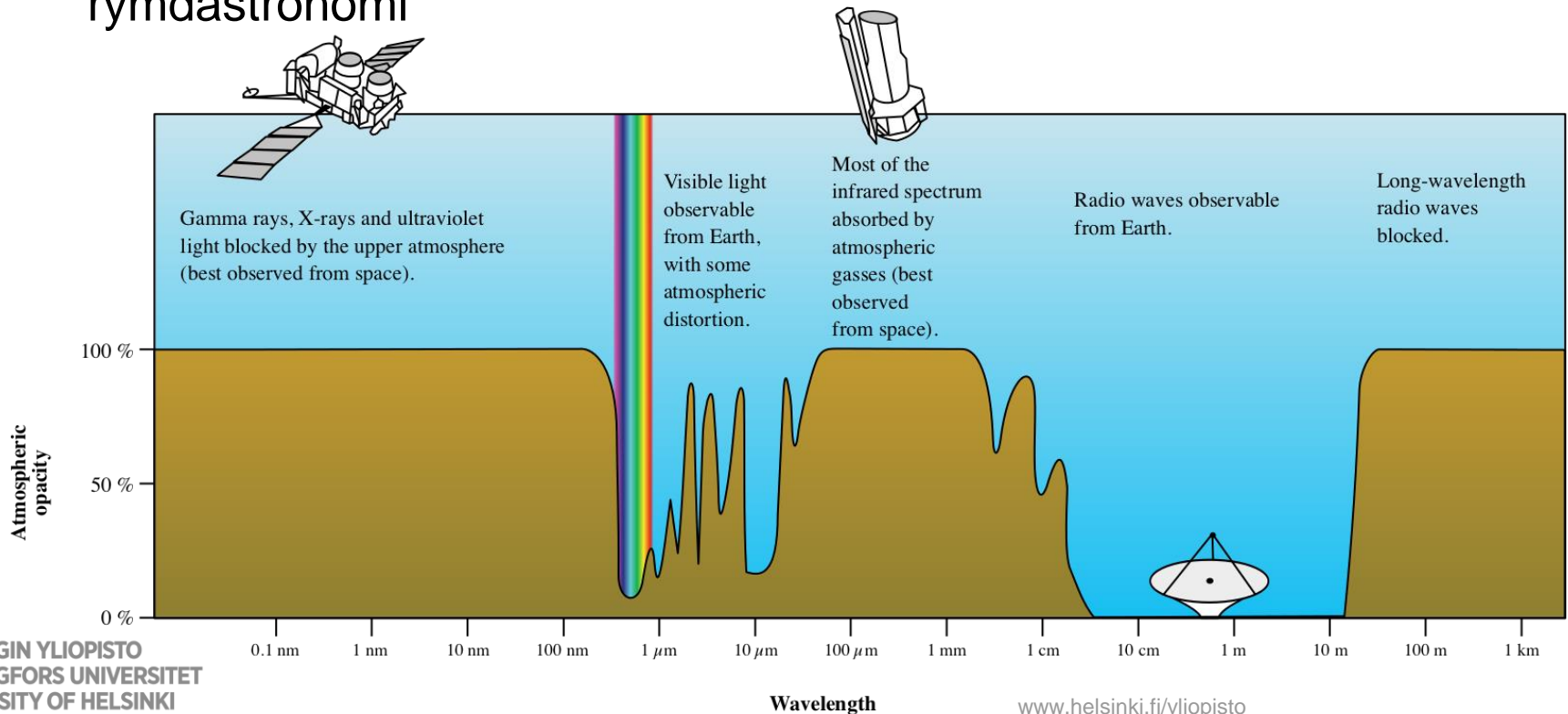
D är teleskopets objektivs diameter (= "öppningen") och λ är våglängden.





3.8 Atmosfärens inverkan på observationer

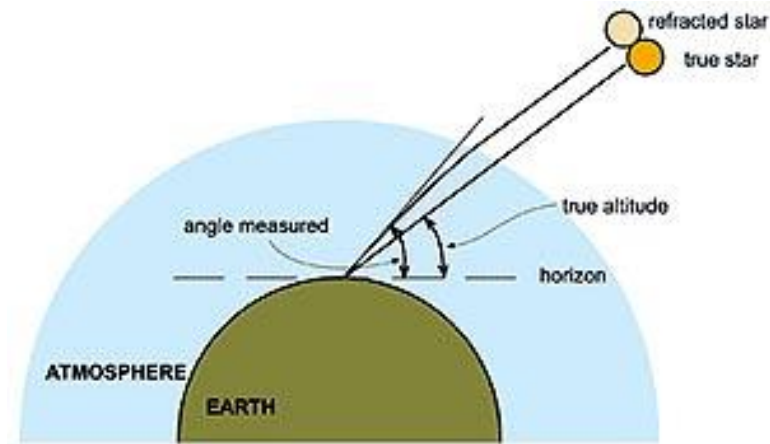
- Atmosfären absorberar nästan all strålning
 - "Fönster" i synligt ljus ~ 300 – 800 nm och radiovågor ~ 1 mm – 15 m
 - Observationer i andra våglängdsområden => teleskop i rymden => rymdastronomi



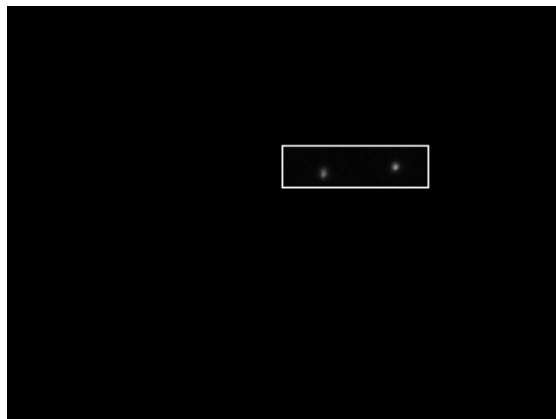
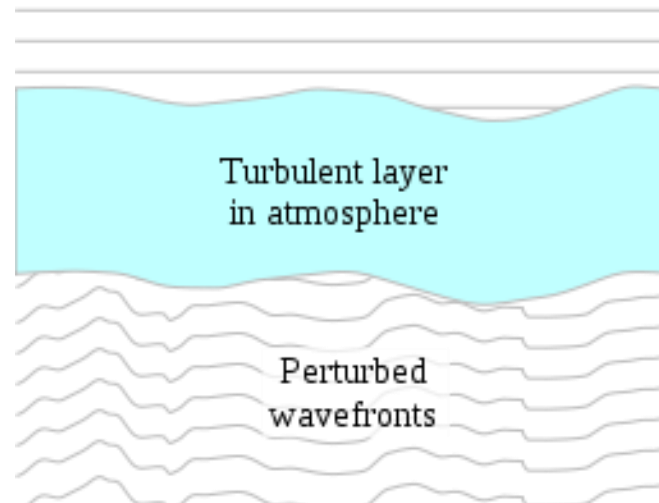


3.9 Atmosfärens inverkan på observationer

- Atmosfären bryter strålning, *refraktion*
 - Ljuset ser ut att komma från en annan riktning
- Turbulens i atmosfären får stjärnors ljus att blinka (*scintillation*)
 - En punkt breddas till en diffus skiva i ett teleskop: *seeing*
 - => verkliga upplösningförmågan sämre än den teoretiska

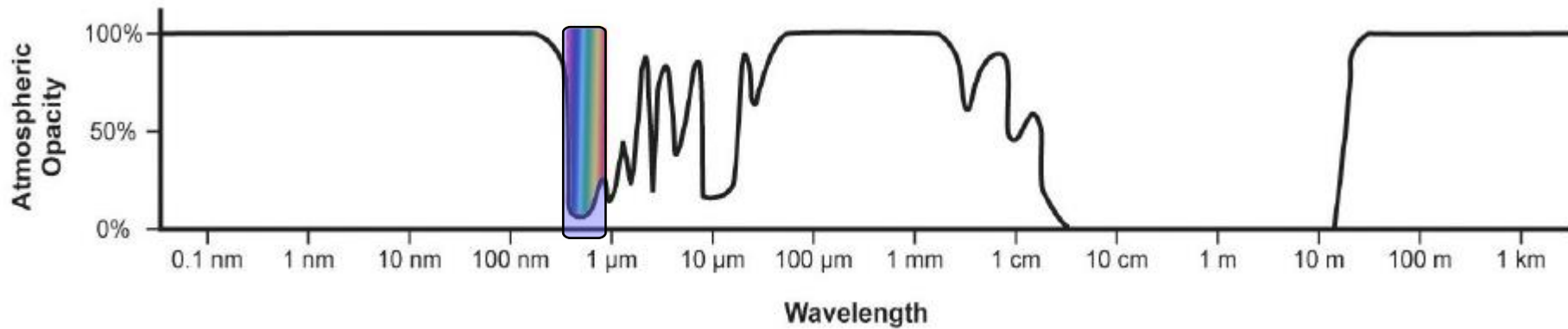


Plane waves from distant point source





3.10 Optisk astronomi

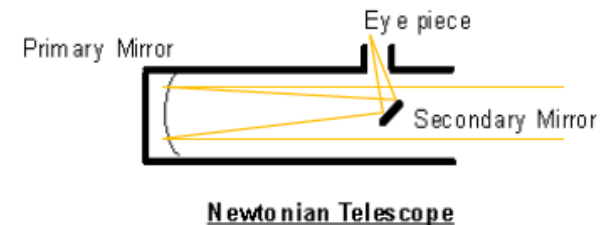
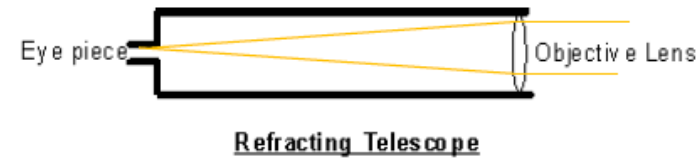




3.10.1 Optiska teleskop



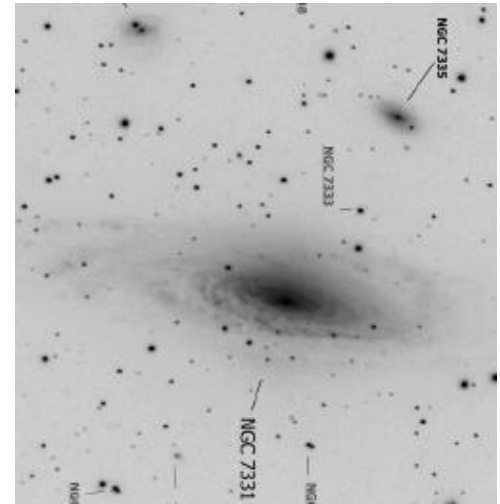
- **Refraktorer** eller linsteleskop
 - Linser fokuserar bilden.
 - Bilden studeras genom ett okular, som bestämmer förstoringen
 - Problem: begränsat synfält, lång konstruktion, bildfel
 - Största refraktorn Yerkes' teleskopet $D = 1.02$ m, brännvidd 19,4 m
- **Reflektorer** eller spegelteleskop
 - Ljuset samlas av en konkav primär spegel och riktas oftast till detektorn med en sekundärspegel
 - Olika lösningar, t.ex. **Newton** och **Cassegrain**
- Optiken kräver noggrannhet på ca 0.1λ , där λ är våglängden som observeras
- Alla stora teleskop är spegelteleskop





3.10.2 Optiska detektorer

- Fotografering fr.o.m. slutet av 1800-talet
- Fotometrar fr.o.m. mitten av 1900-talet
- **CCD-kamera** (Charge Coupled Device)
 - Togs i bruk under 1970-talet
 - Linjär respons
 - Registrerar nästan 100 % av de optiska fotoner som träffar detektorn

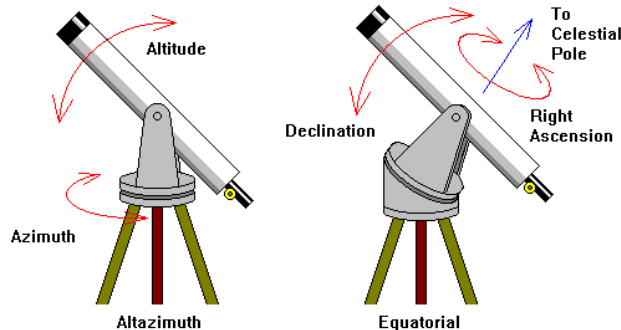
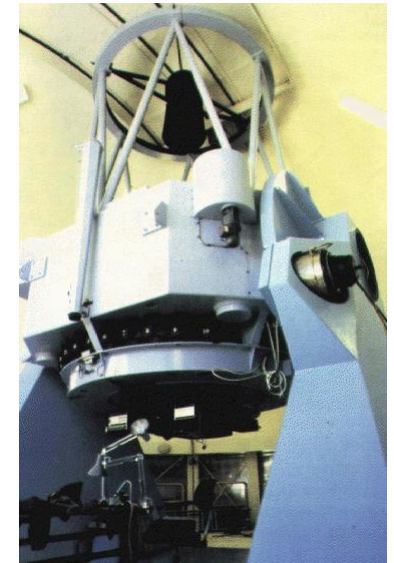
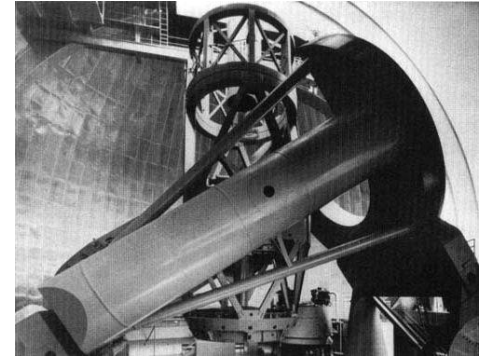


Galaxen NGC 7331
fotograferad med glasplåt
och CCD



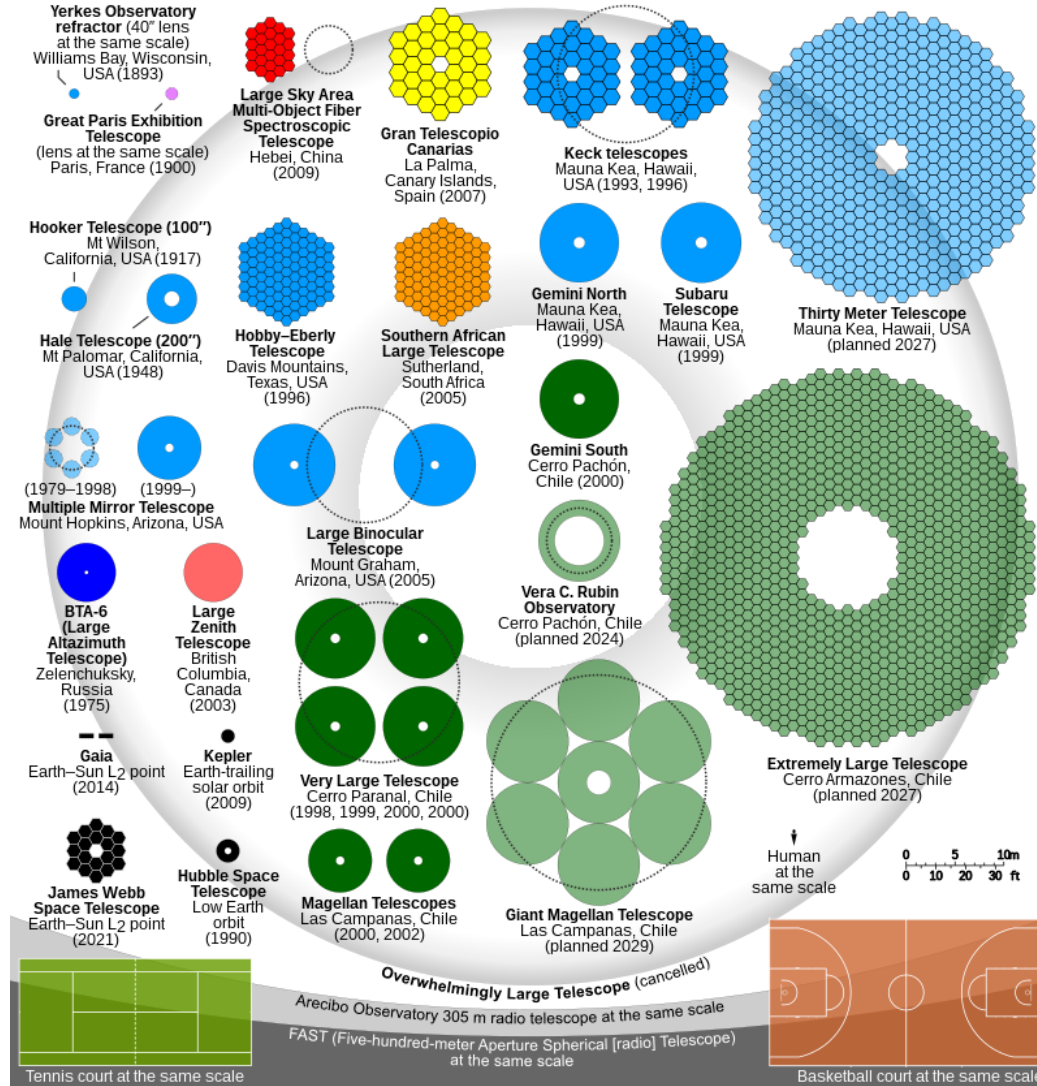
3.10.3 Teleskopmontering

- *Ekvatoriell montering*
 - Polar- och deklinationsaxel
 - Polaraxeln parallell med jordens rotationsaxel
 - Lätt att följa ett objekts rörelse på himmelen
- *Altazimutal montering*
 - Horizontal- och vertikalaxel
 - Måste justeras i både höjd- och sidled för att följa objekt
 - Används oftast i moderna teleskop med datorstyrning





3.10.4 Stora optiska teleskop





3.10.5 Internationella observatorier

- Teleskop för forskning sköts och finansieras oftast via internationella sammanslutningar
- Finland är med i t.ex.
 - *Europeiska sydobservatoriet ESO*: Optiska- och radioteleskop i Chile
 - *Europeiska rymdstyrelsen ESA*: Rymdteleskop för olika våglängdsområden, mycket samarbete med t.ex. *NASA*
 - *Nordiska optiska teleskopet NOT*: 2,6m:s optiskt teleskop på La Palma, Kanarieöarna





Uppgift

- Notis från Vetenskapsrådet (Sverige) den 27 april 2010:
 - *Den 26 april beslutade styrelsen för Europeiska Sydobservatoriet (ESO) att det planerade teleskopet E-ELT ska placeras på Cerro Armazones. Berget är 3 064 meter högt och ligger i Atacamaöknen i Chile, omkring 2 mil (20 km) från Cerro Paranal där ESO:s Very Large Telescope är placerat.*
 - Vilka faktorer kan ha inverkat på placeringsbeslutet?

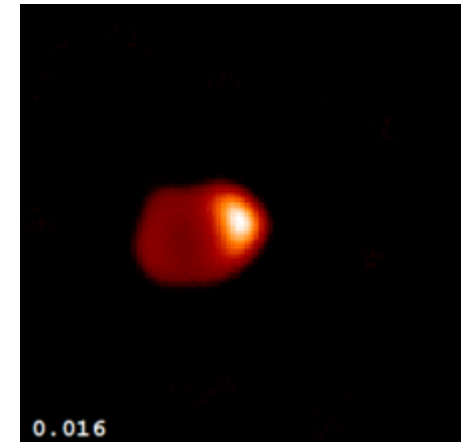
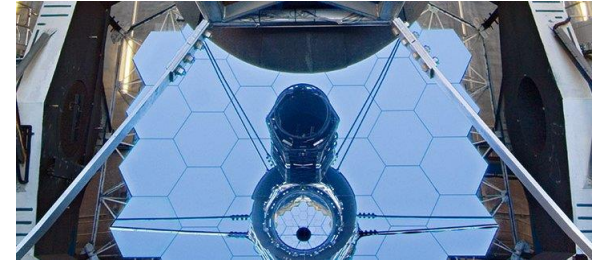


Storleksjämförelse
mellan E-ELT och
VLT teleskopen
samt Colosseum



3.10.6 Ny teknologi

- *Mosaikteleskop* – Primärspegeln består av flera små hexagonala segment
- *Aktiv optik* – Primärspegelns form justeras för att korrigera för störningar p.g.a. t.ex. vridningar i teleskopet
- *Adaptiv optik* – Korrigering av snabbt varierande störningar som turbulens i atmosfären
- *Interferometri* – Flera teleskop kombineras för att öka upplösningsförmågan, ex.: *CHARA, VLT-I, LBT* ...



Algol avbildad med CHARA

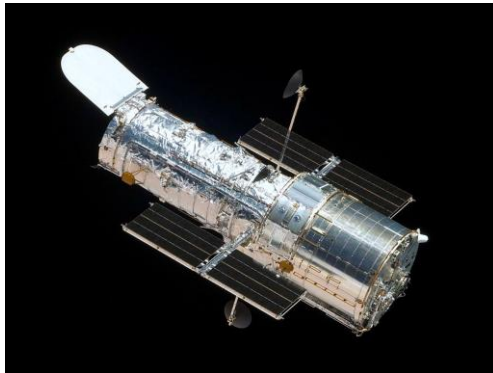


3.10.7 Rymdteleskop

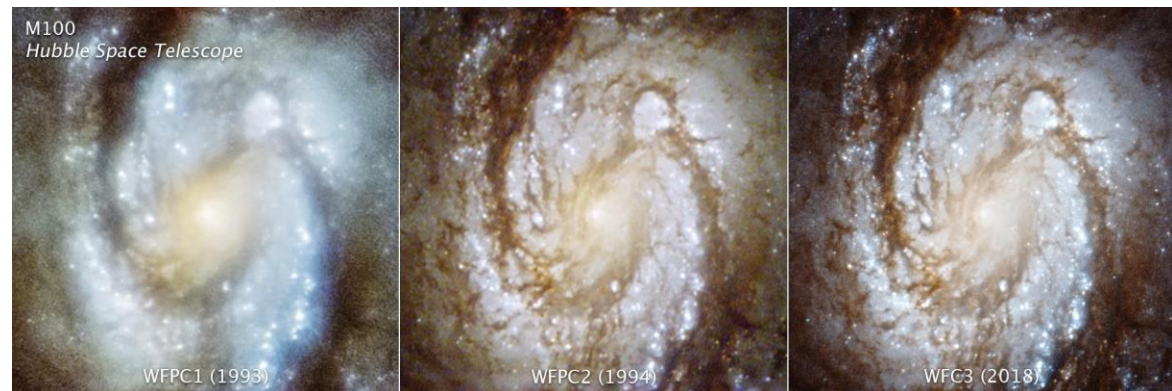
- Inga atmosfäriska störningar => uppnår den teoretiska upplösningförmågan
- Omloppsbanan kring jorden eller s.k. *Lagrange*-punkterna
 - T.ex. *Hubble Space Telescope*, *Kepler*, *Gaia*, *TESS*, *Euclid*



Hubble
Space
Telescope

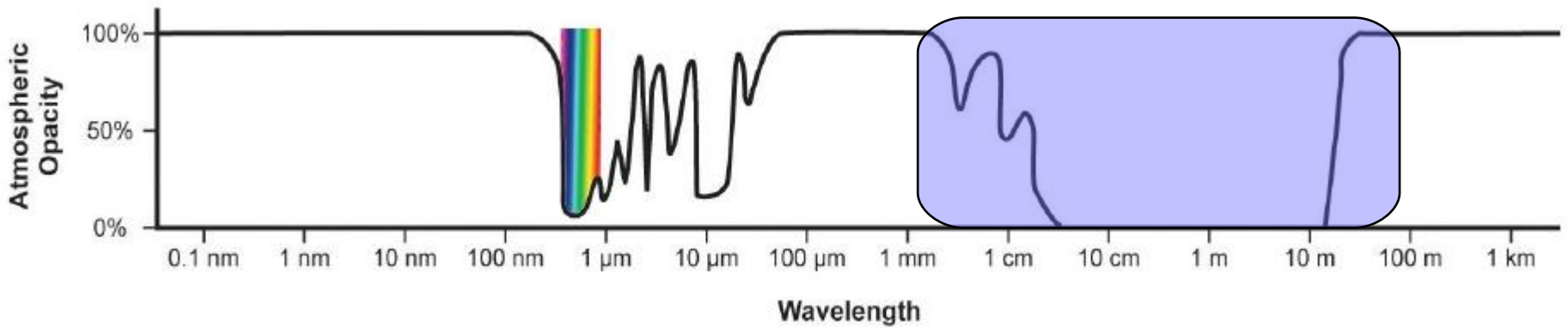


M100 avbildad med HST
1993, 1994 och 2018





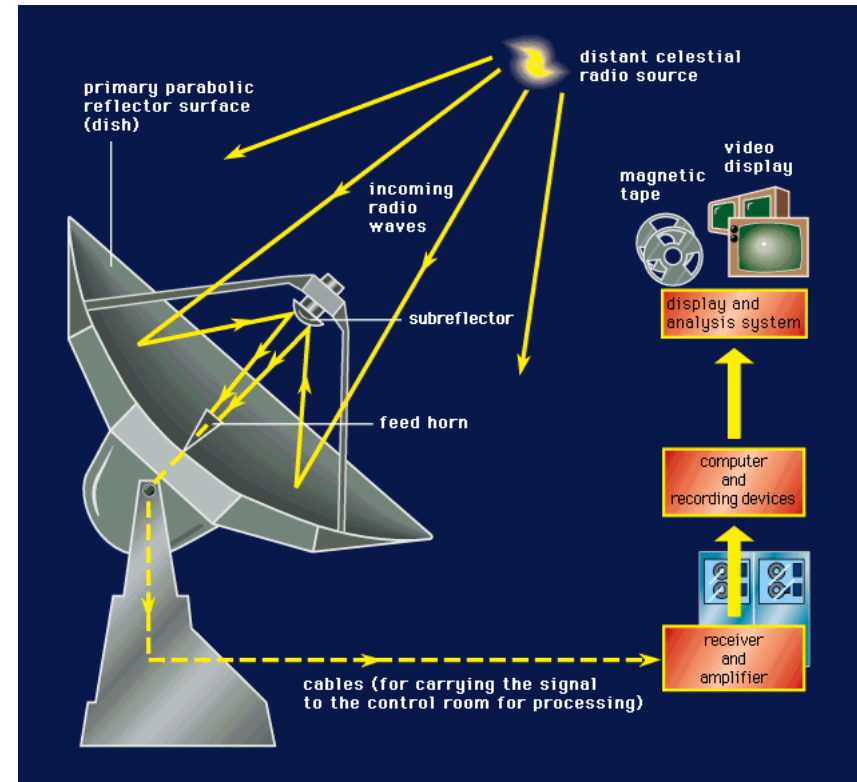
3.11 Radioastronomi



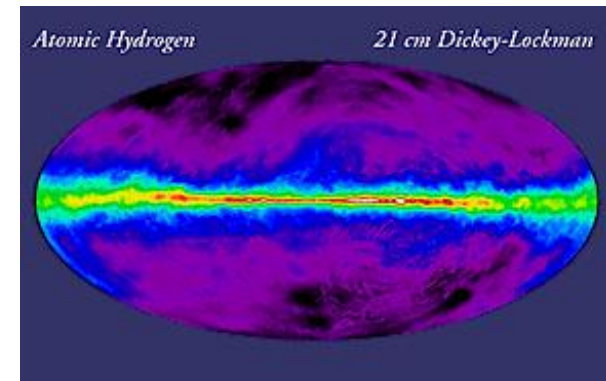
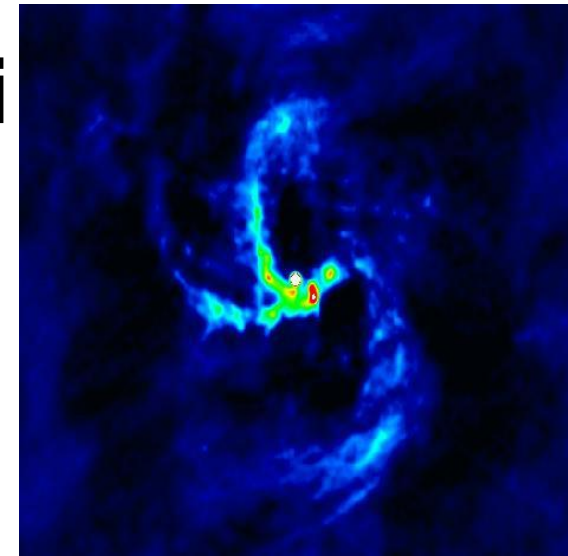
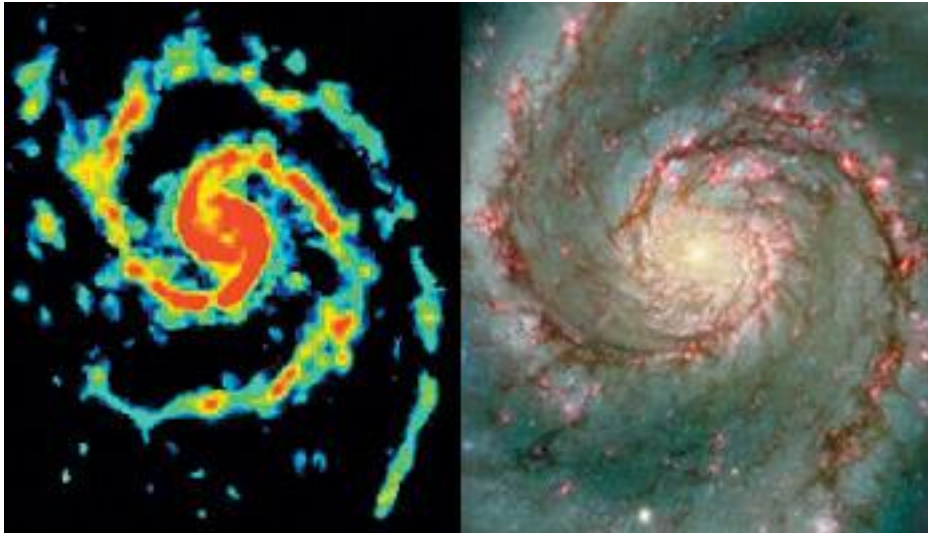


3.11.1 Funktionsprincip för radioteleskop

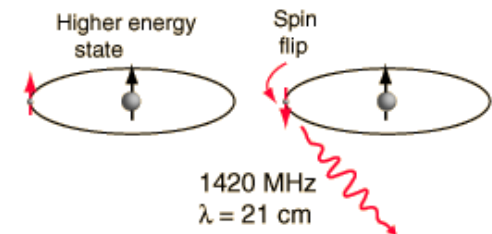
- Våglängd $\lambda \sim 1 \text{ mm} - 100 \text{ m}$
- Reflekterande ytan behöver inte vara lika noggrann som på optiska teleskop ($\sim 0.1 \lambda$)
=> radioteleskop kan byggas större än optiska teleskop
- Upplösningförmågan proportionell mot våglängden
=> krävs större system för bra upplösning



3.11.2 Radioastronomi



- Med radioteleskop undersöks bl.a.
 - Interstellär gas
 - Svarta hål i aktiva galaxer
 - Kosmiska bakgrundsstrålningen
- Vätets 21 cm strålning en viktig emissionslinje
- Numera också submm-området





3.11.3 Stora antenner



- *Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope (FAST)*, Guizhou Kina, 500m, 2016
- *Arecibo*, Puerto Rico, 300m; 1963-2020
- *Green Bank*, West Virginia USA, 100 m; 2000





3.11.4 Radiointerferometri

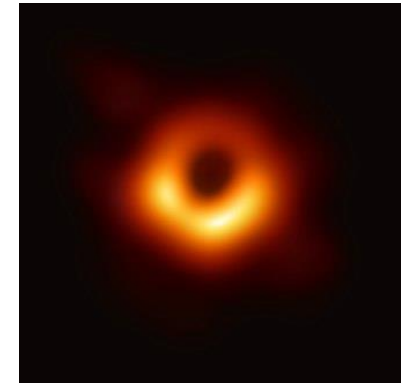


- Kombinera flera teleskop genom *apertursyntes* => längre *baslinje* => bättre upplösning förmåga
- *Very Large Array VLA*, 27 x 25 m, 3 x 21 km:s armar i "Y" form, New Mexico, USA; 1980 (2011)
- *Atacama Large Millimeter Array ALMA*, 66 x 7 - 12 m, Chile; 2011/2013





3.11.5 Global radiointerferometri



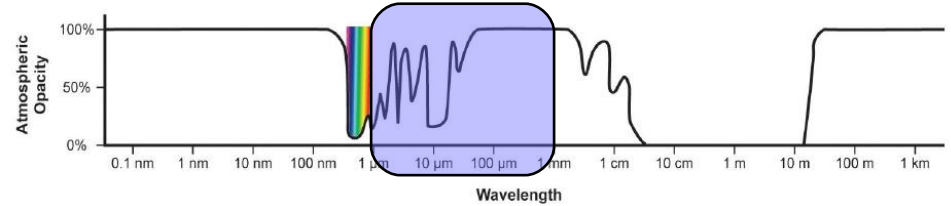
Event Horizon Telescope (2019)

Very Long Baseline Interferometry VLBI – Global interferometri, kombinera antenner i olika världsdelar => bättre upplösning än de bästa optiska teleskopen
VLBI användes för att rekonstruera den första "bilden" av ett svart hål.

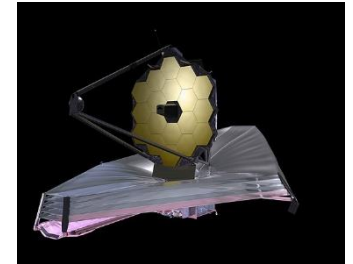


3.12 Infrarödastronomi

- Våglängd $\lambda \sim 700 \text{ nm} - 1 \text{ mm}$
- Absorberas huvudsakligen av vattenånga i atmosfären
- Vissa våglängder kan observeras från jorden
 - Submillimeter (radio)
 - Närinfraröd (optisk)
- Värmestrålning från relativt kalla objekt, t.ex., interstellär gas och unga stjärnor
- Möjligt att se igenom stoft som absorberar synligt ljus
- Rymdteleskop: **James Webb Space Telescope (JWST)**



SOFIA, 2010



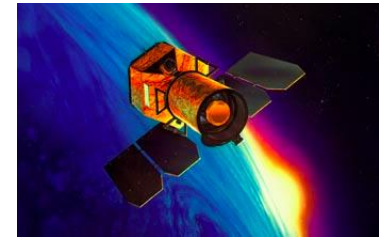
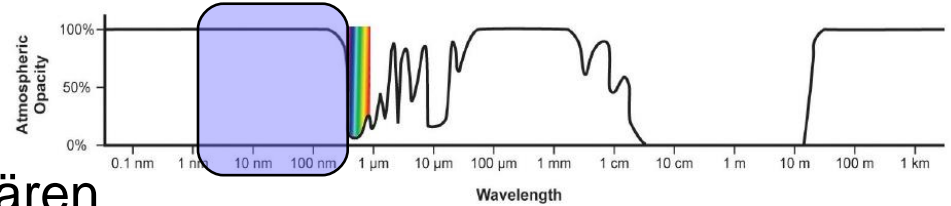
JWST,
2022



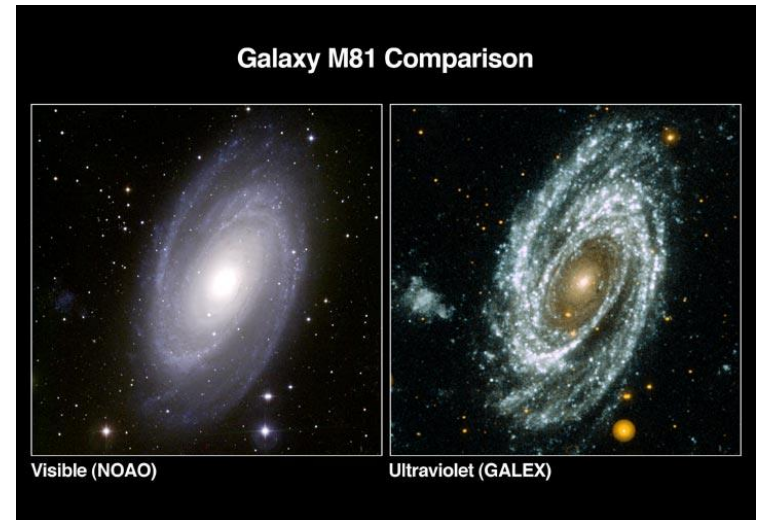


3.13 UV-astronomi

- Våglängd $\lambda \sim 10 \text{ nm} - 350 \text{ nm}$
- Absorberas av bl.a. O_3 i atmosfären
- Motsvarande metoder som i optisk astronomi
- Observationer av t.ex. heta stjärnor, galaxer med aktiv stjärnformation
- Väte och andra grundämnen har viktiga spektrallinjer på UV området
- UV rymdteleskop:
 - *Copernicus* (1972 – 1981)
 - *IUV* (1978 – 1998)
 - *Fuse* (1999 – 2007)
 - *Galex* (2003 – 2012)



Galex



Galaxy M81 Comparison

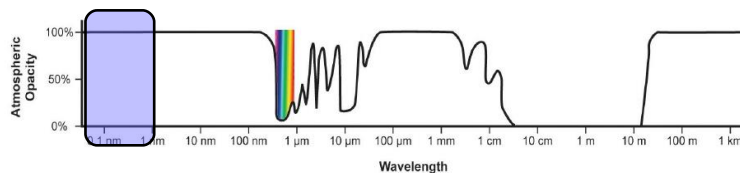
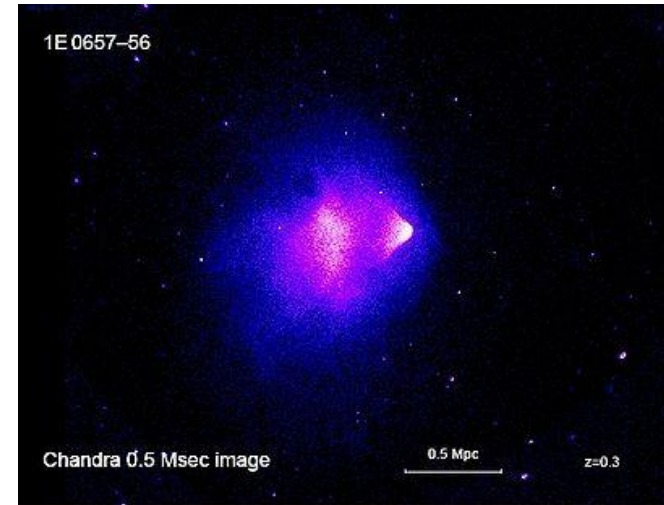
Visible (NOAO)

Ultraviolet (GALEX)



3.14 Högenergiastrofysik

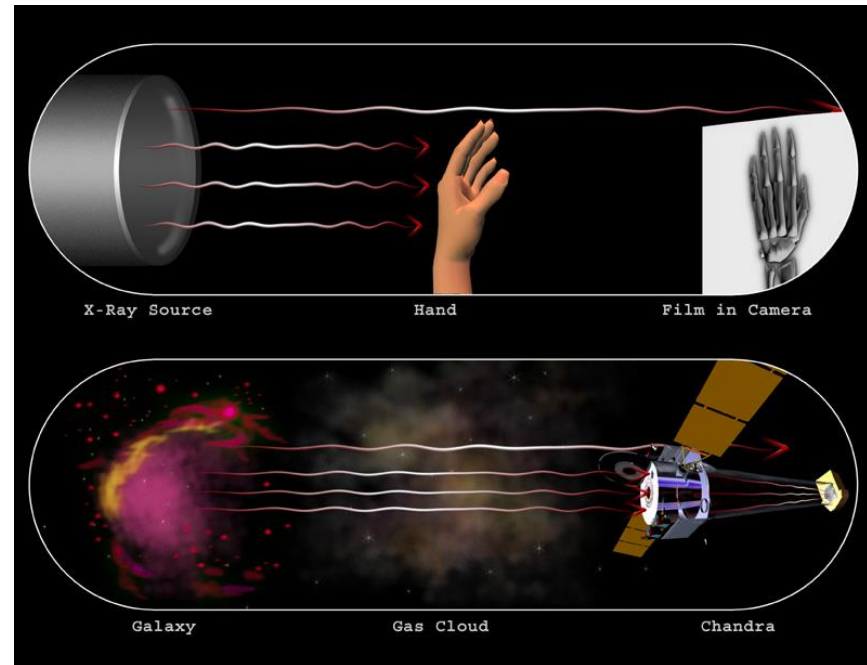
- Röntgen- och gamma-
astronomi, kosmiska
partiklar
- Högenergetiska
fenomen:
 - Aktiva galaxer
 - Galaxhopar
 - Kompakta stjärnor
 - Gammablixtar





3.14.1 Röntgenteleskop

- Våglängd $\lambda \sim 0,01 - 10 \text{ nm}$
- Röntgenfotoner absorberas lätt => spegelteleskop med strykande infall
- Röntgensatelliter
 - *NuSTAR*, 2012-
 - *XMM-Newton*, 2000-
 - *Chandra*, 1999-
 - *ROSAT*, 1990-99
 - *Einstein*, 1978-82



XMM-Newton
(ESA)





3.14.2 γ - och kosmiska strålar

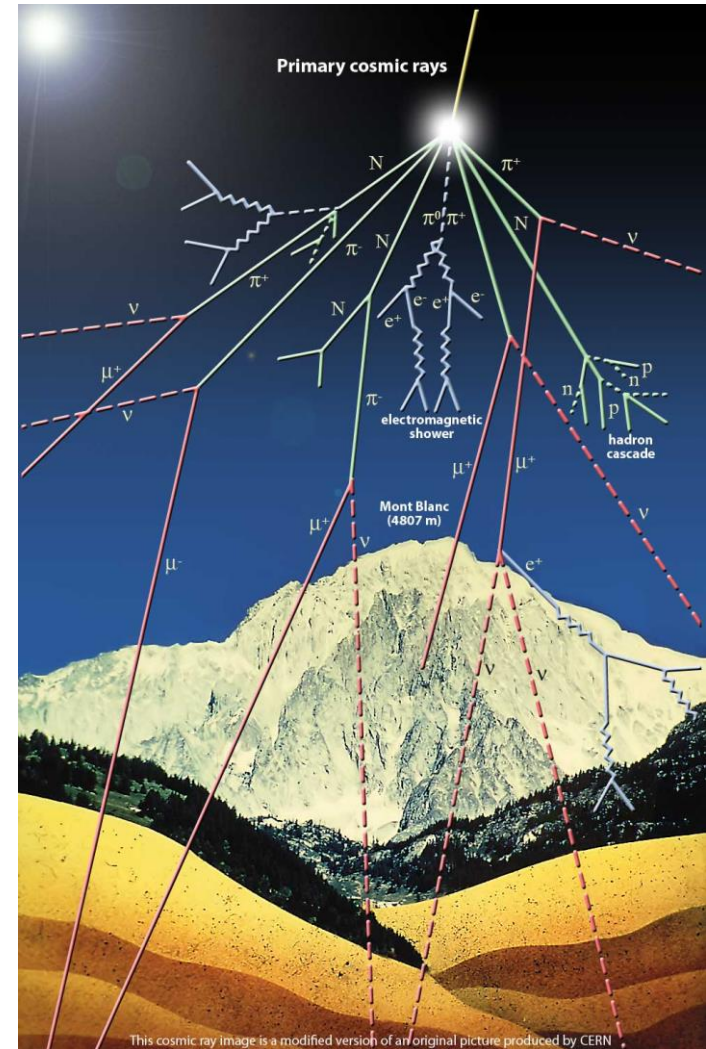
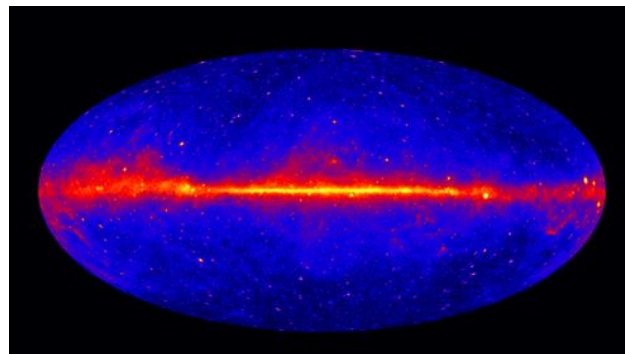
Gammastrålning

- Våglängd $\lambda < 0.01$ nm
- *Gammablixtar*
- *Fermi Gamma-ray Space Telescope (2008-)*

Kosmiska partiklar

- Främst högenergetiska protoner och atomkärnor
- Källor: Bl.a. solen och supernovor
- Energi $\sim 10^9 - 10^{21}$ eV
- Skapar problem för satelliter

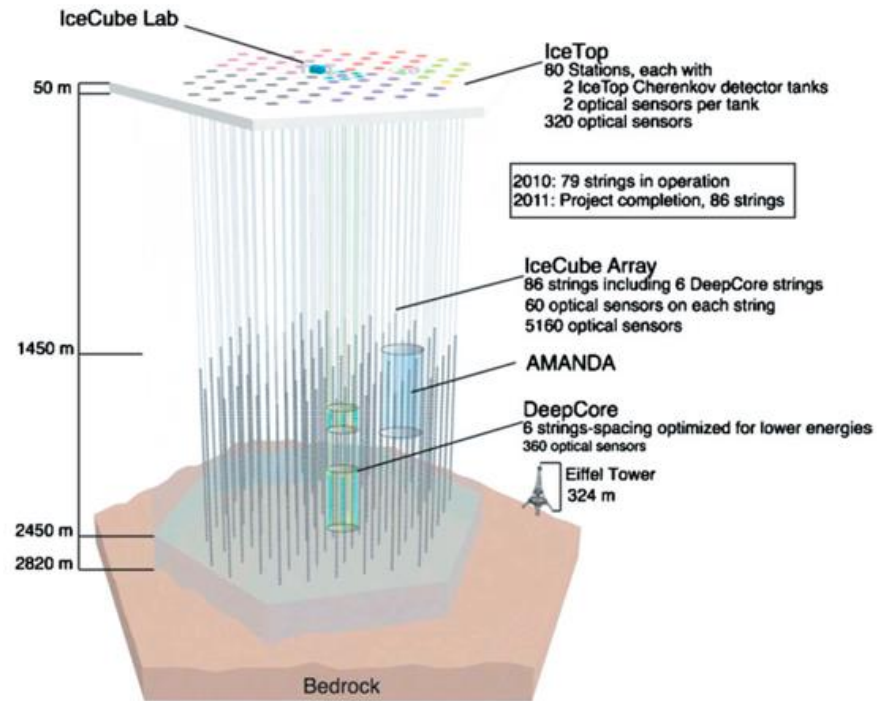
Fermis gamma-
bild (> 1 GeV)
över himlen
(NASA)





3.15 Neutrinoastronomi

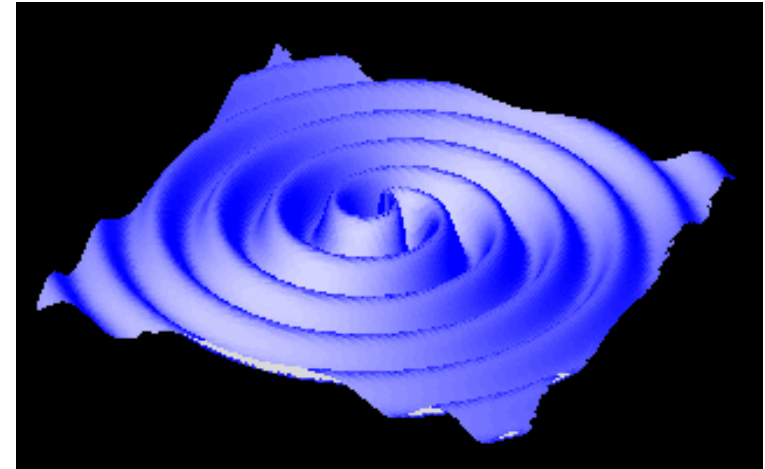
- *Neutrino* – elementarpartikel som växelverkar extremt svagt
- => mycket svåra att detektera
- Detektorer ofta väldiga vattenbassänger med ljusdetektorer: *Tjerenkovljus*
- Observationer av neutriner från solen och supernovor





3.16 Gravitationsvågor

- Minimala störningar i rum-tiden
- Avges av stora massor i snabb rörelse, t.ex. då två svart hål kolliderar
- Detekteras t.ex. med speglar vars avstånd ändras minimalt då en gravitationsvåg passerar
- Första detektionen med *LIGO* september 2015
- *Laser Interferometer Space Antenna (LISA, 2037)*



2-dimensionell projicering av gravitationsvågor (NASA/JPL)



Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)