

Optik och teleskop

Lektion 6

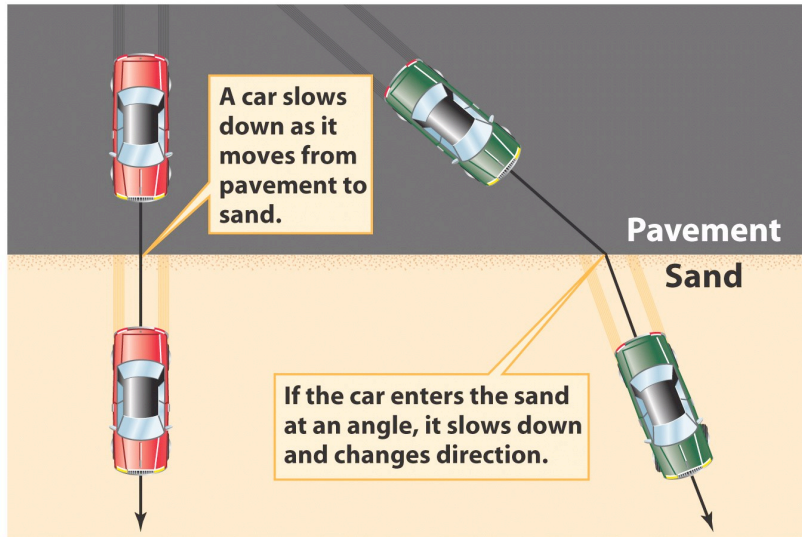


Teleskop

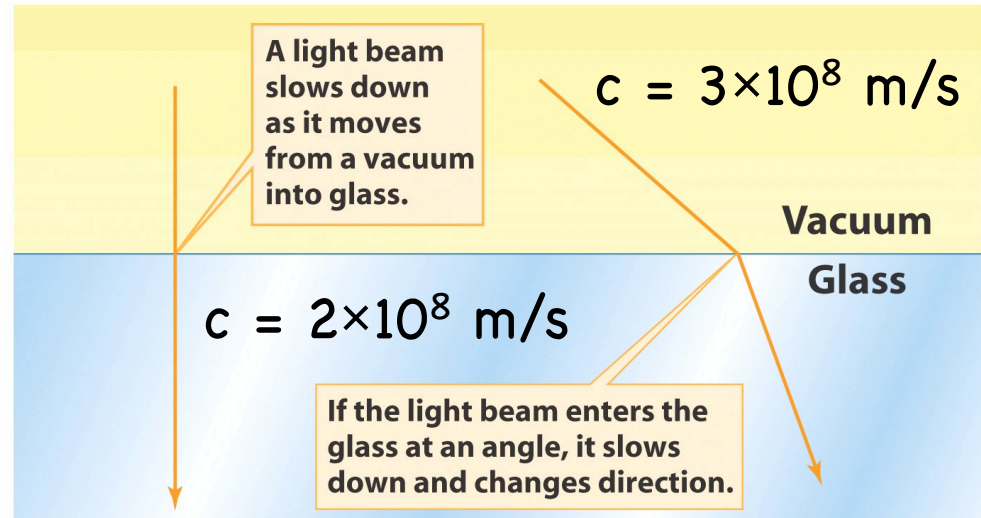
- Ett teleskop kan samla in mer ljus än det obeväpnade ögat
- I många fall används teleskop för att skapa bilder som är ofantligt mycket skarpare och ljusstarkare



Refraktion

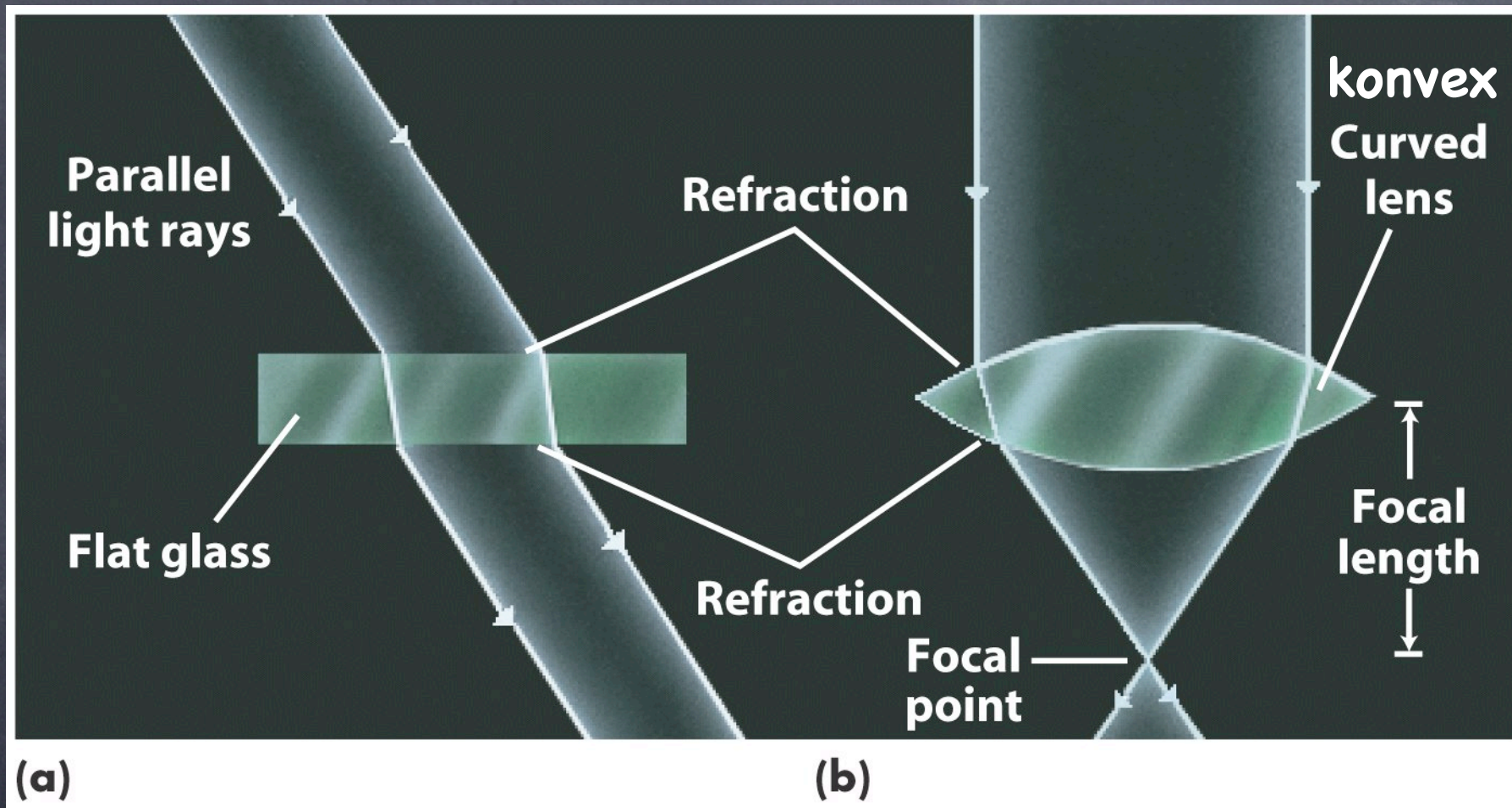


(a) How cars behave



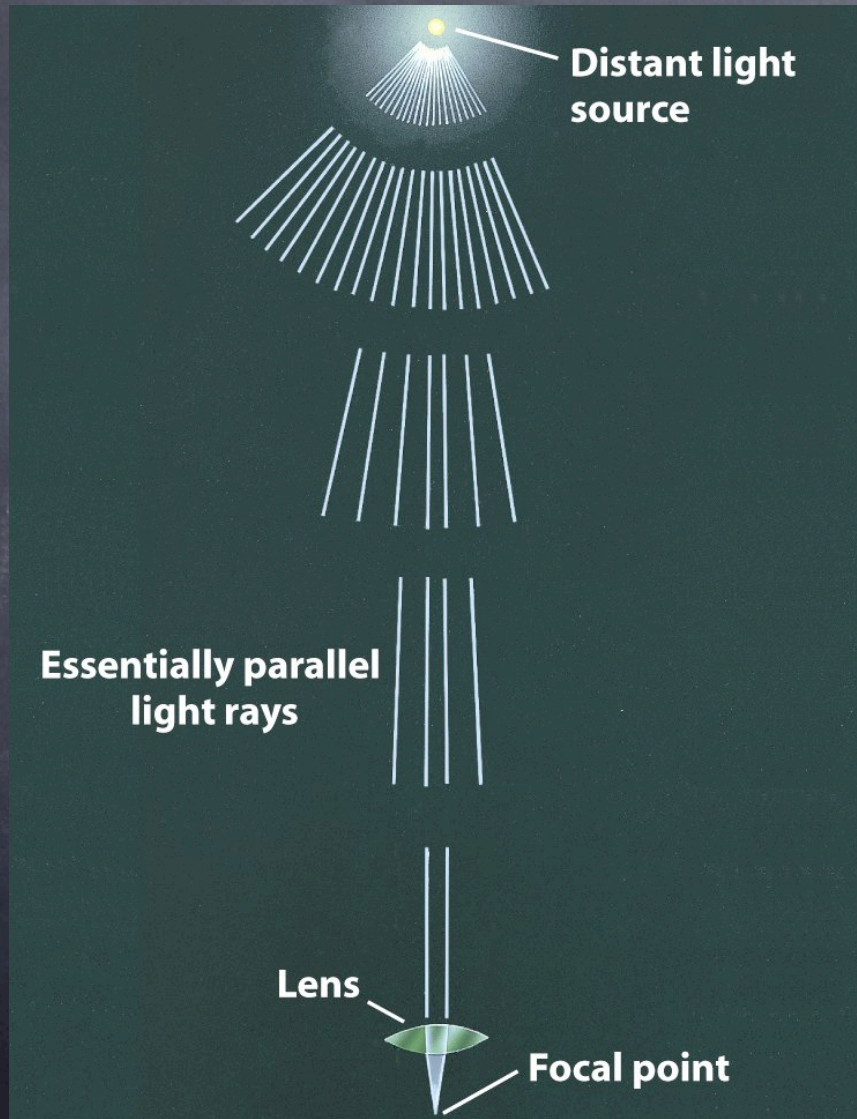
(b) How light beams behave

- När en ljusstråle går från ett medium till ett annat, t.ex. från luft till glas, eller från glas tillbaka till luft, så kan dess riktning ändras
- Detta kallas **refraktion**, och uppstår då ljusets hastighet ändras

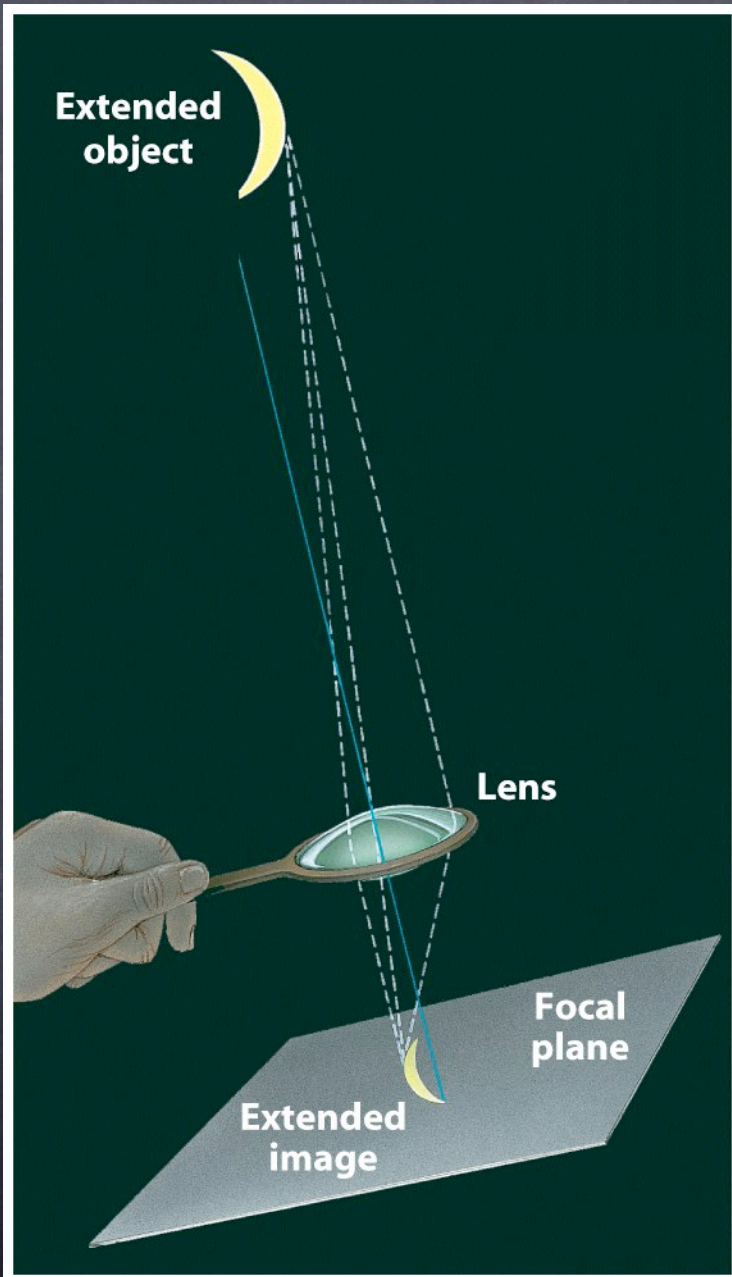


- Brännpunkt: den punkt där parallella strålar fokuseras till
- Brännvidd: avstånd från linsen till brännpunkten

Den astronomiska refraktorn använder en lins för att fokusera inkommande ljus

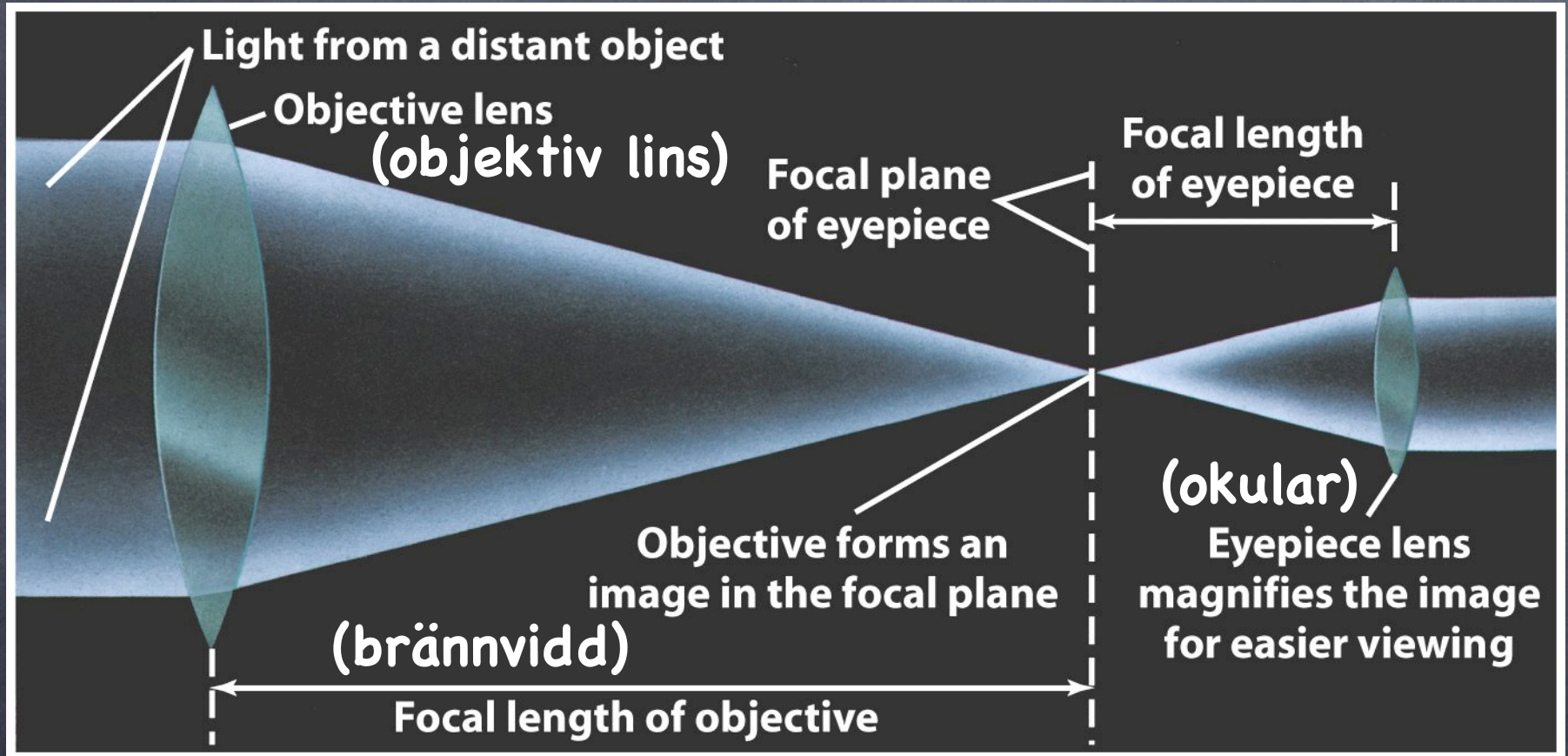


Punktkälla: allt
ljus koncentrerat
till brännpunkten



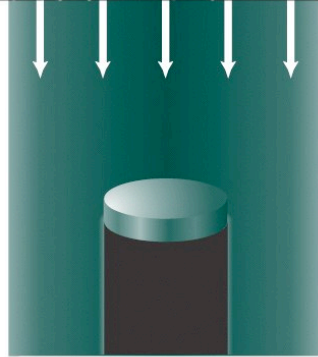
- Utbrett objekt: bild i fokalplanet
- Apparatur så som t.ex. fotografiska plåtar och elektroniska detektorer (ex. CCD) är placerade i fokalplanet

Förstoring

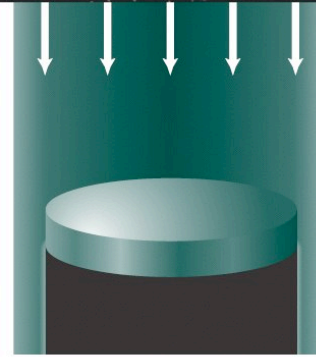


Förstoringen hos ett teleskop är lika med brännvidden hos objektivet dividerat med brännvidden hos okularet

Ljussamlingsförmåga



**Small-diameter objective lens:
dimmer image, less detail**

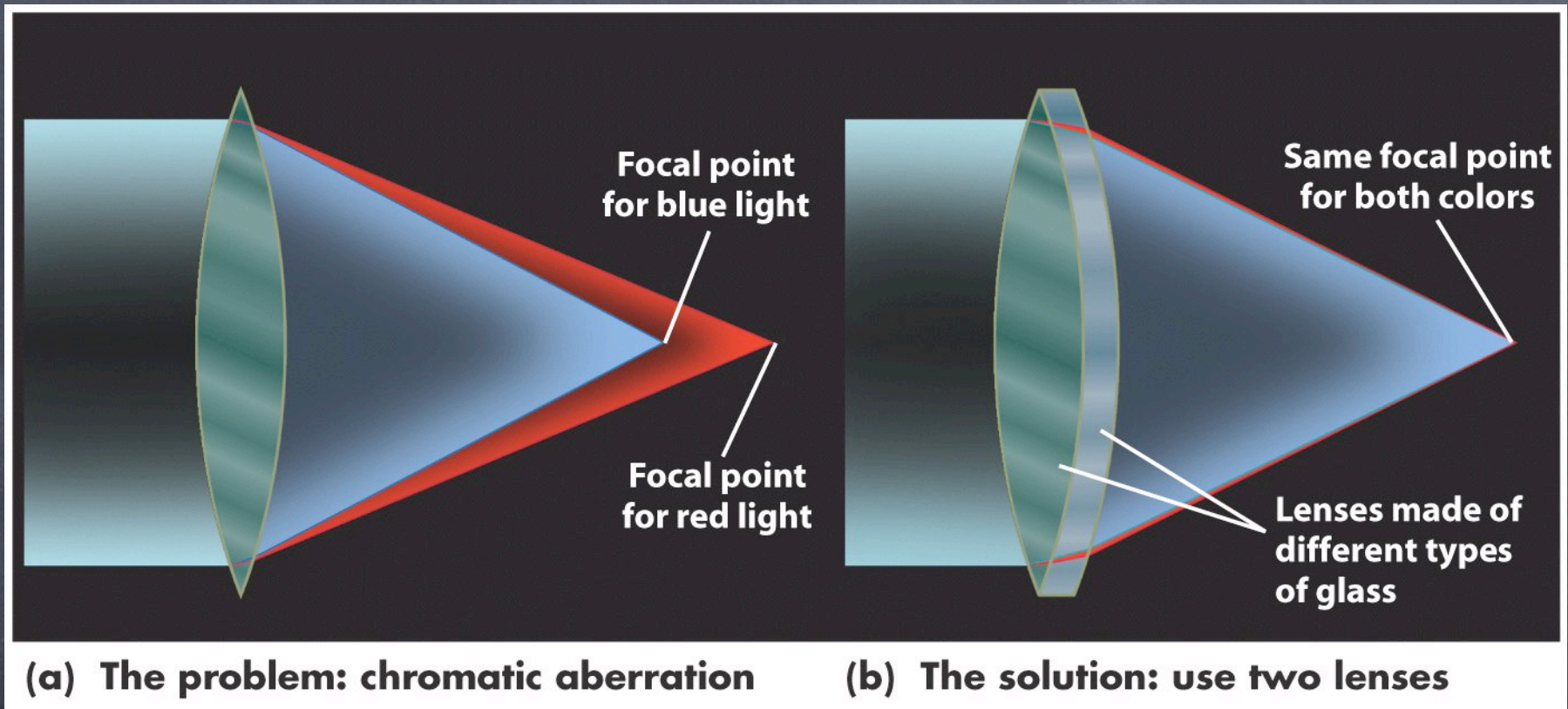


**Large-diameter objective lens:
brighter image, more detail**

Andromeda
galaxen
(M31)

Förmågan hos ett teleskop att samla in ljus är direkt proportionell mot objektivlinsens area, som i sin tur är proportionell mot dess diameter i kvadrat

Kromatisk aberration



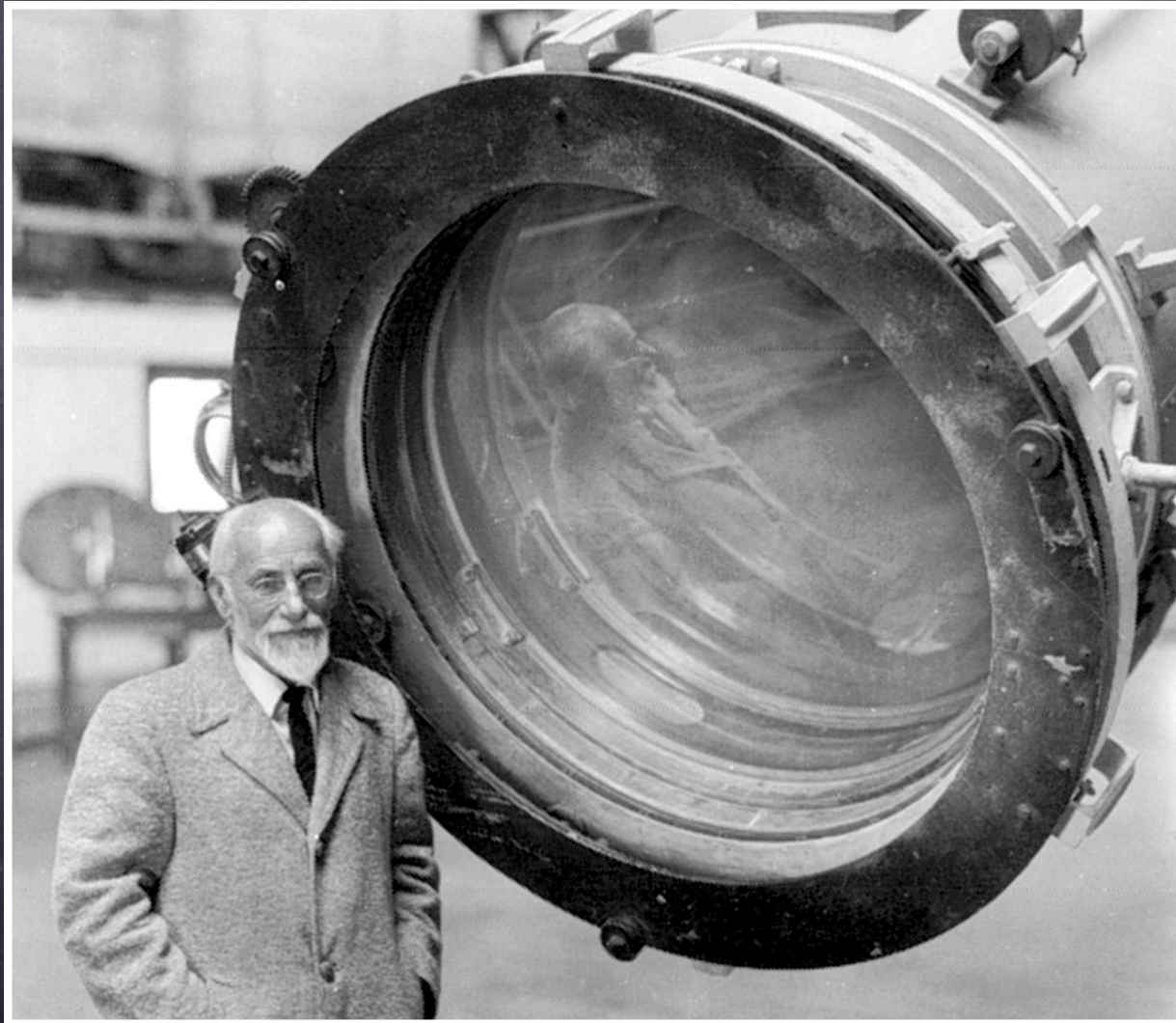
- Linser bryter ljus med olika färg (våglängd) olika mycket (jfr prisma)
- Resultatet av detta är att olika färger inte kommer att fokuseras till samma punkt. En stjärna ser här ut att ha en diffus, regnbågsfärgad, halo
- Om man i stället använder olika typ av glas i sina två linser kan man få ljus av olika färg att fokuseras till samma punkt

Yerkes Observatory



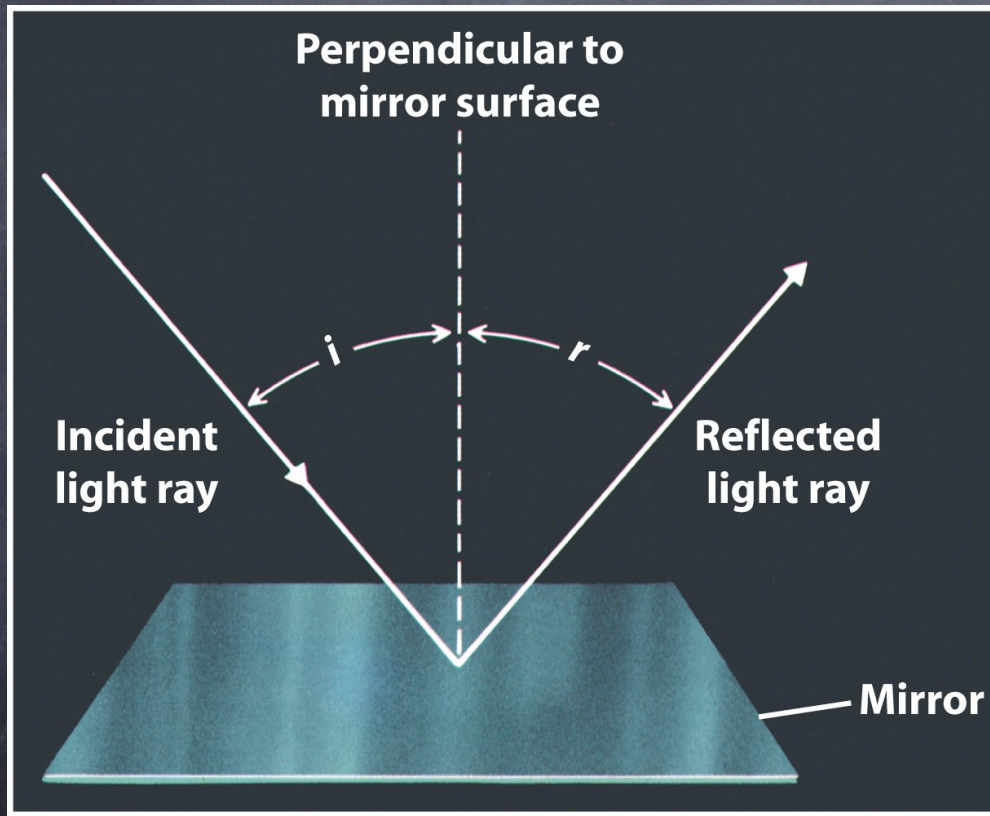
refraktor (byggd 1897) brännvidd på ca. 19.5 m

Objektivlinsen hos Yerks refraktorn ($D=102$ cm)



Föroreningar hos glaset, kromatisk abberation, blockerandet av vissa våglängder, och problem med att bibehålla strukturen hos linsen gör det praktiskt omöjligt att bygga linser mycket större än 1 meter

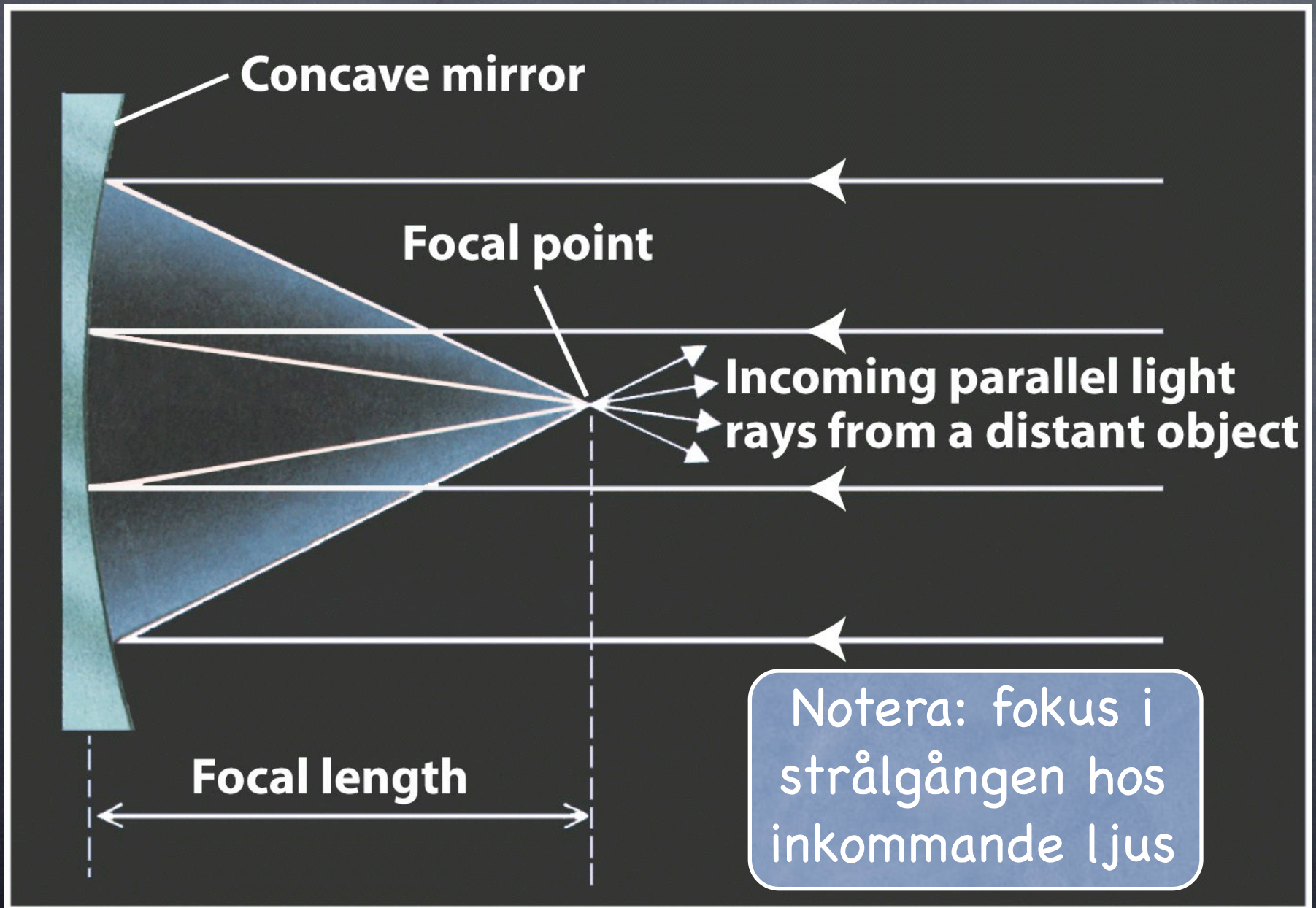
Reflekterande teleskop använder en spegel för att fokusera inkommande ljus



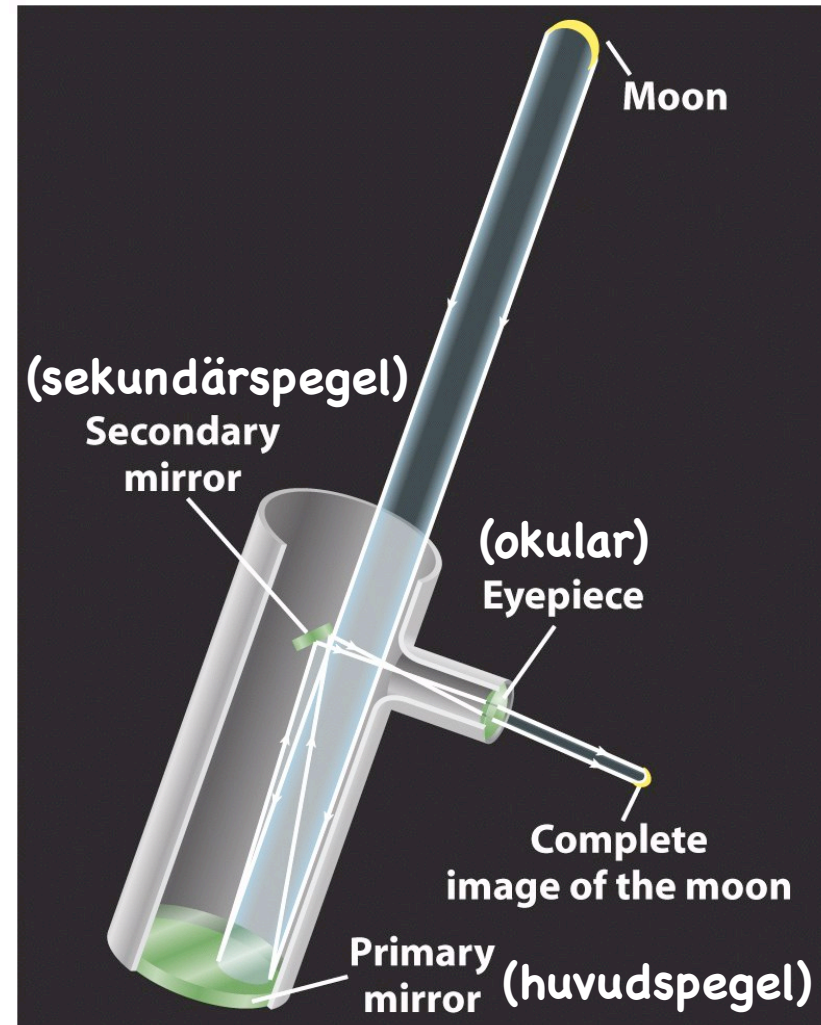
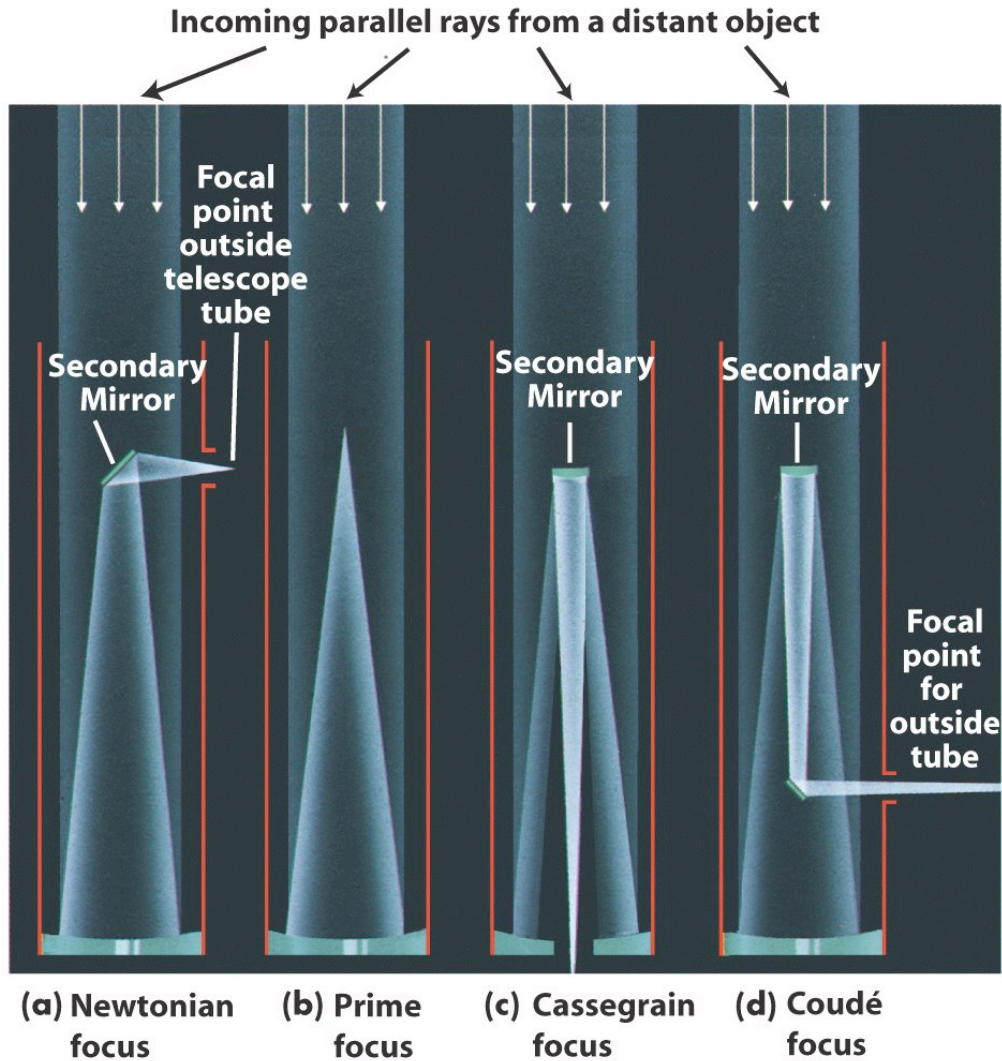
plan spegel: $i = r$

- Ett reflektorteleskop har inte många av de problem som begränsar den användbara storleken hos refraktorer
- Alla moderna professionella teleskop är av denna sort
- Ett reflekterande teleskop har en krökt yta

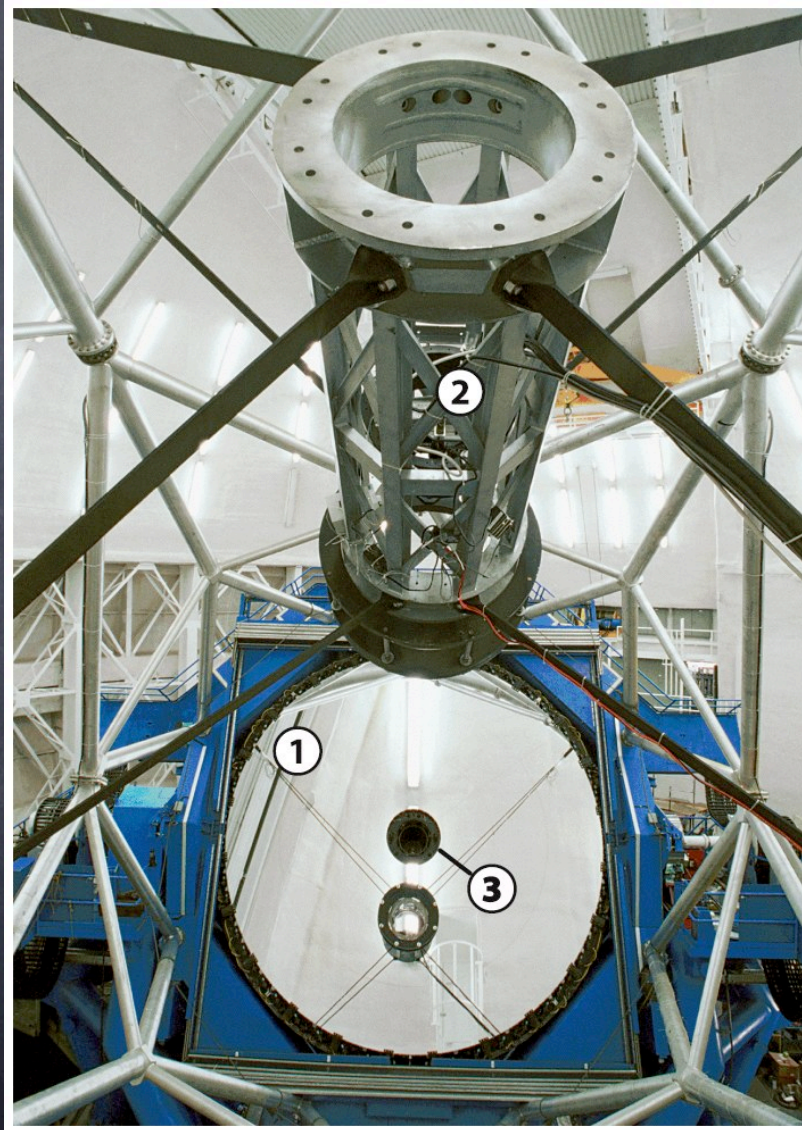
Reflektion av en konkav spegel



Reflekterande teleskop



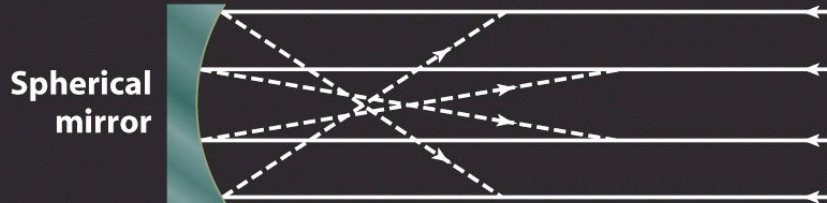
Gemini North



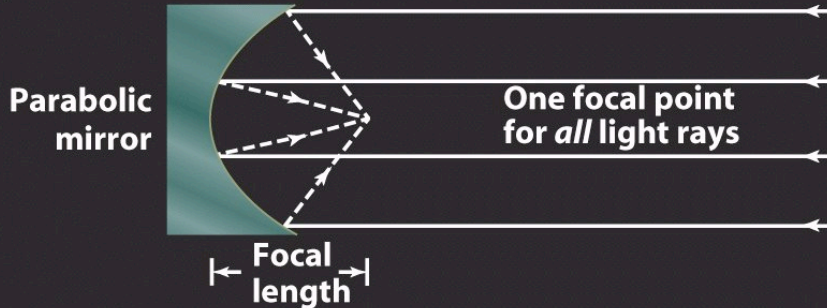
1. Primärspiegel på 8.1 meter
2. Sekundärspiegel på 1.0 meter
3. Hål i primärspegeln (Cassegrain fokus)

Sfärisk aberration

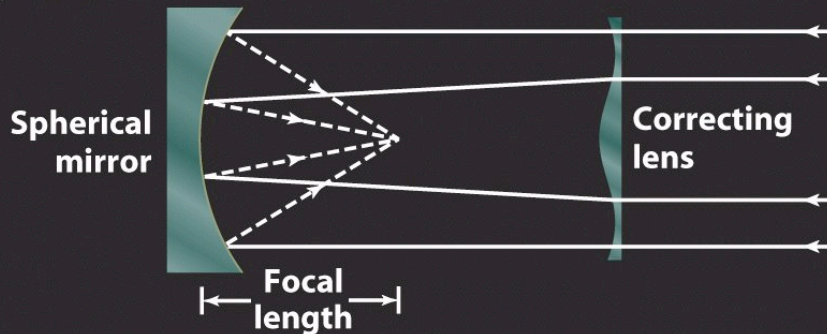
(a) The problem: Different focal points for different light rays



(b) A solution



(c) Another solution

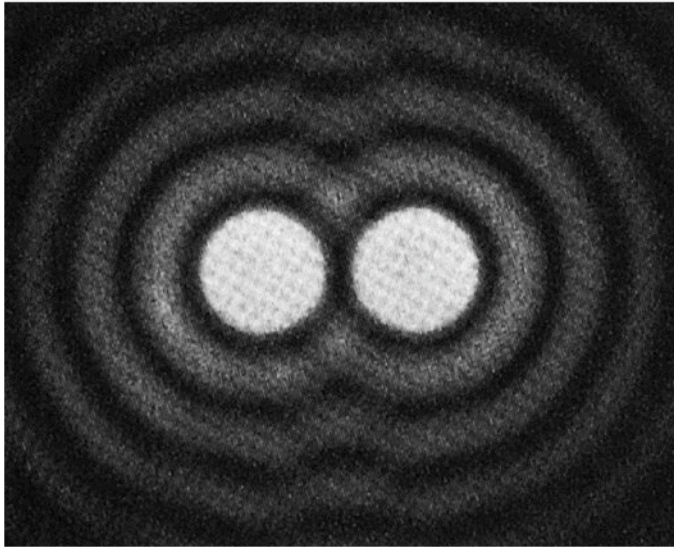


- En sfärisk yta är lätt att slipa till, men olika delar av den sfäriska ytan ger olika brännvidder
- Detta resulterar i en suddig bild
- Två lösningar:
 - Paraboliska speglar (problem med koma)
 - Korrektionslinser

table 6-1 The World's Largest Optical Telescopes

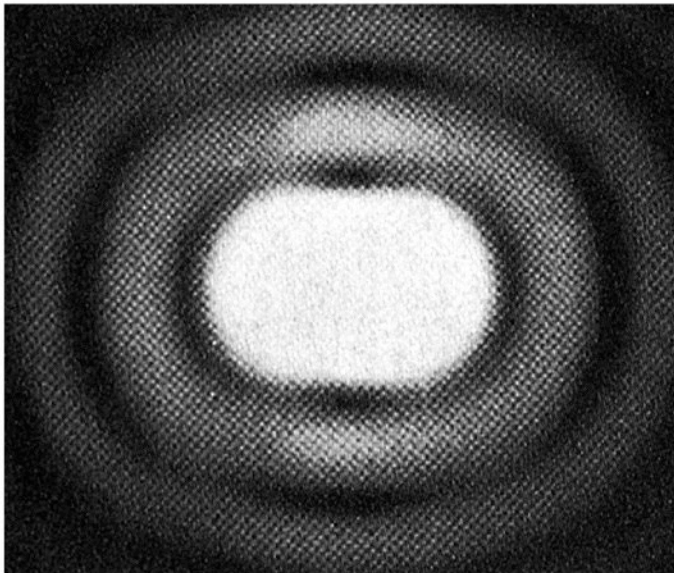
Telescope	Location	Year of completion	Mirror diameter (m)
Gran Telescopio Canarias	La Palma, Canary Islands, Spain	2004	10.4
Keck II	Mauna Kea, Hawaii	1996	10.0
Keck I	Mauna Kea, Hawaii	1993	10.0
Hobby-Eberly Telescope	McDonald Observatory, Texas	1998	11.0*
South African Large Telescope	Sutherland, South Africa	2004	9.2
Large Binocular Telescope	Mount Graham, Arizona	2004–05	Two 8.4
Subaru	Mauna Kea, Hawaii	1999	8.3
VLT UT 1–Antu	Cerro Paranal, Chile	1998	8.2
VLT UT 2–Kueyen	Cerro Paranal, Chile	1999	8.2
VLT UT 3–Melipal	Cerro Paranal, Chile	2000	8.2
VLT UT 4–Yepun	Cerro Paranal, Chile	2000	8.2
Gemini North (Gillett)	Mauna Kea, Hawaii	1999	8.1
Gemini South	Cerro Pachón, Chile	2000	8.1

**The objective mirror of the Hobby-Eberly Telescope is 11.0 m in diameter, but in operation only an area of 9.2 m in diameter is used to collect light.*



(a)

Two light sources with angular separation greater than angular resolution of telescope: Two sources easily distinguished



(b)

Light sources moved closer so that angular separation equals angular resolution of telescope: Just barely possible to tell that there are two sources

Upplösningförmåga

- Diffraktionsbegränsad

$$\theta = 2.5 \times 10^5 \frac{\lambda}{D}$$

θ = vinkelupplösning hos teleskopet i bågsek

λ = våglängd hos ljuset i meter

D = teleskopets diameter i meter

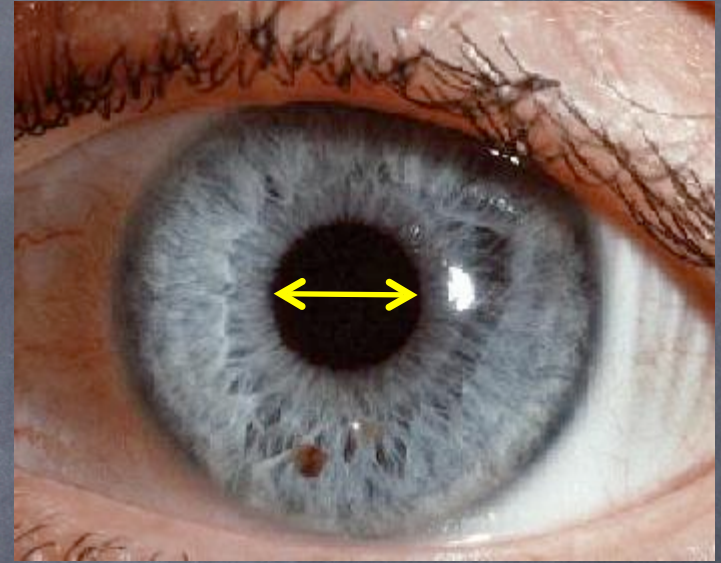
EX. Keck vid 600 nm ger $\theta = 0.015$ bågsek

Jämför Keck med mänskliga ögat

Ljussamlingsförmåga

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

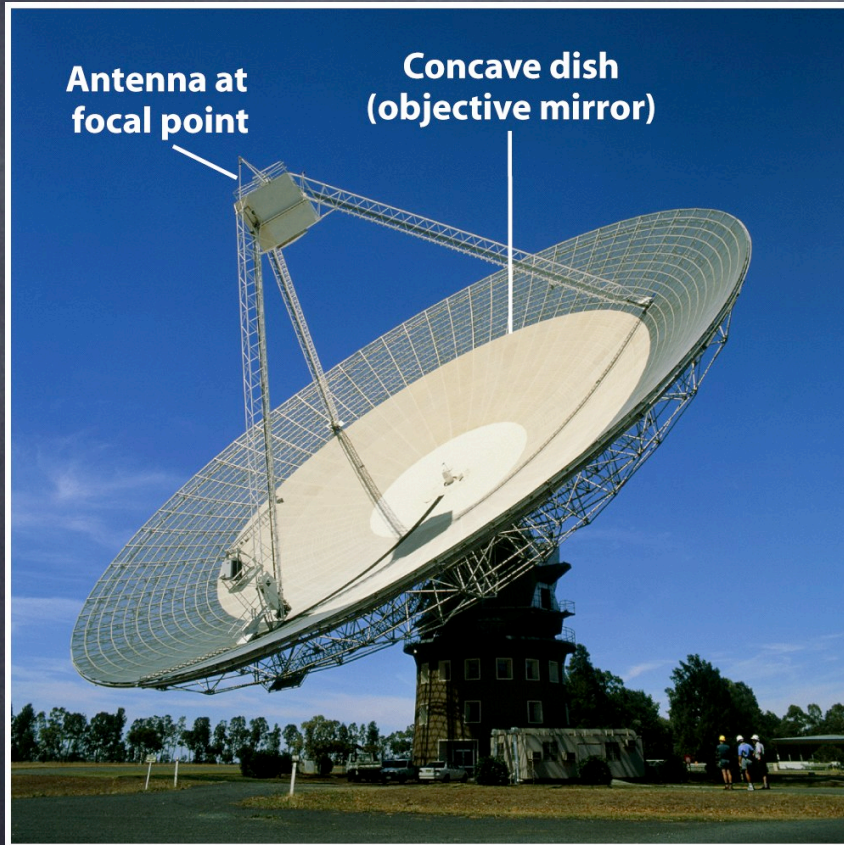
$$\frac{A_{\text{Keck}}}{A_{\text{eye}}} = \left(\frac{D_{\text{Keck}}}{D_{\text{eye}}} \right)^2 = \left(\frac{10 \text{ m}}{5 \text{ mm}} \right)^2 = 4 \times 10^6 \quad \text{ljusinsamlade yta}$$



Upplösningförmåga

$$\frac{\theta_{\text{eye}}}{\theta_{\text{Keck}}} = \frac{D_{\text{Keck}}}{D_{\text{eye}}} = \frac{10.0 \text{ m}}{5 \text{ mm}} = 2 \times 10^3$$

Radioteleskop



- Hos ett radioteleskop består ytan inte av glas utan av annat material (tex metall) som kan reflektera radiovågor
- Att man kan bygga stora radioteleskop kompenserar i viss mån för den sämre upplösningen vid långa våglängder

Onsala rymdobservatorium

Råö, 10–20 m.ö.h.

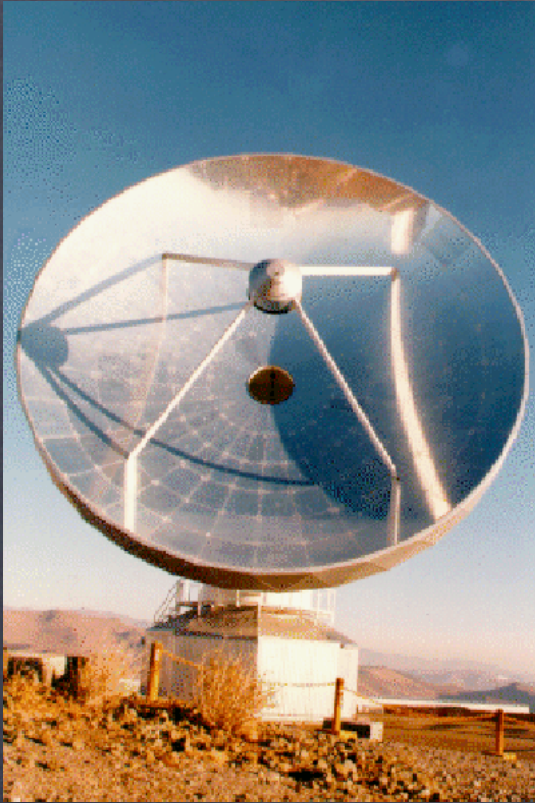


20 m teleskop (1976 – ?) med radom som skydd för väder och vind, 20–115 GHz (ex CO(1–0) vid 115.3 GHz som är en mycket viktig molekyl)



25 m teleskop (1963 – ?), 1–7 GHz

ESO radioteleskop med svensk anknytning



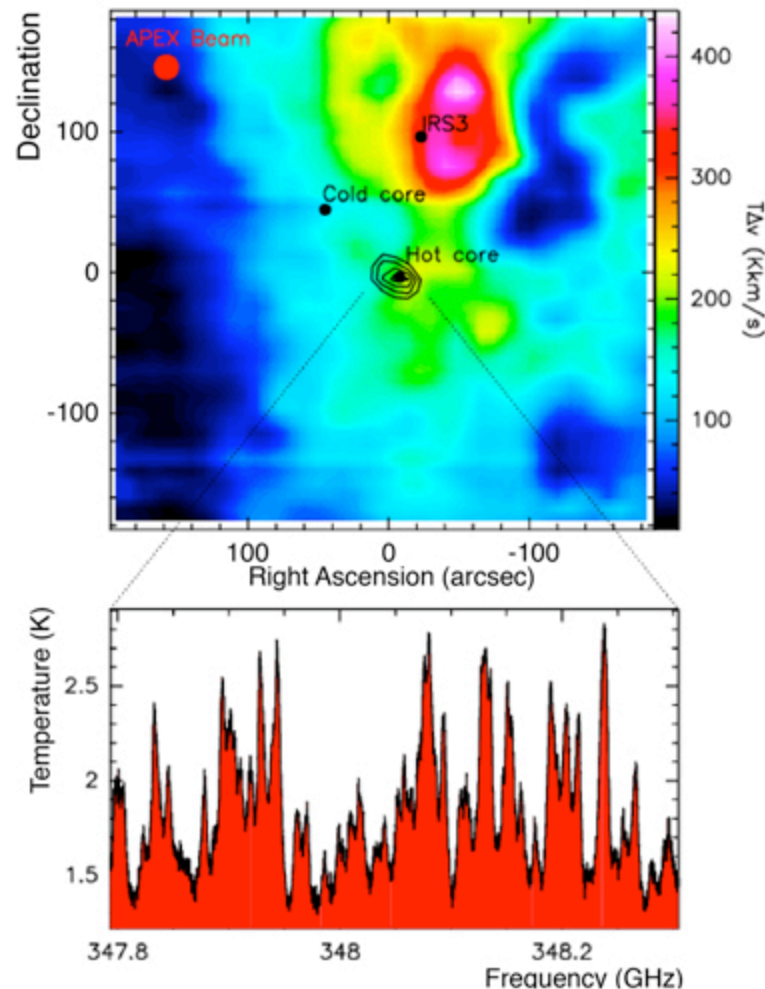
Swedish-ESO Submillimetre Telescope
(SEST), (1987-2003) 15 meter plaserat
på La Silla, Chile (2400 m.ö.h.),
frekvensband 78-363 GHz

Atacama Pathfinder
EXperiment (APEX), (2005-?)
12 meter, (5400 m.ö.h.)
frekvensband 200 - 1400 GHz

ESO = Europeiska
sydobservatoriet



First light med APEX



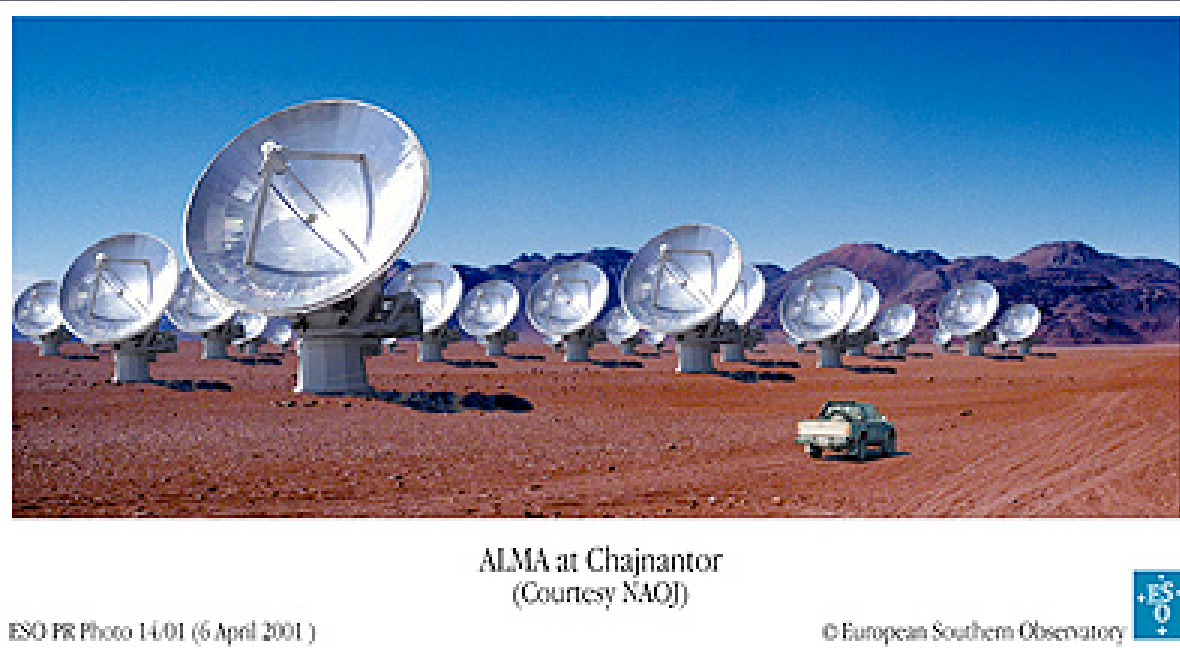
Sub-Millimetre Image of a Stellar Cradle
(APEX)

Molekylärt moln med
intensiv stjärnbildning.
Bilderna baseras på CO
(J=3-2) linjeemission vid
345 GHz (5000 spektra)

Spektrum av metanol
(CH₃OH) kring en stjärna
som föds

Framtiden

Atacama Large Millimeter Array (ALMA)



64 (?) 12 meters sub-millimeter
teleskop (70 – 900 GHz)

Sammarbete mellan Europa och USA (ev Japan)

Jämför optiskt teleskop med ett radioteleskop

Ljussamling:

$$\frac{A_{30\text{m}}}{A_{\text{Keck}}} = \left(\frac{30\text{ m}}{10\text{ m}} \right)^2 = 9$$

Upplösning:

$$\frac{\theta_{30\text{m}}}{\theta_{\text{Keck}}} = \frac{\lambda_{30\text{m}} D_{\text{Keck}}}{\lambda_{\text{Keck}} D_{30\text{m}}} =$$

$$\frac{1.3\text{ mm} \times 10\text{ m}}{600\text{ nm} \times 30\text{ m}} = 6.5 \times 10^3$$



IRAM 30m teleskopet
frekvensband 70–300GHz
(4 – 1 mm)



Högre upplösning kan uppnås med interferometri där många mindre teleskop länkas samman. Här visas VLA (Very Large Array) i New Mexico, USA. (27 st 25 m teleskop, $D = 27 \text{ km}$)

ATCA (Australia Telescope Compact Array)



5 st 22 meters teleskop
observerande vid två
frekvensband: ett vid 12
mm och ett vid 3 mm

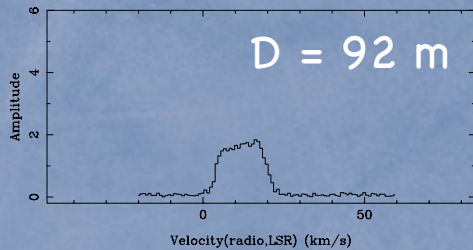
Längsta baslinje
(separation mellan två
teleskop) är 3 km.
Dessutom ett sjätte fast
teleskop på 6 km avstånd



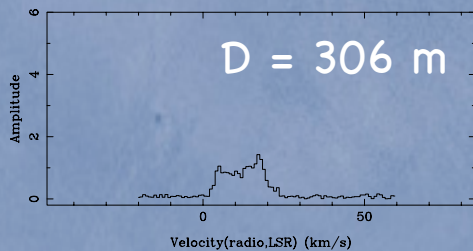
SiO kring röda jättar med ATCA

Att olika baslinjer ser olika starka spektrallinjer med olika utseende säger oss något om strukturen hos gasen

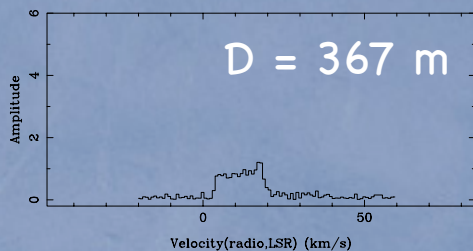
I, $\tau=149.6$ min, Bl=1-2, T=09:38:34



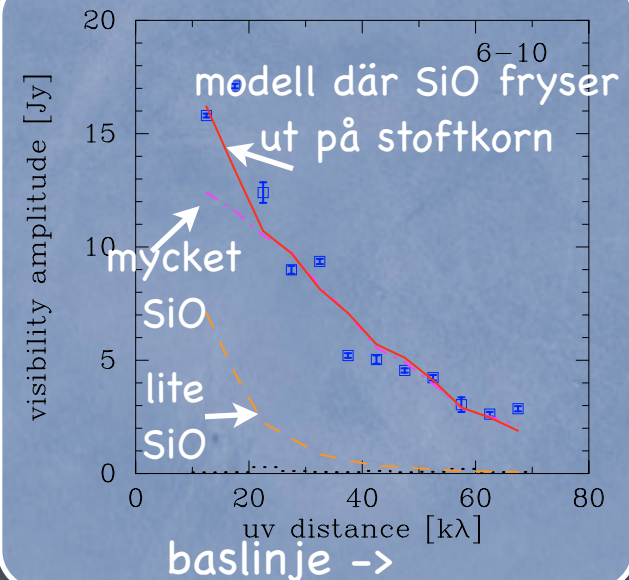
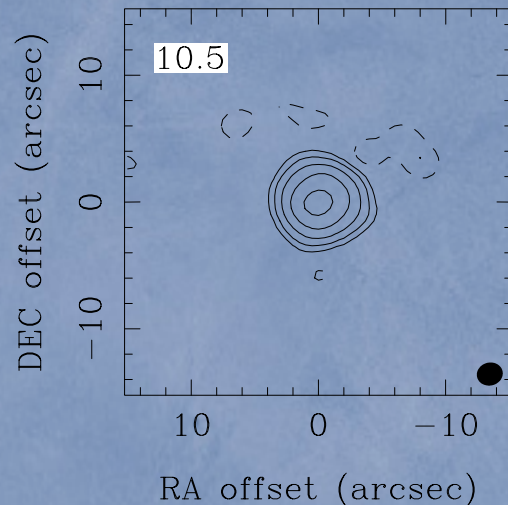
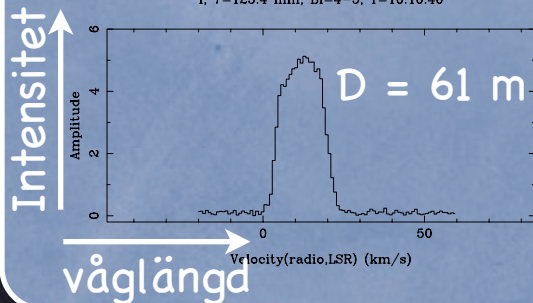
I, $\tau=149.6$ min, Bl=1-4, T=09:38:34



I, $\tau=125.0$ min, Bl=1-5, T=10:10:25

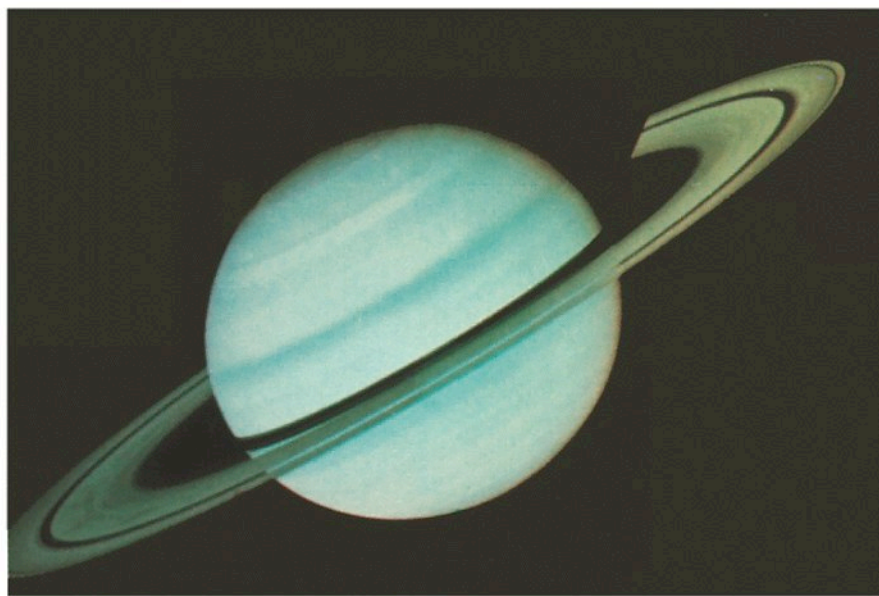


I, $\tau=125.4$ min, Bl=4-5, T=10:10:40

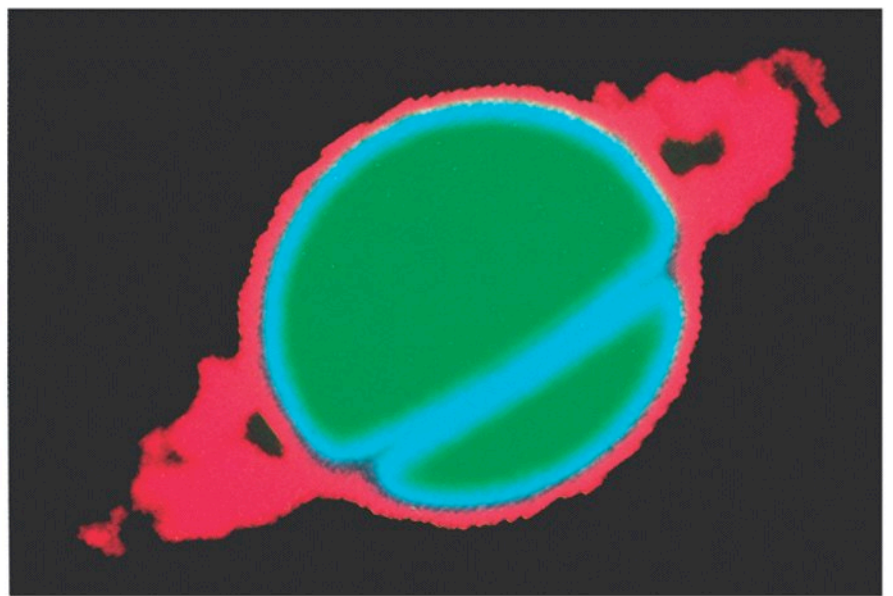


En bild kan sedan bildas från dessa spektra vid olika baslinjer och jämförelse med modeller göras

Saturnus i synligt ljus och radio



(a)

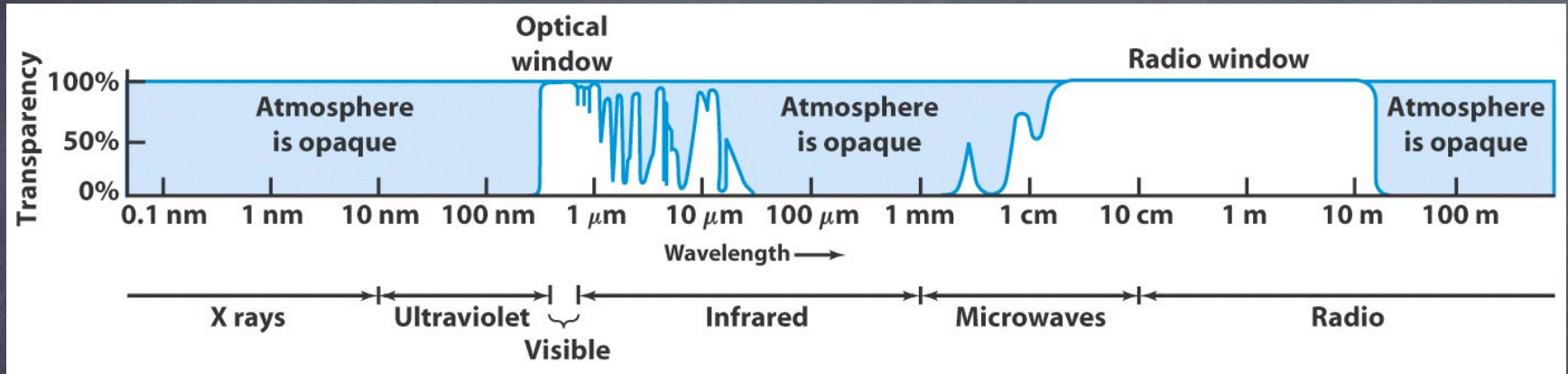


(b)

Bilden som ett teleskop ger störs av jordatmosfären och ljusföroreningar

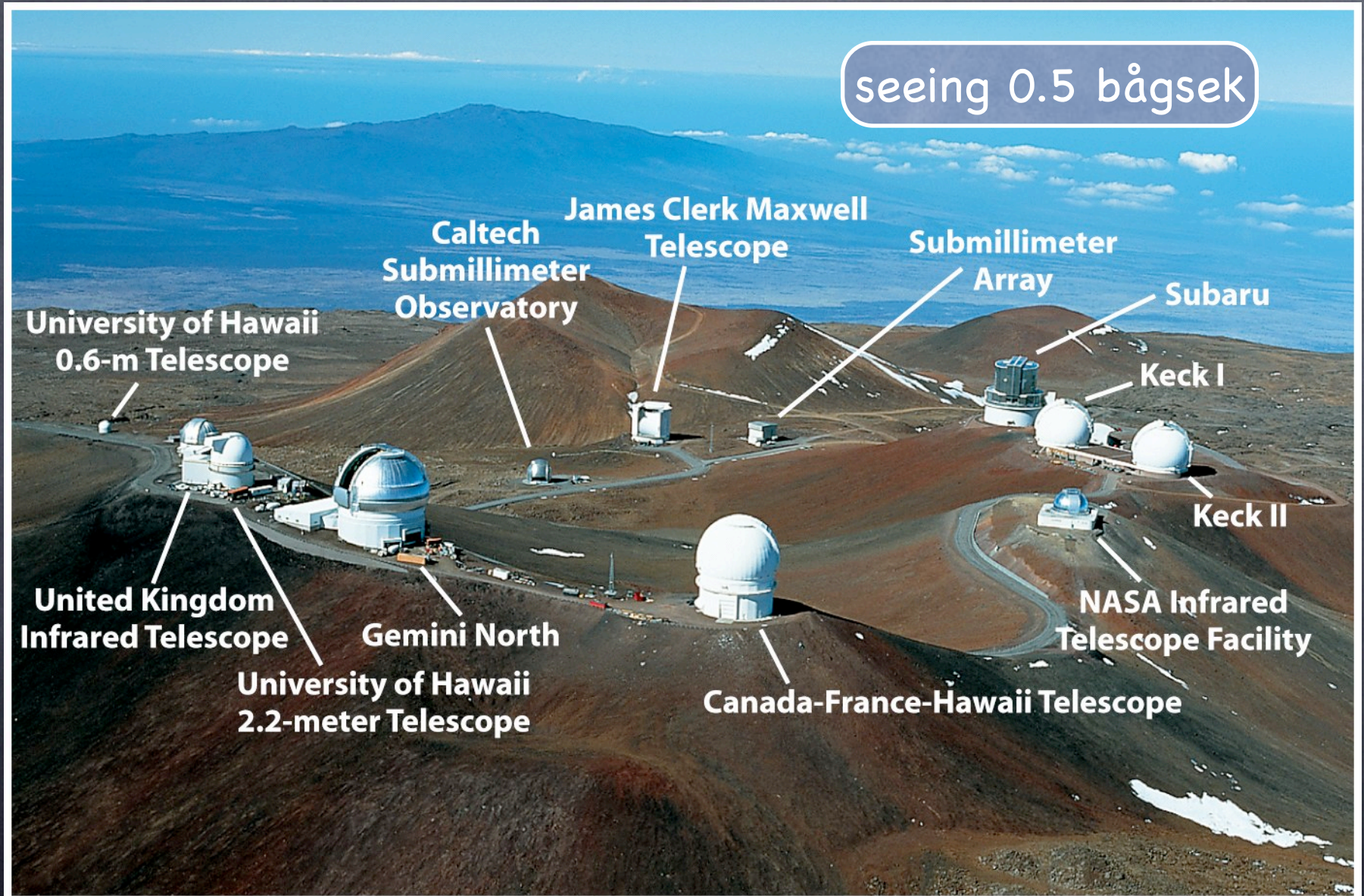
- **Vinkelupplösning:** Ett teleskops förmåga att se fina detaljer begränsas i huvudsak av två faktorer
 - Diffractionen är en inherent egenskap hos ljusvågor
 - Dess effekter kan minimeras genom att bygga större teleskop (öka D)
 - Atmosfärsstörningar (seeing) kan minimeras genom att placera teleskop på hög höjd med tunn och torr luft
 - Dessa effekter kan också drastiskt reduceras med hjälp av adaptiv optik
 - Alternativt kan teleskopet placeras i omloppsbana kring jorden

Satellit-teleskop i bana kring Jorden kan observera elektromagnetisk strålning som inte penetrerar atmosfären



- Jorden atmosfär absorberar mycket av strålningen som kommer från rymden
- Atmosfären är transparent i två våglängdsintervall: det optiska fönstret och radiofönstret
- Vissa våglängder i infrarött når också genom atmosfären

Mauna Kea, Hawaii (4200 m.ö.h.)

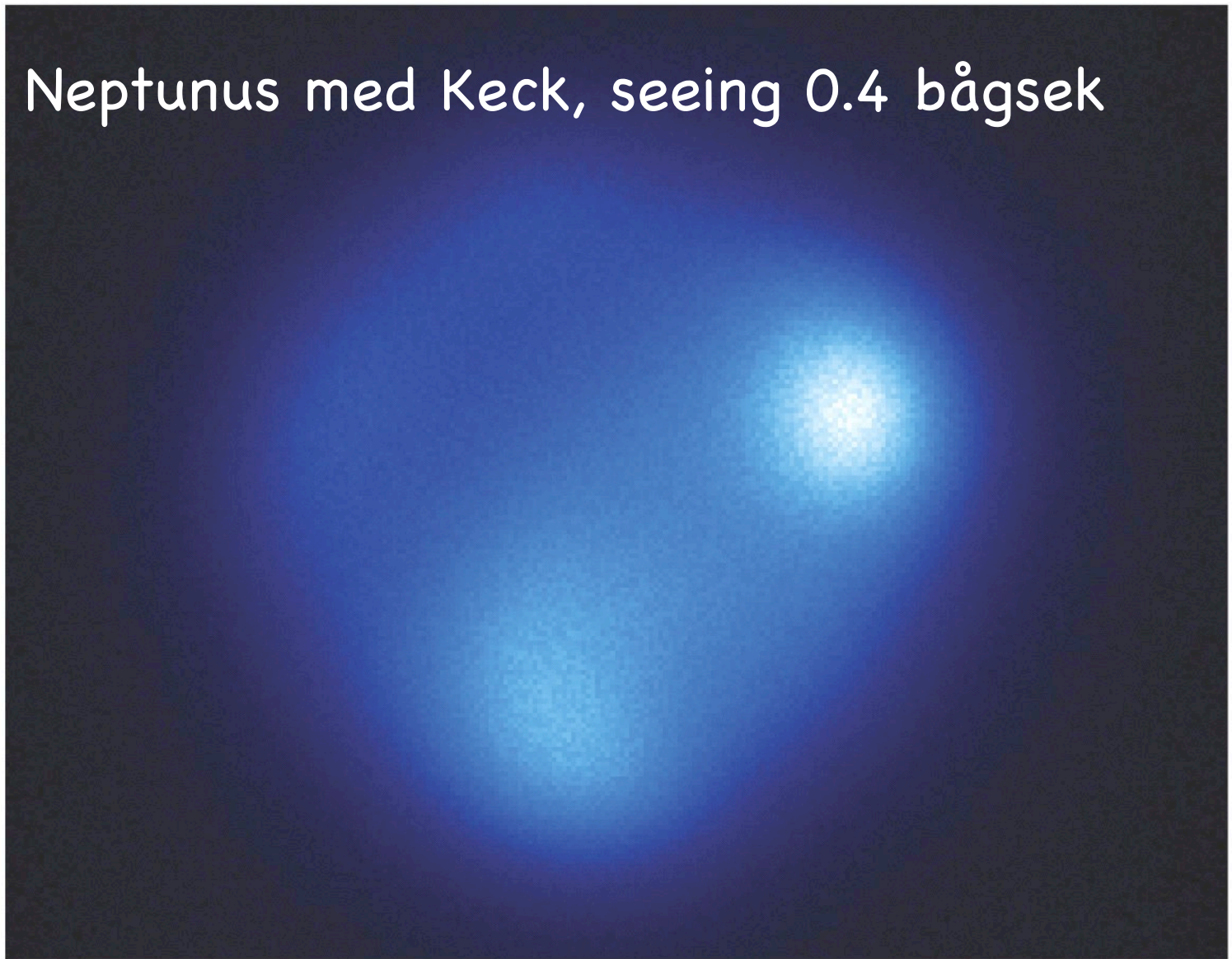


Very Large Telescope (VLT), ESO



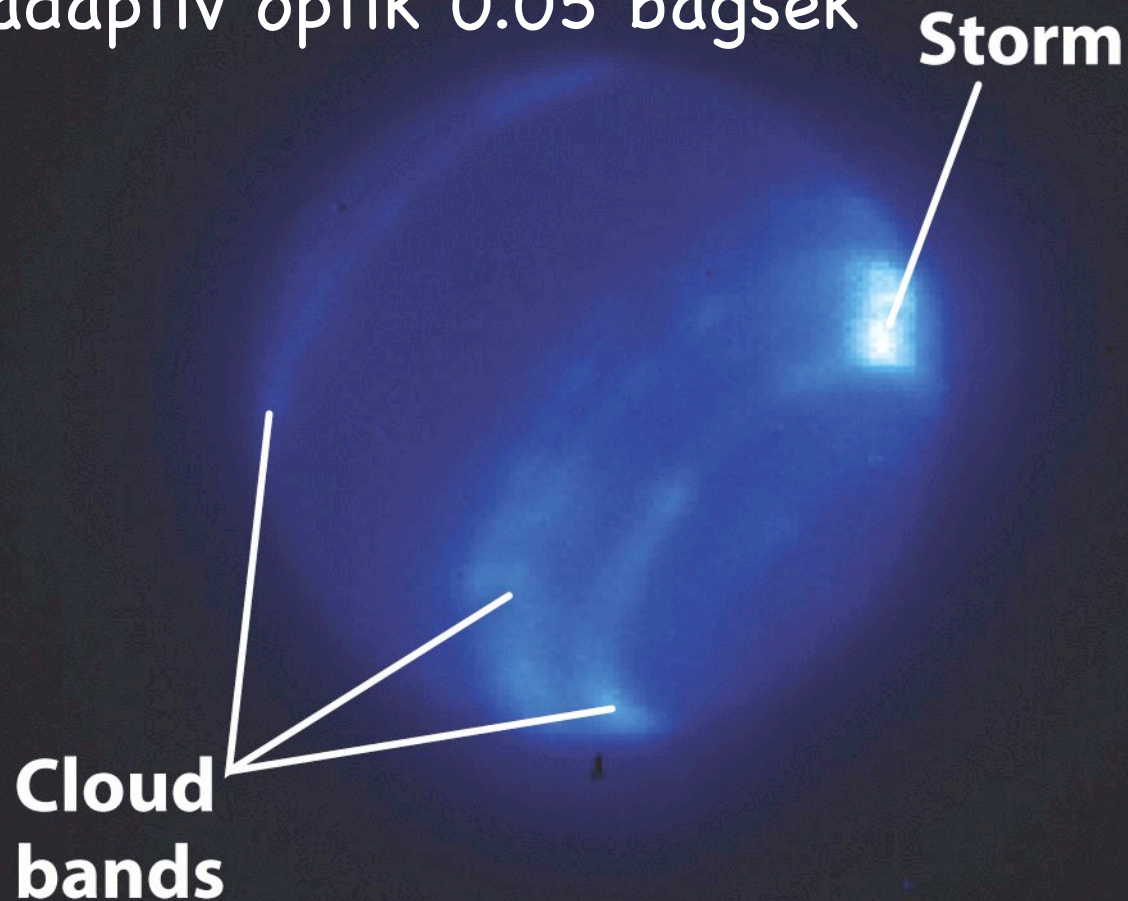
Atacama
öknen i Chile
2640 (möh)
4st 8.2m
teleskop

Neptunus med Keck, seeing 0.4 bågsek



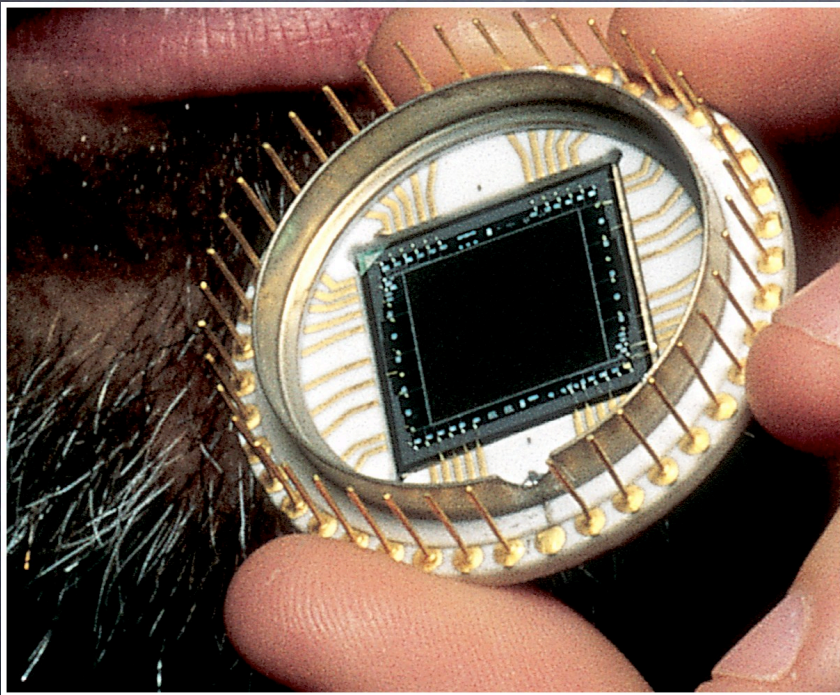
(a) Neptune viewed without adaptive optics

Neptunus med Keck,
adaptiv optik 0.05 bågsek



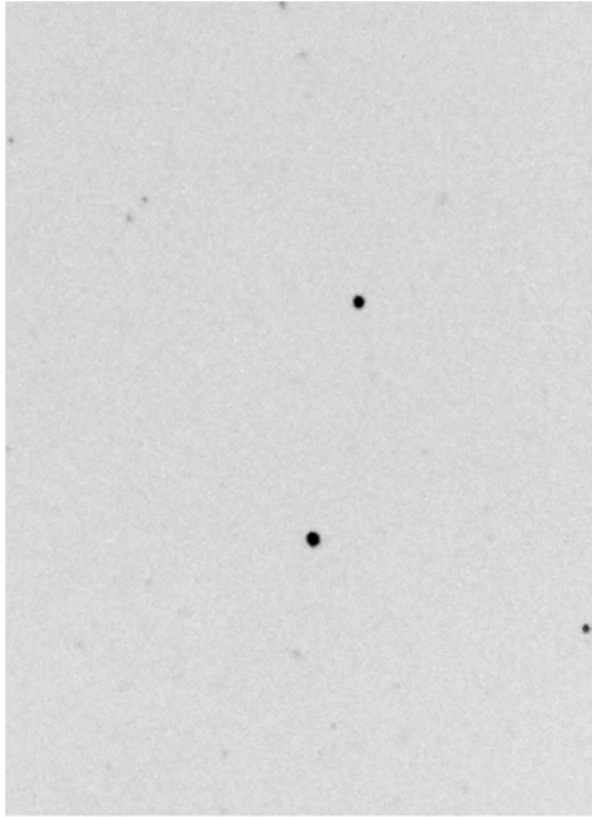
(b) Neptune viewed with adaptive optics

Elektronisk apparatur används vanligtvis för att skapa en bild vid ett teleskops fokus



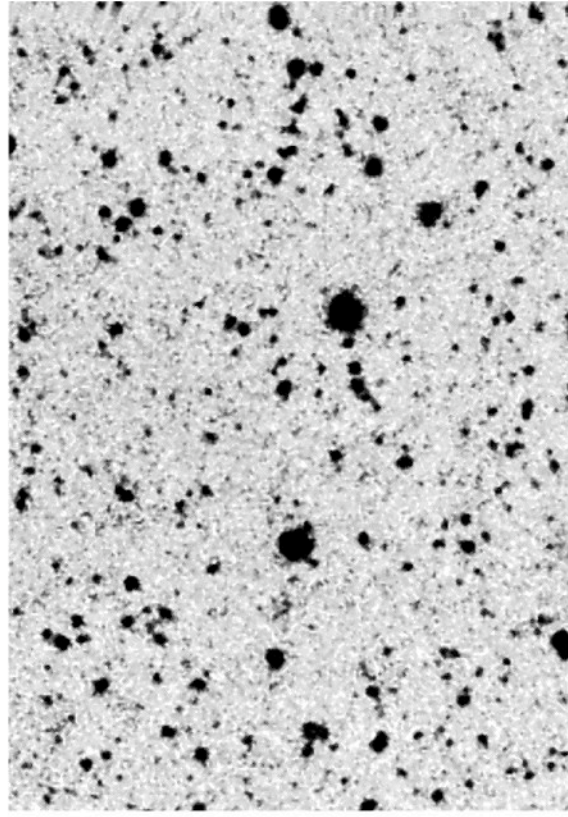
> 16 Mpixel

- Ljuskänsliga detektorer, så kallade Charge Coupled Devices (CCDs) används ofta vid ett teleskops fokus för att registrera mycket svagt ljus



(a) Using photographic film

En av 50 fotoner
kan registreras (2%)



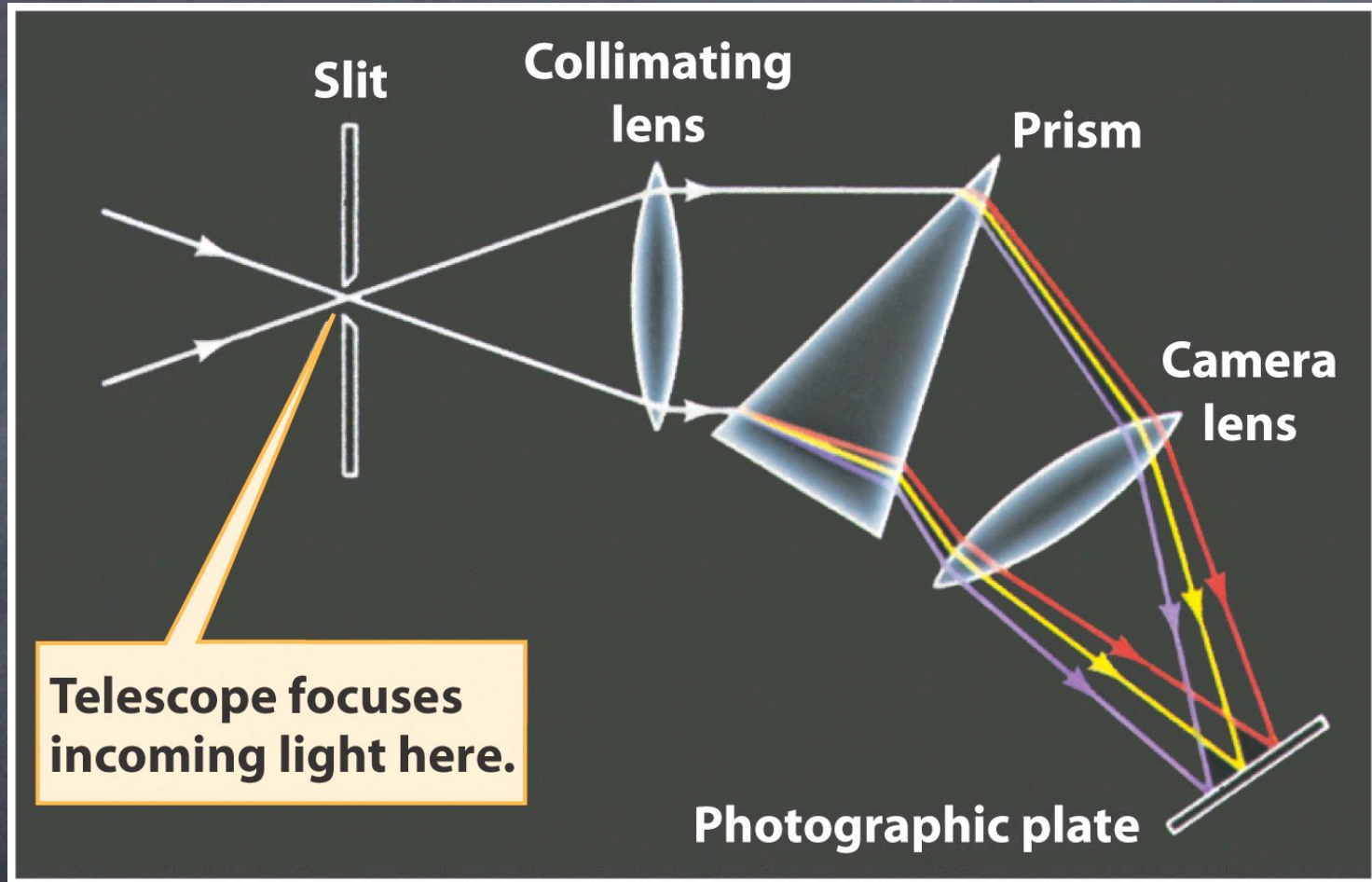
(b) Using a CCD

70% av ljuset kan
registreras



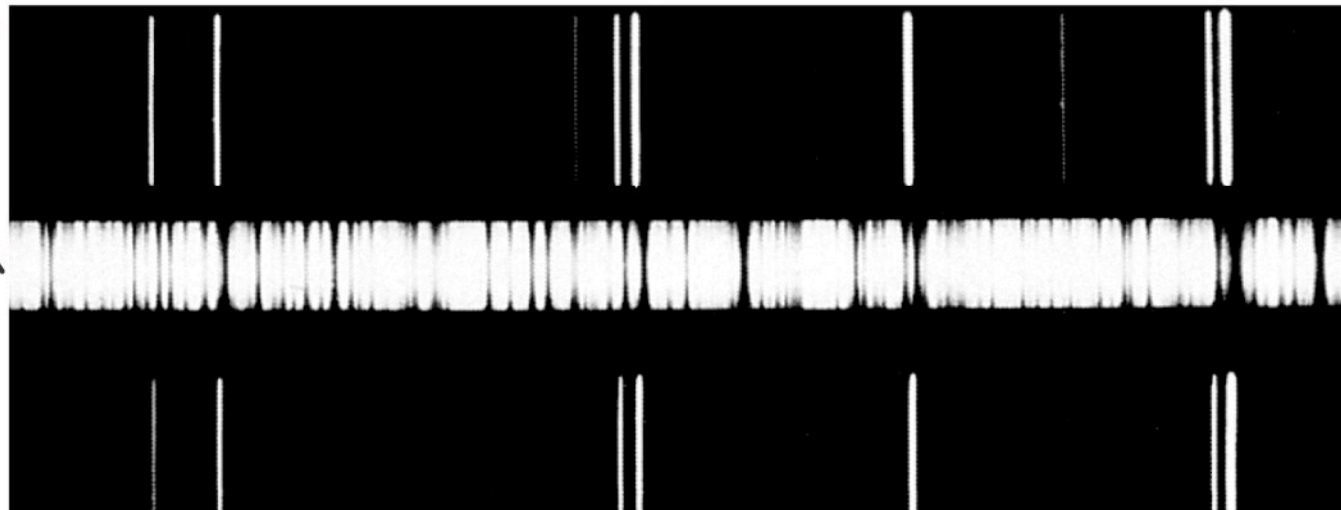
(c) Combined CCD image

En spektrograf registrerar astronomiska spektra



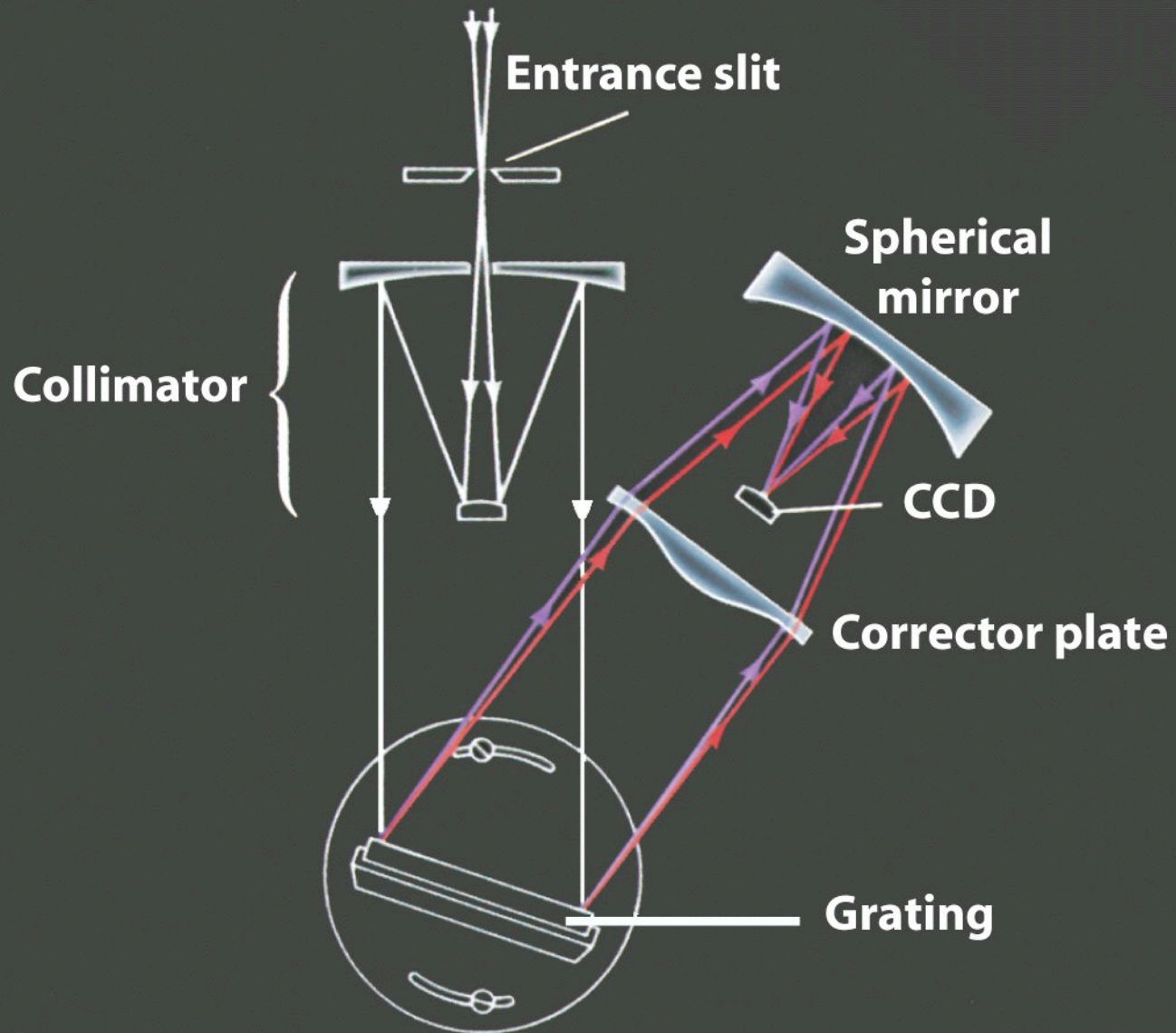
I en spektrograf delas ljuset upp efter våglängd till ett spektrum med hjälp av ett prisma eller ett gitter

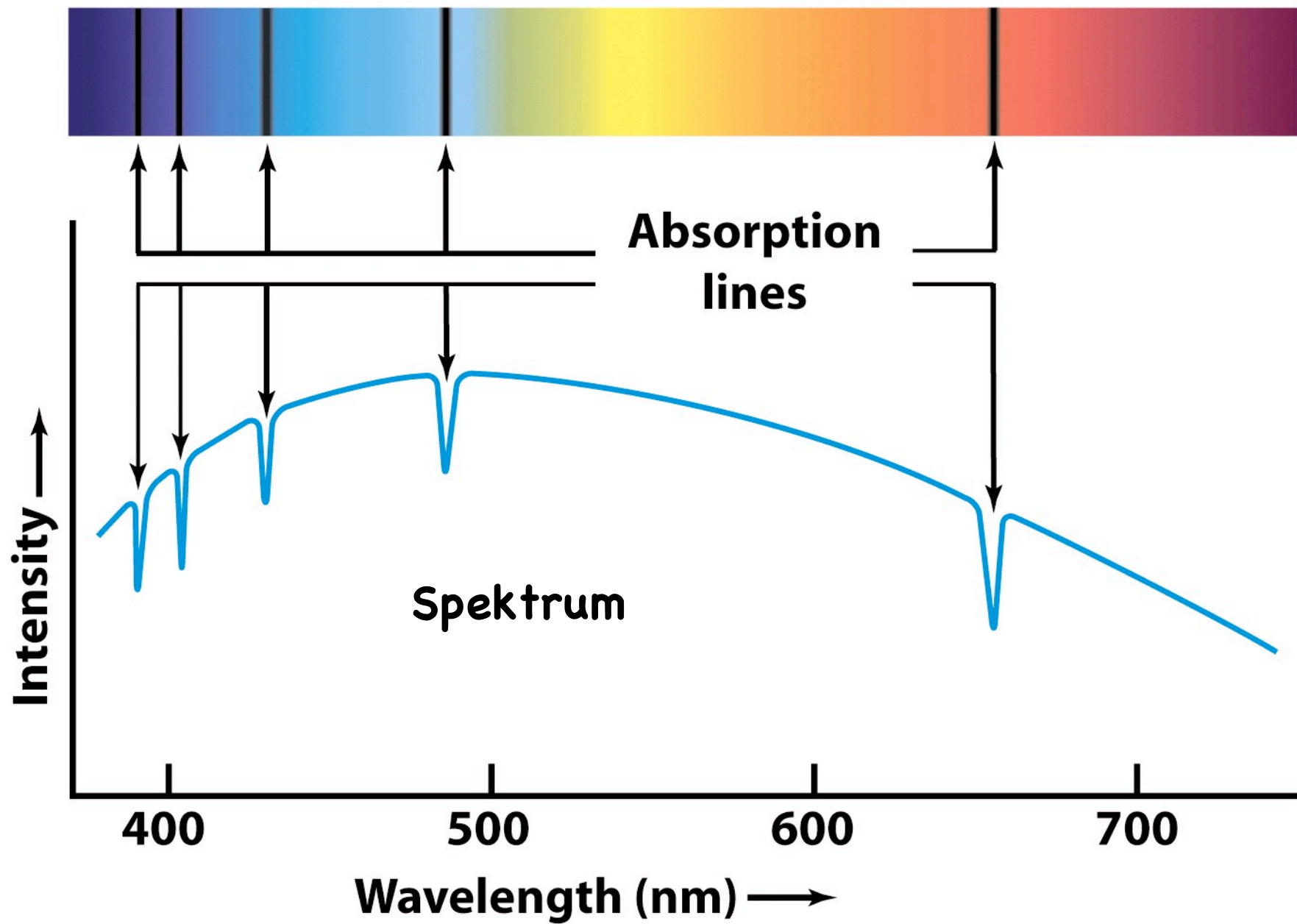
**Spectrum
of star**

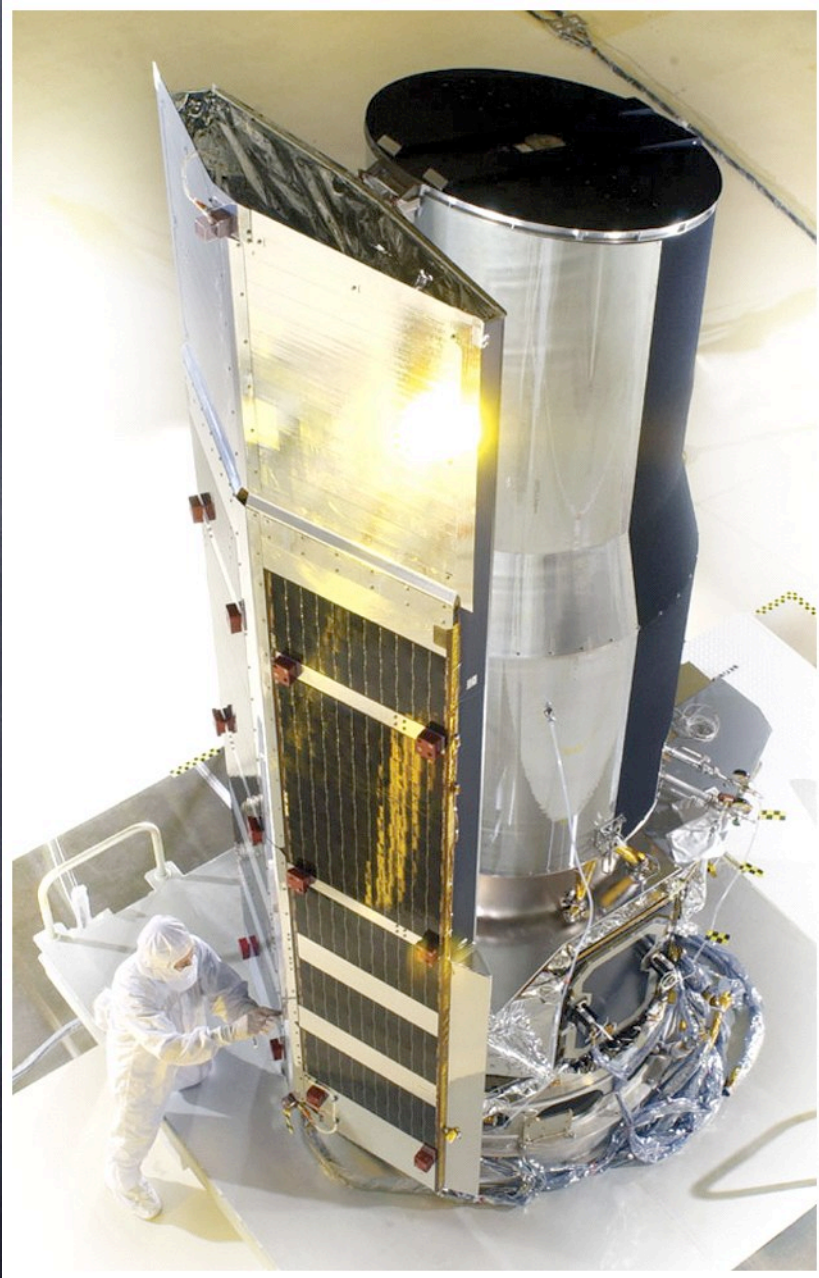


**Comparison spectrum of iron
(at the observatory on Earth)**

Light from telescope objective







- För att kunna observera de våglängder där Jordens atmosfär är ogenomskinlig så måste astronomer förlita sig på teleskop som kan föras över atmosfären

Här visas Spitzer Space Telescope (2003-?),
 $D=0.85\text{m}$, $\lambda=3\text{--}180\ \mu\text{m}$
(infrarött)

James Webb Space Telescope (JWST)

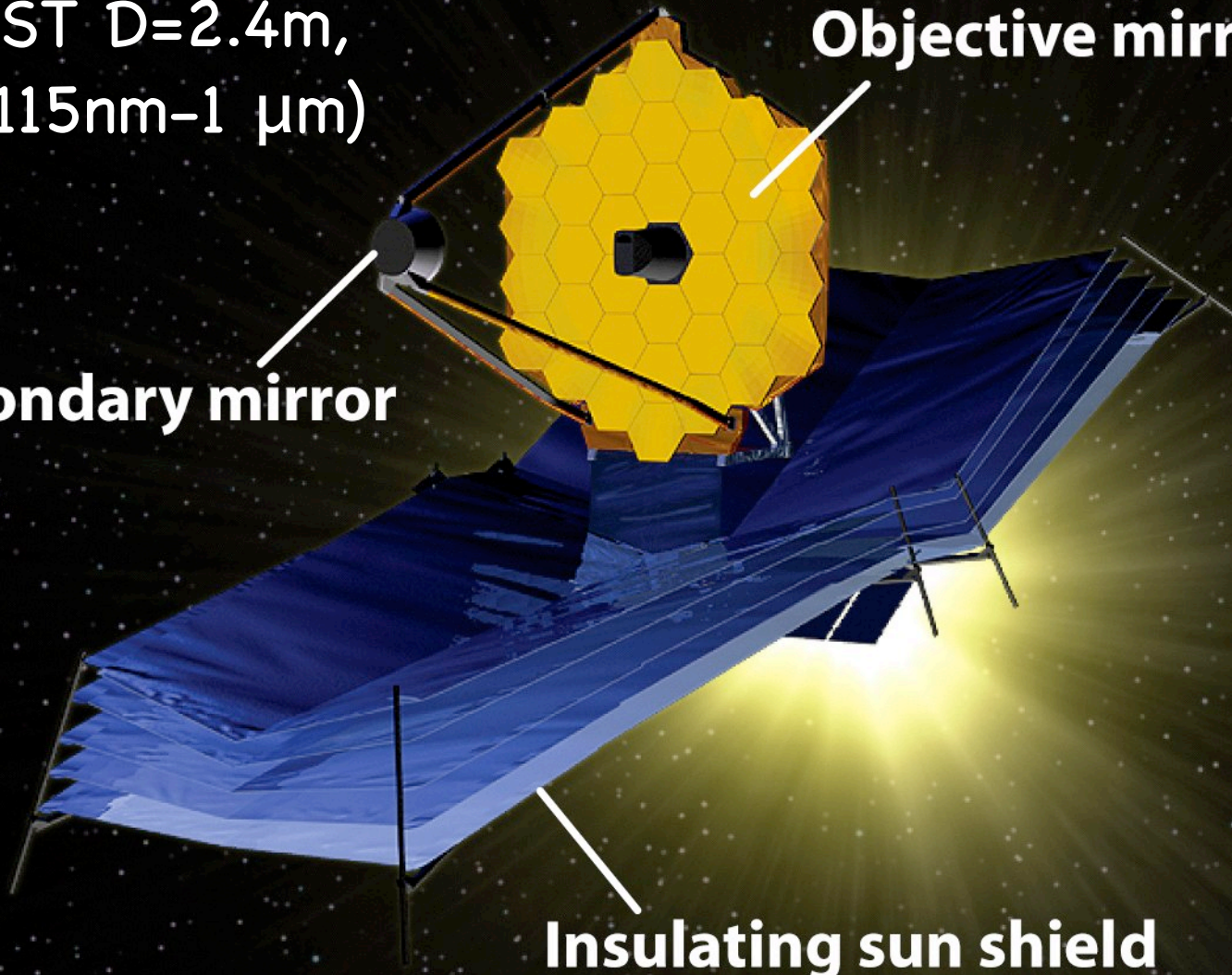
$D=6.5\text{m}$, $\lambda=600\text{nm}-28\ \mu\text{m}$

(HST $D=2.4\text{m}$,
 $\lambda=115\text{nm}-1\ \mu\text{m}$)

Objective mirror

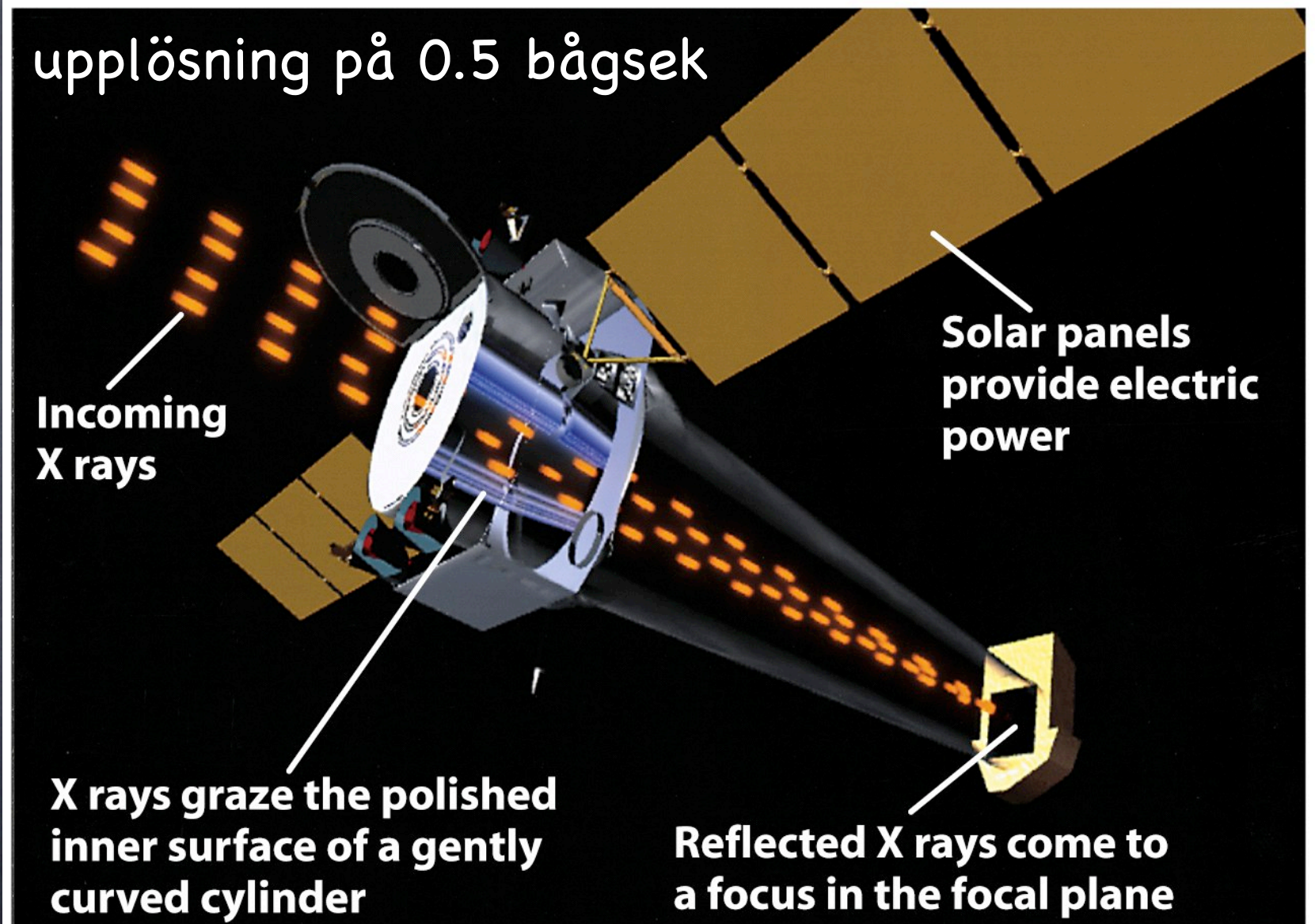
Secondary mirror

Insulating sun shield



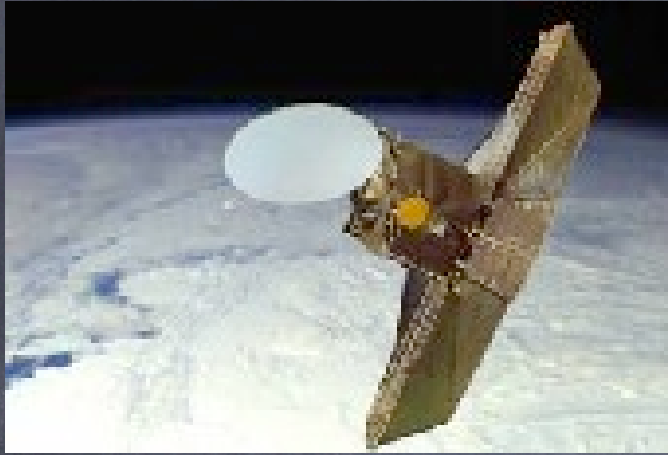
Chandra (1999 - ?)

upplösning på 0.5 bågsek



(a) Chandra X-ray Observatory

Odin (2001-?)



D = 1.1 meter

Frekvensband, 18.25 – 119.25 GHz,
486.1 – 503.9 GHz, 541.0 – 580.4 GHz
Speciellt byggd för att detektera H_2O
och O_2

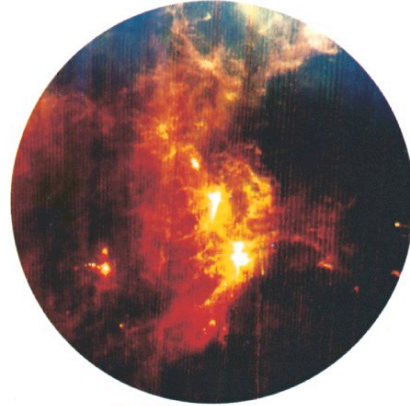


Odin har för första gången
någonsin detekterat molekylärt
syre (O_2) i rymden. Man har
fångat upp en signal från ett
födelsemoln i stjärnbilden
Ormbäraren (obs optisk bild)

Satellitbaserade observatorier ger oss ny information om universum och möjliggör koordinerade observationer av stjärnhimlen över ett brett våglängdsband



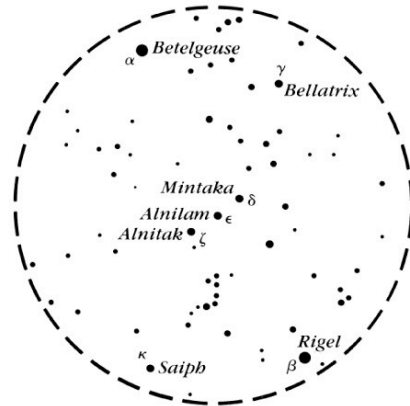
(a) R I V U X G



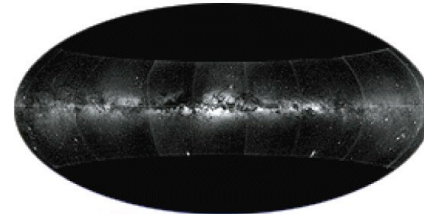
(b) R I V U X G



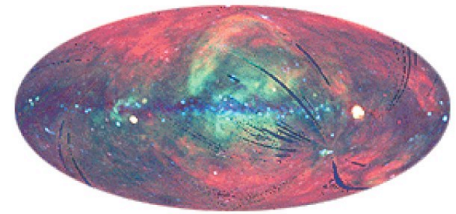
(c) R I V U X G



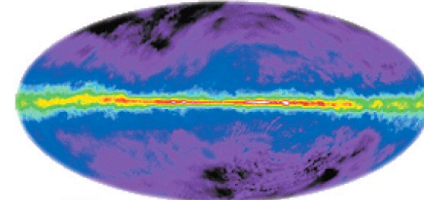
(d)



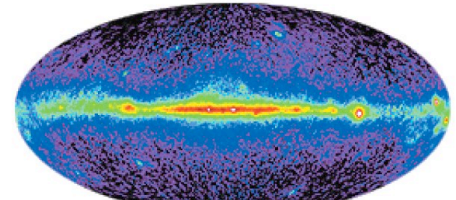
(a) R I V U X G



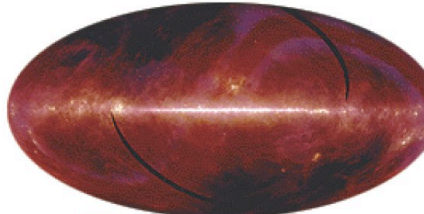
(d) R I V U X G



(b) R I V U X G



(e) R I V U X G



(c) R I V U X G