

Astrooptika

Jaroslav Řeháček

katedra optiky, PřF Univerzity Palackého v Olomouci

Obsah

- ◆ Historický vývoj
- ◆ Trochu teorie
 - Refraktory
 - Reflektory
 - Katadioptrické systémy
- ◆ Moderní astrooptika
 - Velké pozemské teleskopy
 - Adaptivní optika
 - Výhled do budoucna

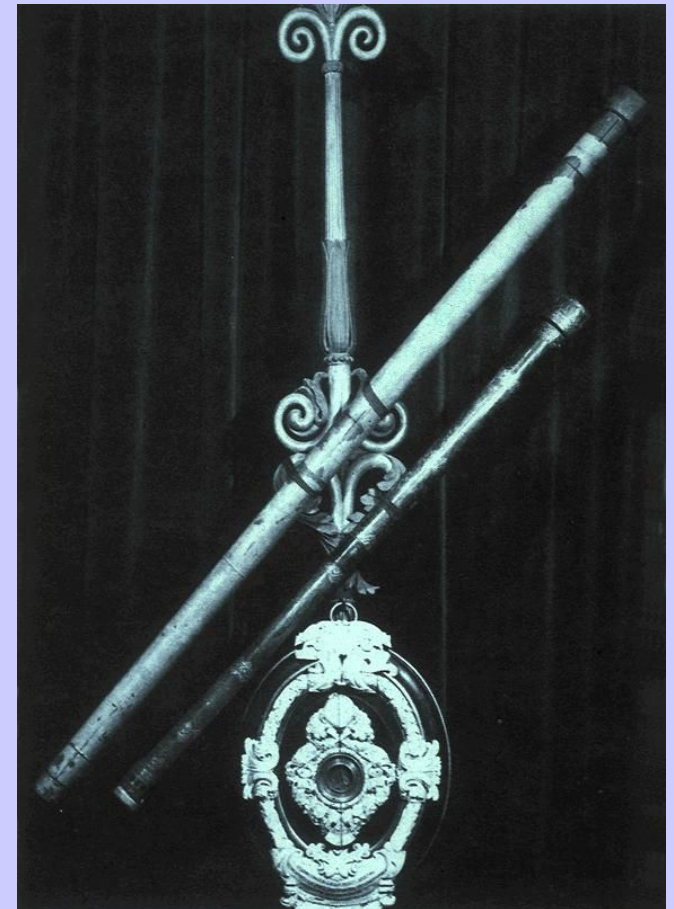
Historie

Vznik: Holandsko přelom 16./17. stol.

Galileo poč. 17. stol:

- krátery na Měsíci
- sluneční skvrny
- měsíce Jupitera
- prstence Saturnu

nekvalitní přístroje



Historie...

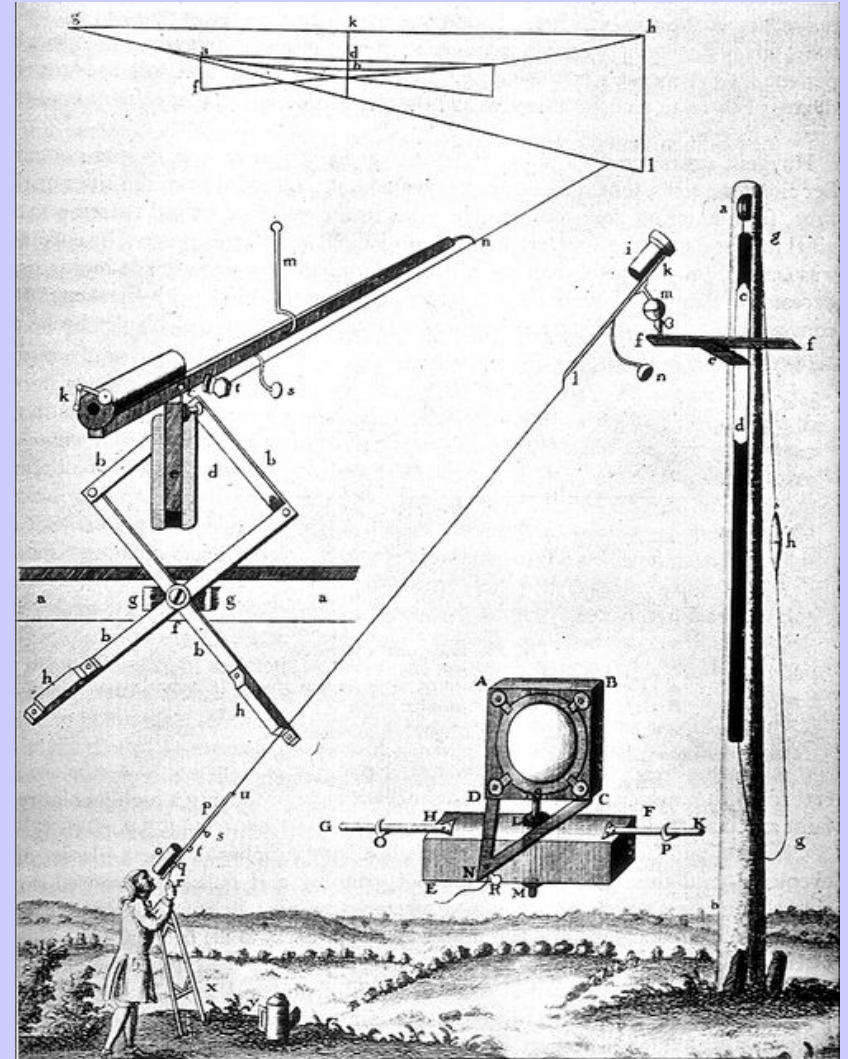
První teorie: Kepler 1611

- Keplerův dalekohled

17. stol. prodlužování

Hugyens

- objev Titanu (20cm/60m)
- prstence Saturnu



Historie...

2. pol. 17. stol. Newton

- studium barevné vady
- kovové zrcadlo
- Newtonův dalekohled

první exemplář 1671
2,5cm/15cm



Historie...

1729 Hall/Dollond, první achromát

- přesná měření poloh
- první katalogy teleskopických hvězd

2. pol. 18. stol. zvětšování průměrů zrcadel

W. Herschel

- objev Uranu (15cm)
- měsíce Uranu (50cm), čep. Marsu, dvojhvězdy
- největší teleskop 180cm

Historie...

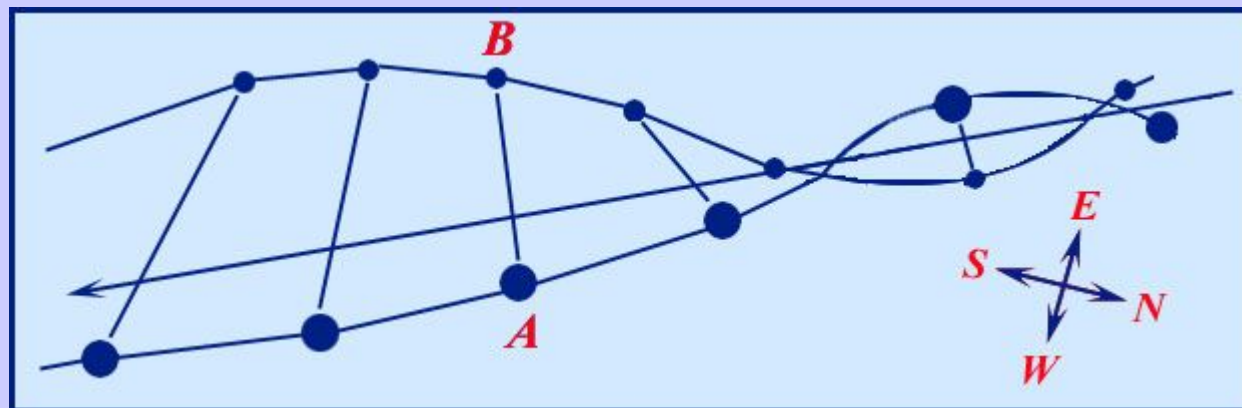
19. stol. pokrok ve výrobě skla

Fraunhofer

- flintové disky 10-35cm
- přesné měření barev --> objev absorpčních čar ve slunečním spektru

Clark

- 1862 Sirius B (testování 44cm objektivu)
- 1871 měsíce Marsu



Historie...

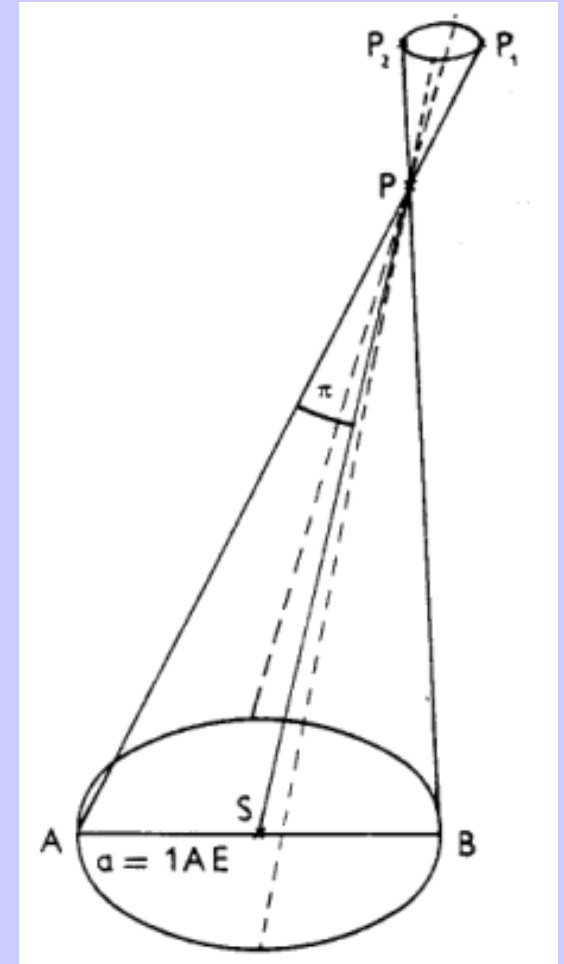
Pokrok v pozorovací technice

- Fraunhofer, heliometr
- vzájemné polohy objektů
- zdánlivý průměr objektů
- sluneční paralaxy, Airy 1874
- průměry planet
- paralaxy blízkých hvězd, 1840
- astrofyzika

1871 suchý fotografický proces

- fotograf. měření poloh
- mlhoviny, galaxie
- fotogr. atlasy

1890 Michelson, průměry hvězd



Historie

1897 Yerkes observatoř, G.E. Hale

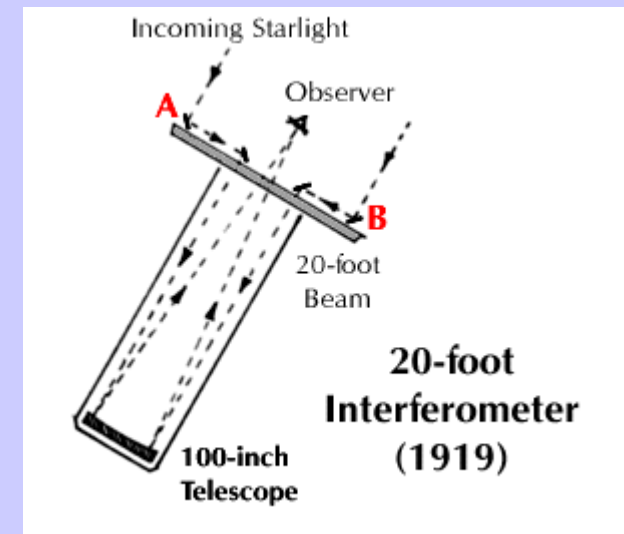
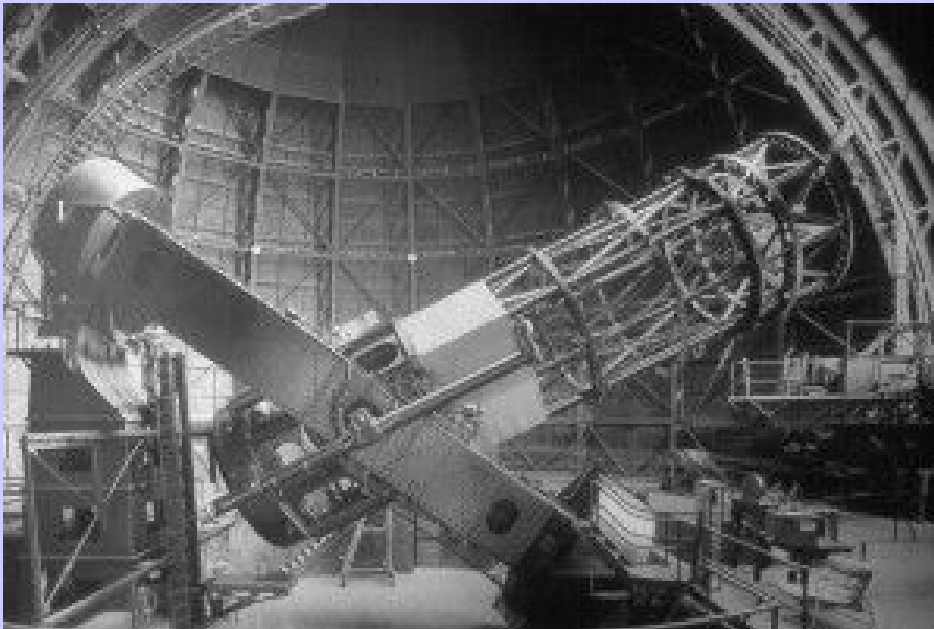
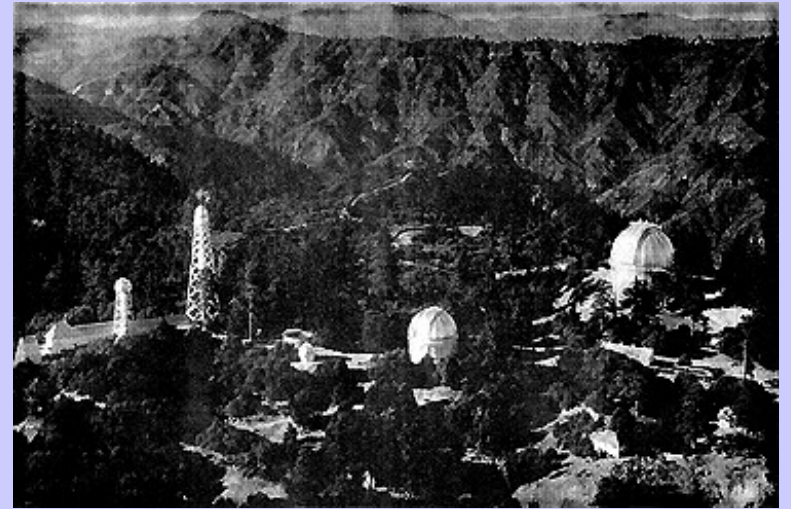
dodnes největší refraktor
102cm/19m



Historie...

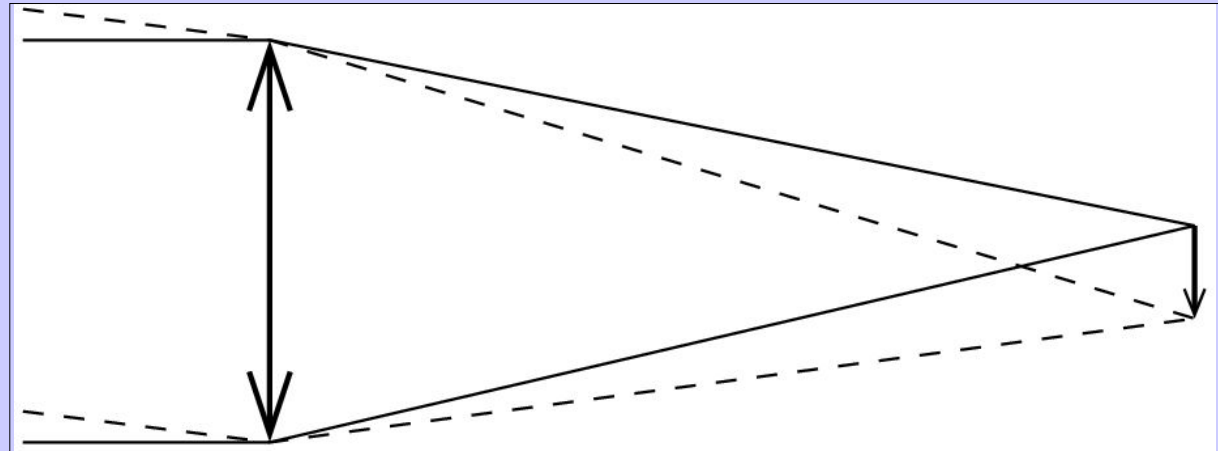
pol. 19. stol. Foucalt, stříbření skla
1919 Mt. Wilson 2,5m

- teploty planet
- rozlišení M31, M33
- Cefeidy
- rozpínání vesmíru

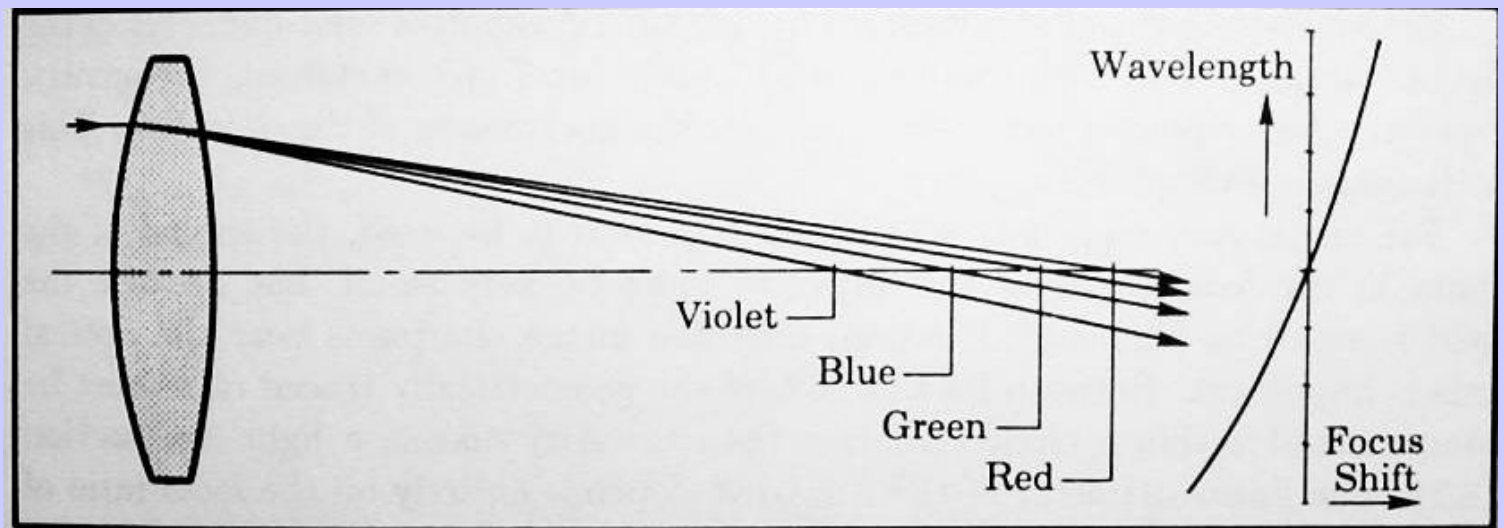


Refraktor

Princip:



barevná vada:

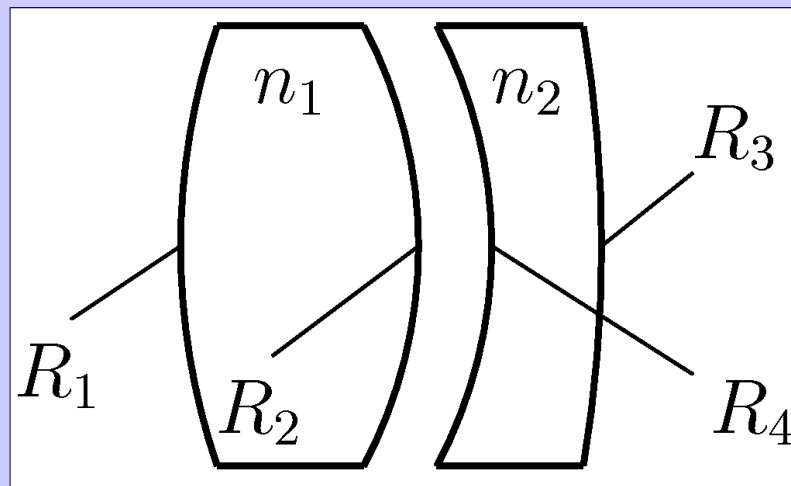


index lomu závisí na barvě světla (disperze)

Refraktor...

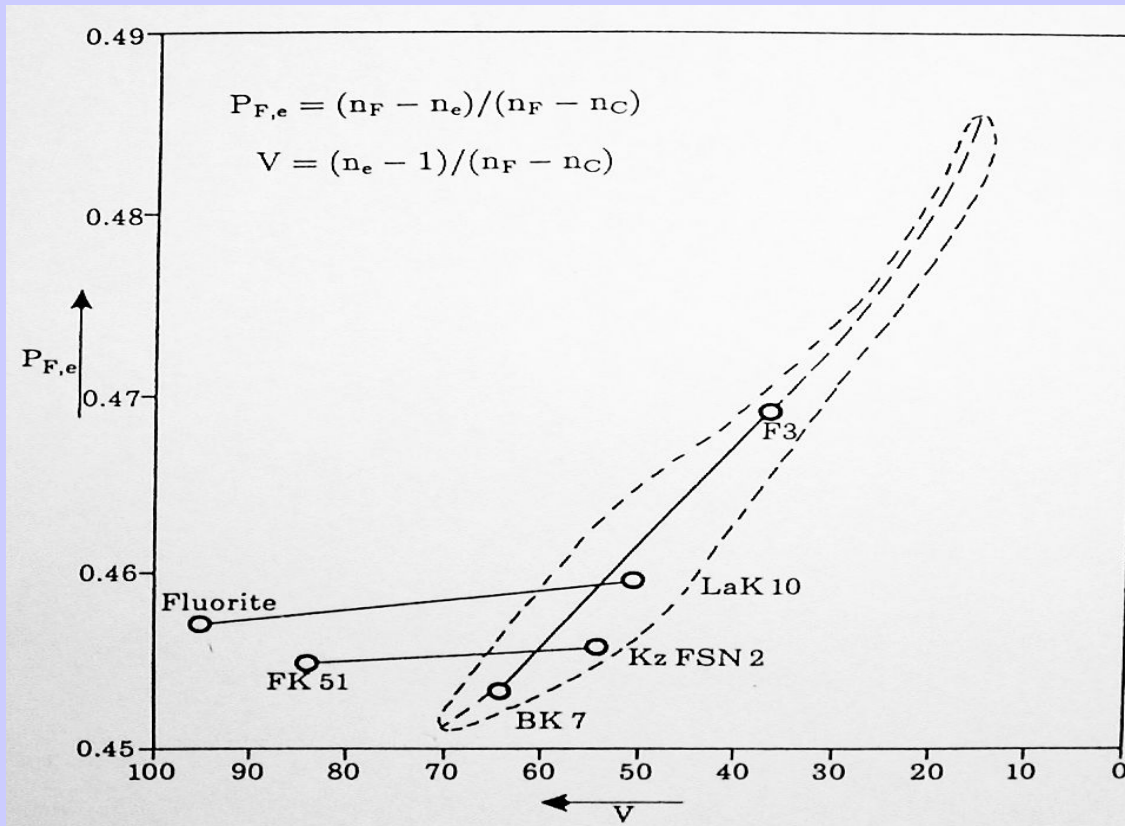
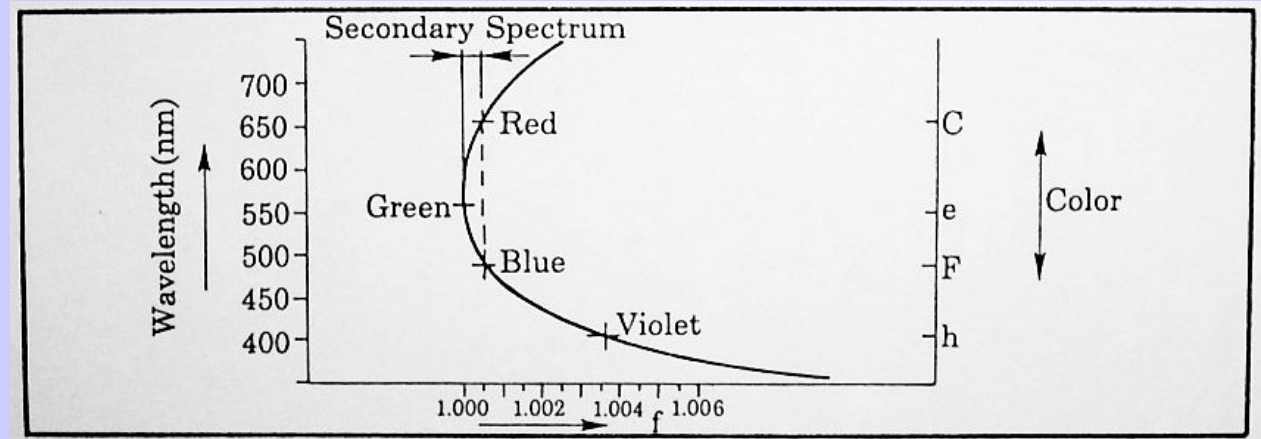
6-Digit Number	Glass Type	Cost vs. BK 7	Glass Density	n_r	n_c	n_d	n_e	n_F	n_g	n_h
434954	Fluorite	?	?	1.43171	1.43249	1.43388	1.43496	1.43704	1.43949	1.44151
437907	FK 54	19.83	3.18	1.43467	1.43552	1.43700	1.43815	1.44034	1.44291	1.44501
458678	Quartz	?	?	1.45515	1.45637	1.45846	1.46008	1.46313	1.46670	1.46962
465658	FK 3	2.97	2.27	1.46107	1.46232	1.46450	1.46619	1.46939	1.47315	1.47626
471673	FK 1	?	2.31	1.46728	1.46853	1.47069	1.47236	1.47552	1.47924	1.48230
479587	TiK 1	?	2.39	1.47479	1.47621	1.47869	1.48063	1.48436	1.48880	1.49249
486818	FK 52	18.58	3.64	1.48320	1.48424	1.48605	1.48747	1.49018	1.49337	1.49601
487704	FK 5	2.69	2.45	1.48410	1.48535	1.48749	1.48914	1.49227	1.49593	1.49894
487845	FK 51	13.54	3.73	1.48379	1.48480	1.48656	1.48794	1.49056	1.49365	1.49619
498651	BK 3	?	2.37	1.49457	1.49594	1.49831	1.50014	1.50360	1.50767	1.51101

Achromát



Refraktor...

Achromatizace



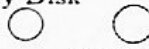
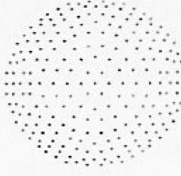
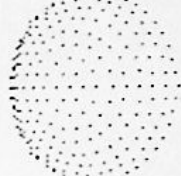
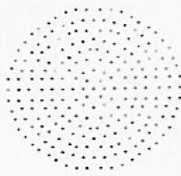
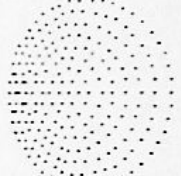
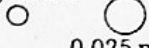
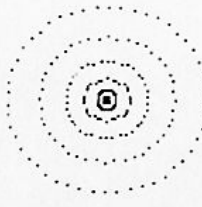
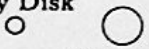
P-V diagram

Refraktor...

běžná skla:

fluoritové sklo:

fluorit:

System	Color	Off-axis Distance (mm)			
		0	10	20	30
Fraunhofer 200 mm f/15 $R_{\text{field}} = -875 \text{ mm}$ Airy Disk  0.025 mm	R				
	G				
	B				
Apoklaas 200 mm f/10 $R_{\text{field}} = -735 \text{ mm}$ Airy Disk  0.025 mm	R				
	G				
	B				
	V				
Fluorite 200 mm f/8 $R_{\text{field}} = -576 \text{ mm}$ Airy Disk  0.025 mm	R				
	G				
	B				
	V	Blur Diameter = 0.2 mm			

Refraktor...

Nevýhody

- dlouhá stavební délka
- větší náklady na dóm
- drahý objektiv
- absorpce ve skle

Výhody

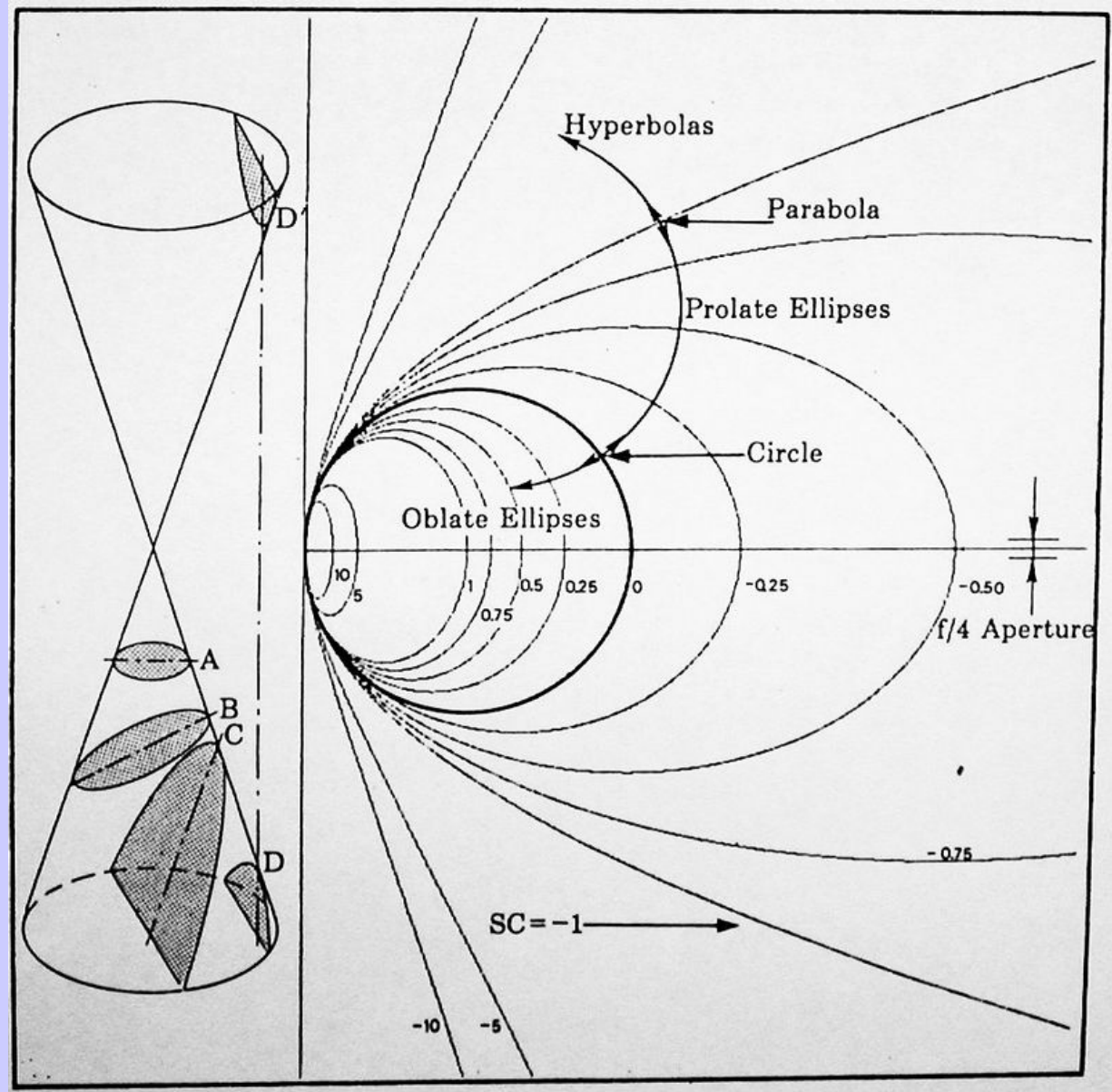
- celkově stabilnější konstrukce
- nezacloněná apertura
- výhodný pro malé průměry

Reflektor

Kuželosečky

rotační:

- elipsoid I
- sféroid
- elipsoid II
- paraboloid
- hyperboloid

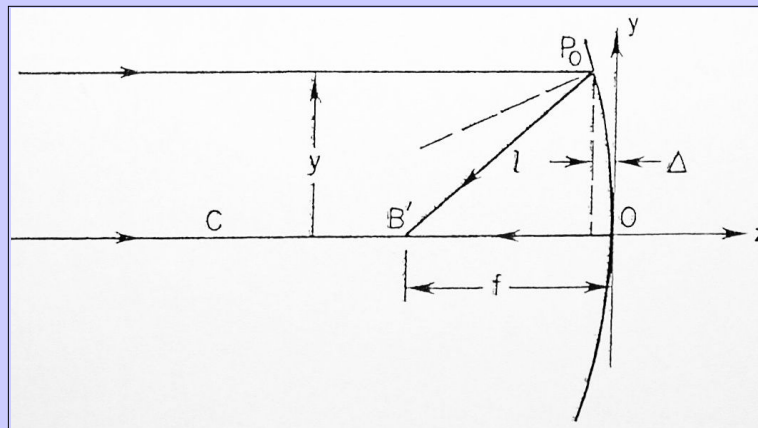


Reflektor...

Zobrazení

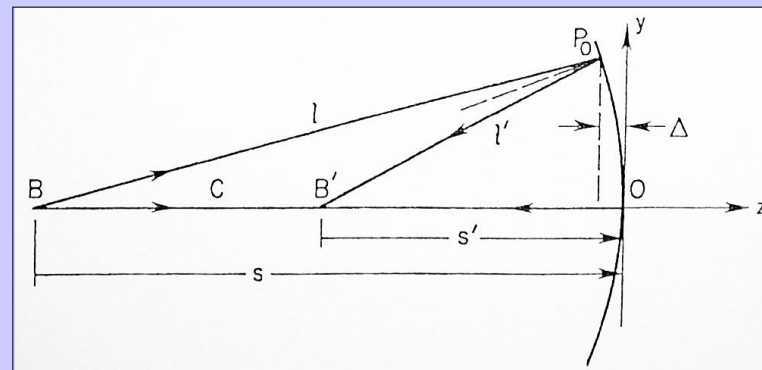
- parabola

$$\infty \rightarrow f$$



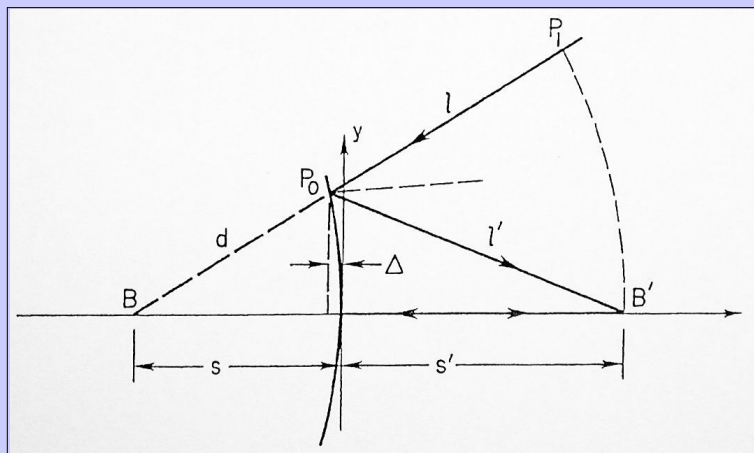
- elipsa

$$s \rightarrow s' \quad (\text{reálný})$$



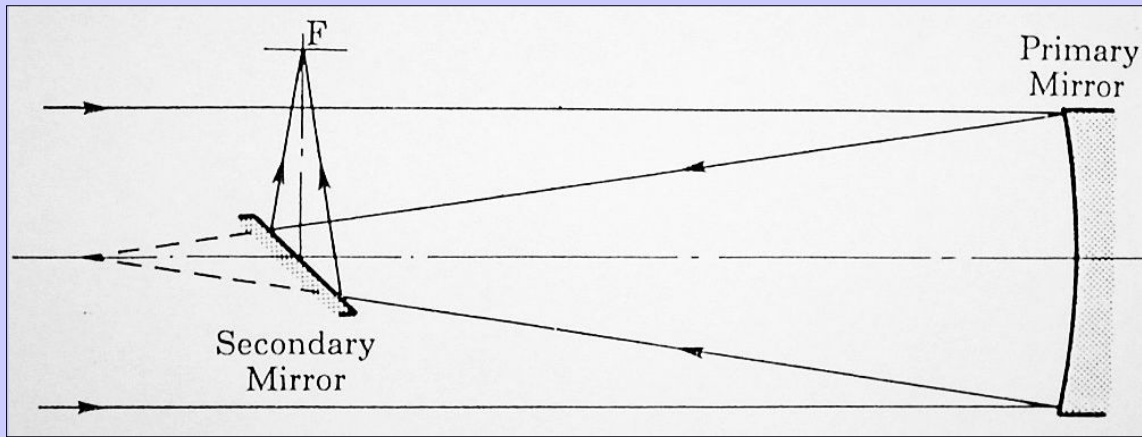
- hyperbola

$$s \rightarrow s' \quad (\text{virtuální})$$



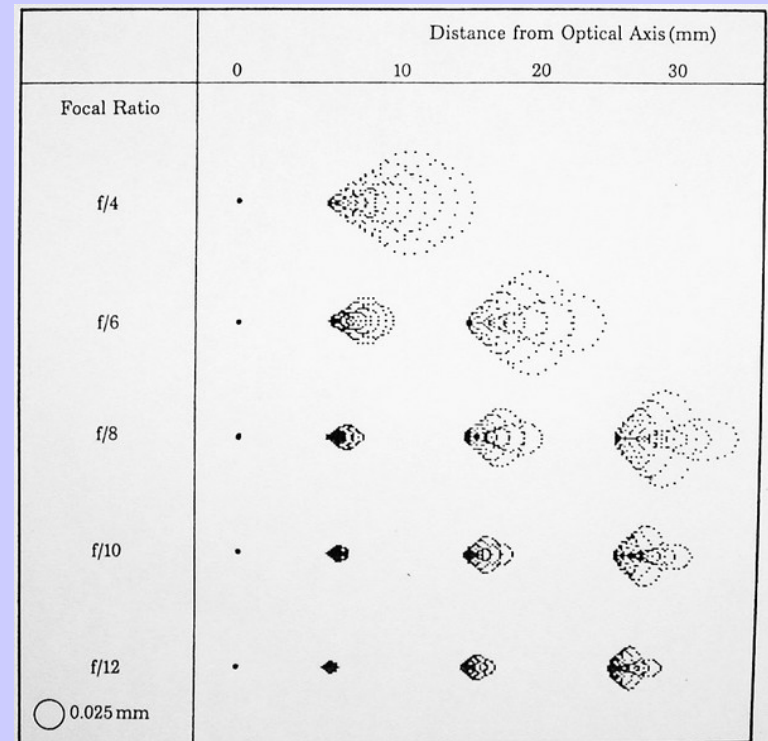
Reflektor

Jedno zrcadlo (typ Newton)



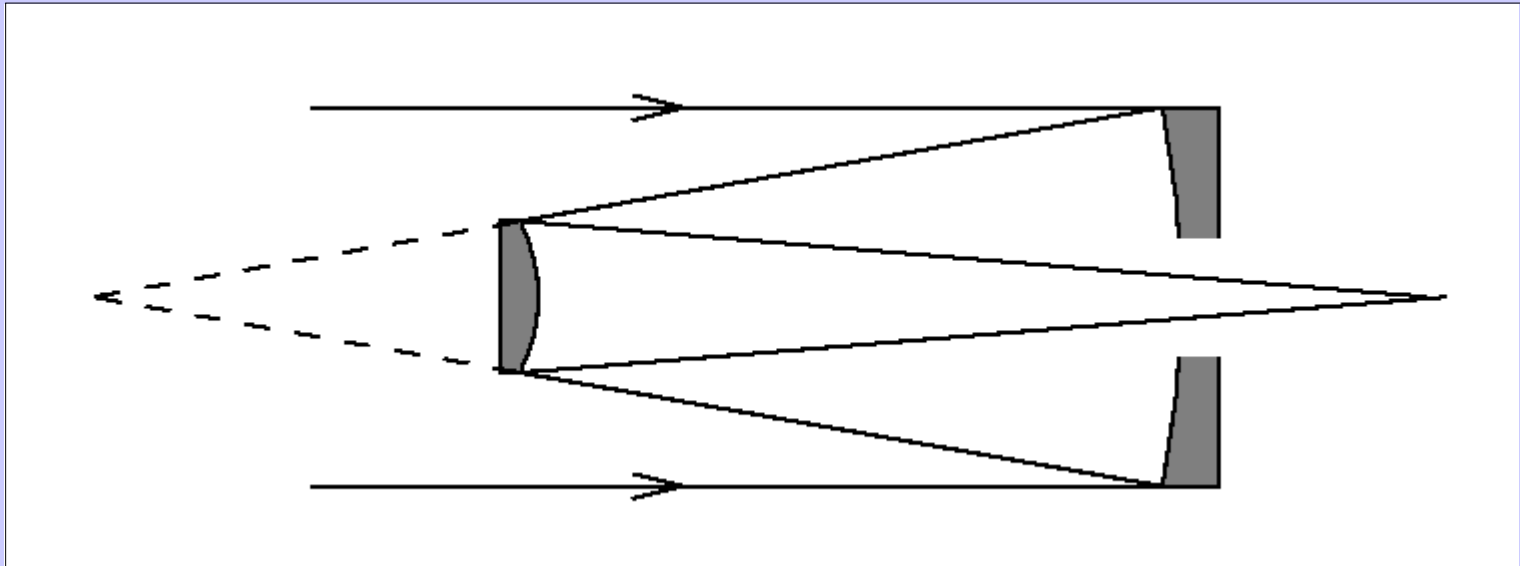
parabolické zrcadlo

Focal ratio	$\Delta z(\text{mm})$
$f/4$	0.00306
$f/6$	0.00091
$f/8$	0.00038
$f/10$	0.00020
$f/12$	0.00011



Reflektor...

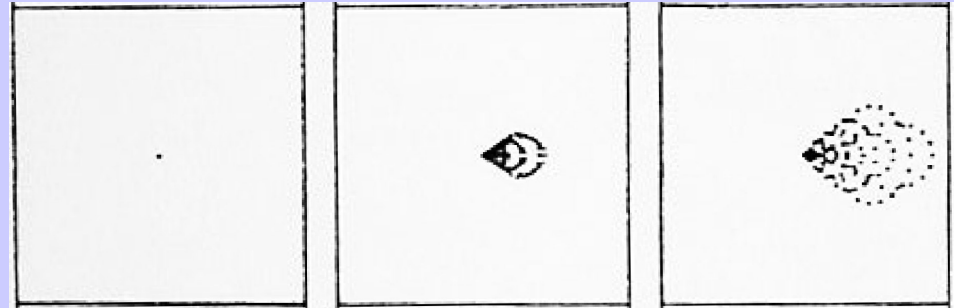
Dvě zrcadla (typ Cassegrain)



- klasický Cassegrain
M1 parabola, M2 hyperbola
- klasický Gregory
M1 parabola, M2 elipsa

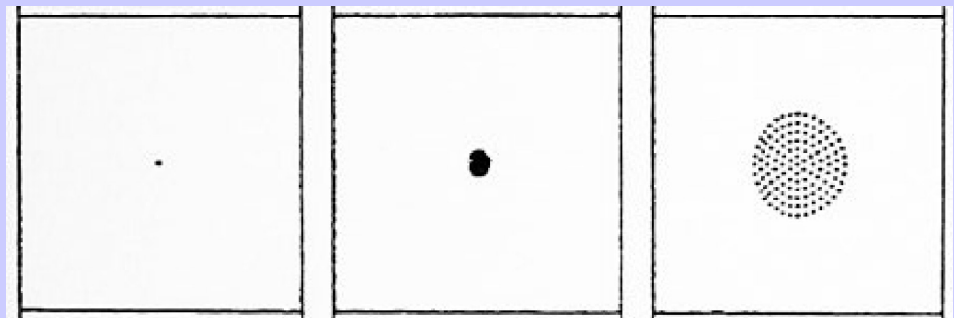
Reflektor...

Ostrý střed pole



- tvar (asféricita) M2 závisí na zvoleném tvaru M1

Ostrý střed a *symetrický* obraz mimo střed



- tvar M1 a M2 dán (dva hyperboloidy)
- Ritchey-Crétien, typická volba pro obří teleskop

Katadioptrické systémy

Cassegrain: malé zorné pole (úhl. minuty)

Nehodí se pro

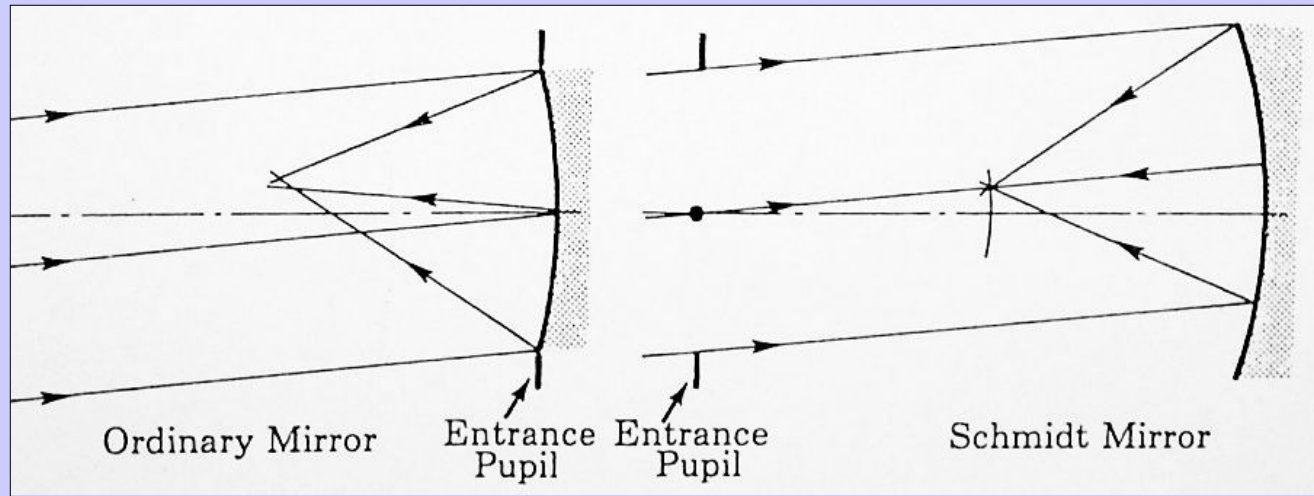
- zobrazení velkých objektů
- přehlídky oblohy

Potřeba velmi světelných přístrojů s velkým zorným polem (úhl. stupně)

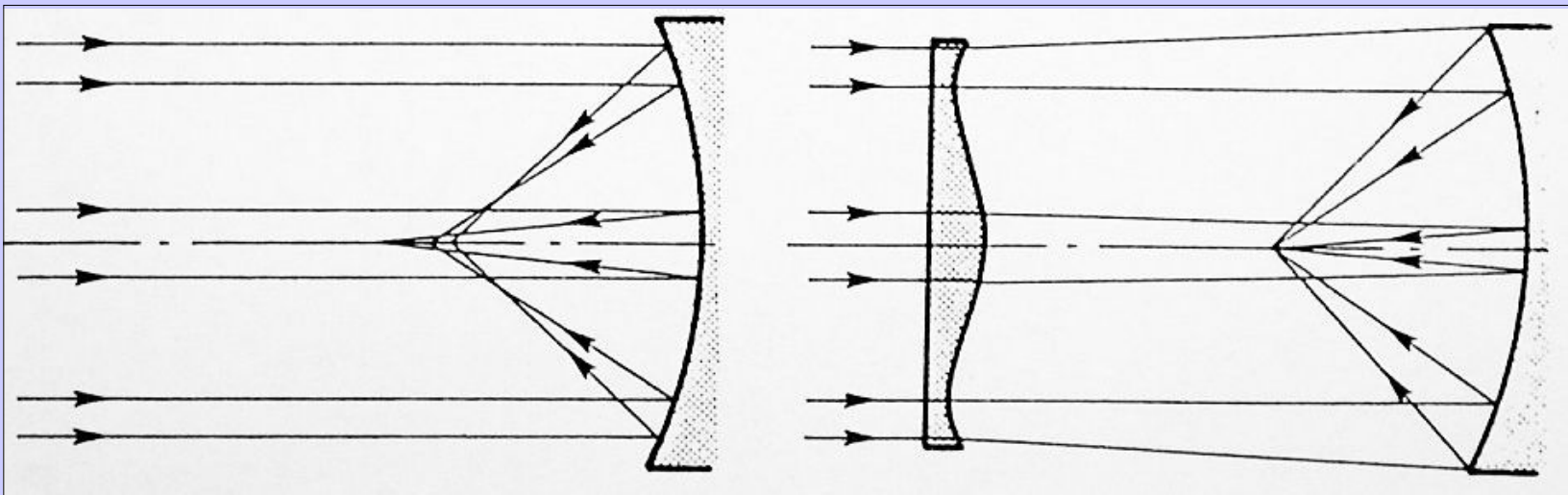
30. léta 20. století, *Schmidtova komora*

Katadioptrické ...

Princip Schmidtovy komory: sférické zrcadlo + clona

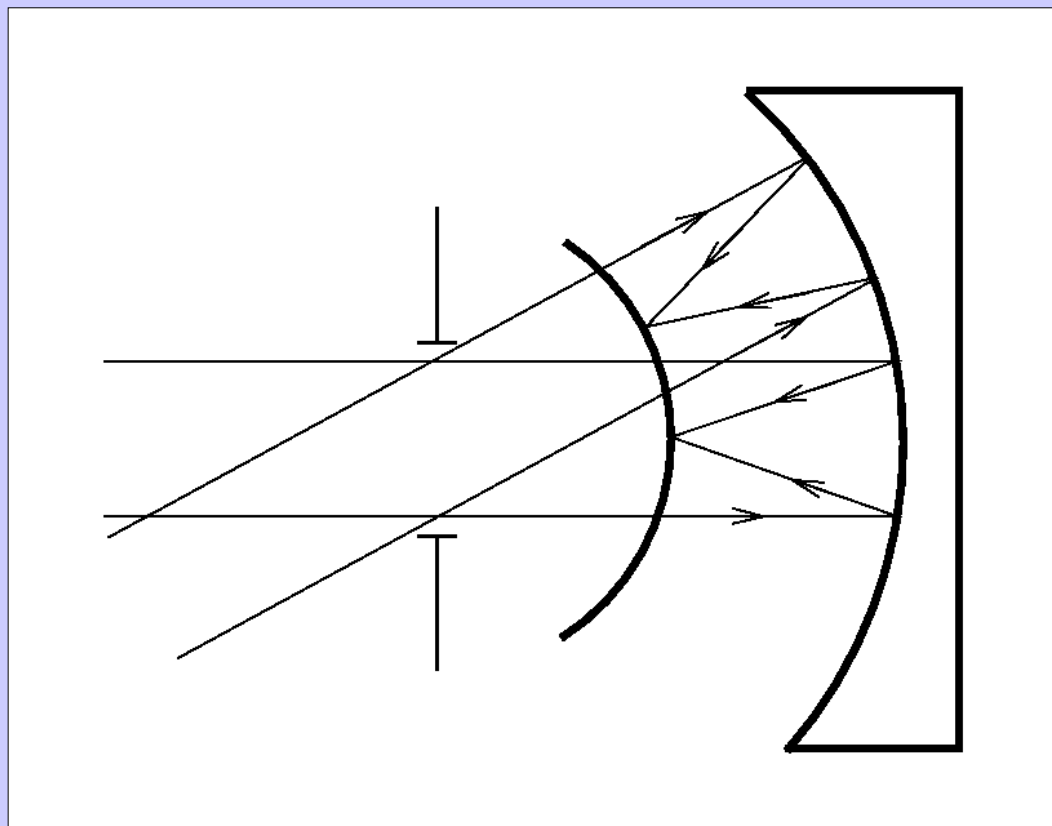


+ asférická korekční deska



Katadioptrické ...

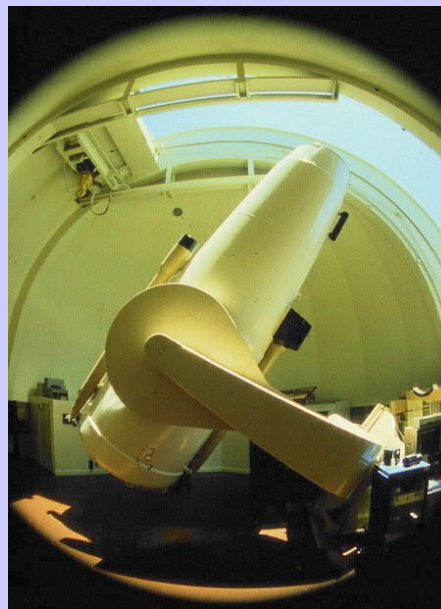
Obráz se vytváří na zakřivené ploše!

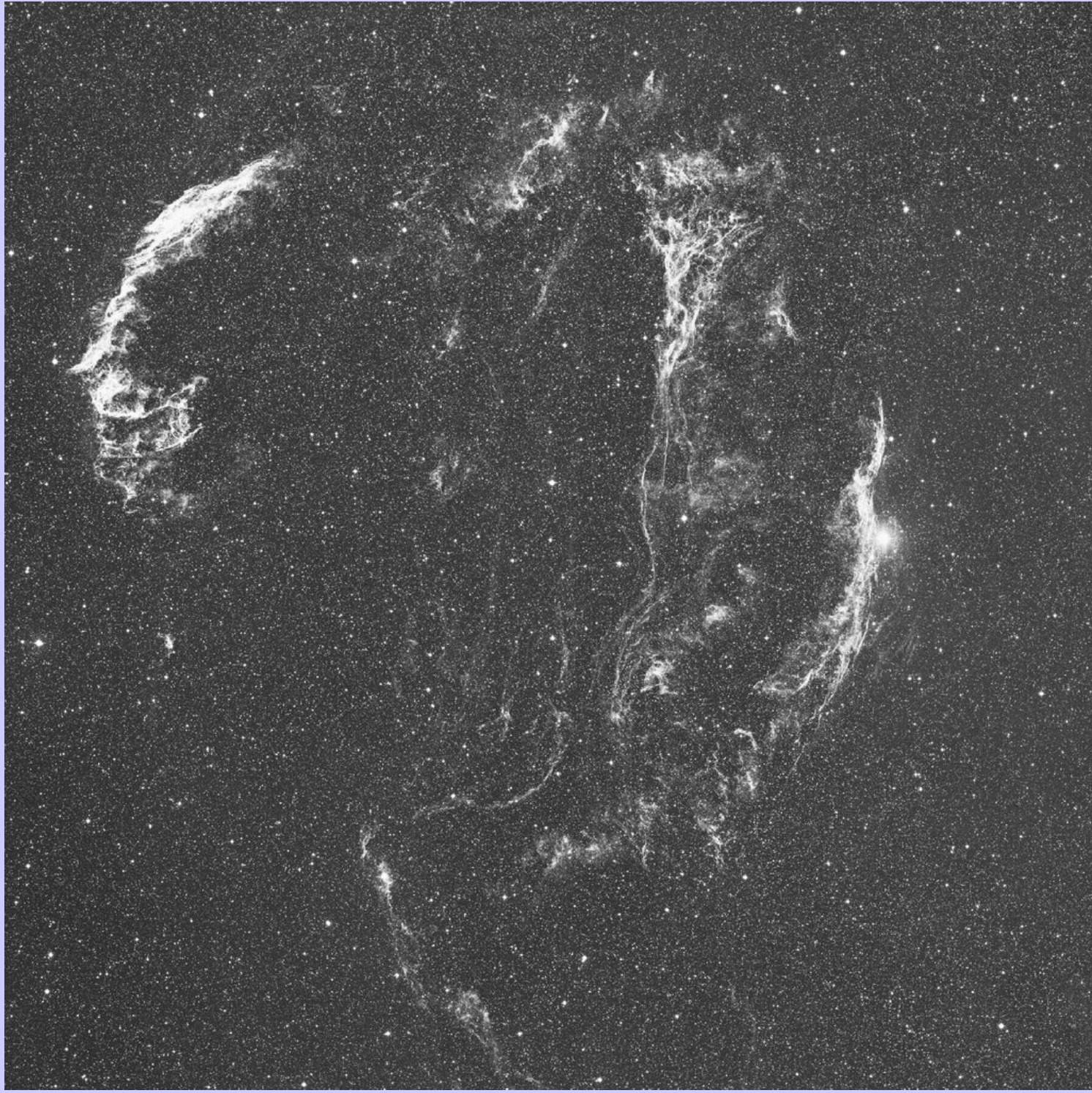


Katadioptrické ...

Tautenburg (zrcadlo 2m)

Mt. Palomar (48")





Řasová mlhovina (Cygnus)



Pleiády M45 (Taurus)

Digitized sky survey (DSS) <http://archive.eso.org/dss/dss>

Moderní astrooptika

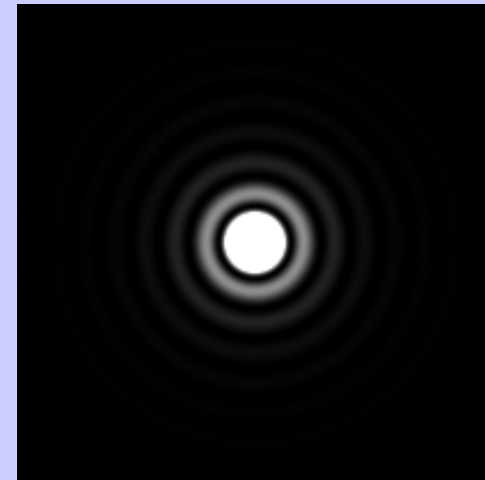
Schopnost pozorovat slabé objekty

- účinnost detektorů
- shromažďování světla závisí na *ploše* vstupní pupily (zrcadla)

Schopnost pozorovat detaily

- rozlišení teleskopu závisí na *průměru* vstupní pupily (zrcadla)

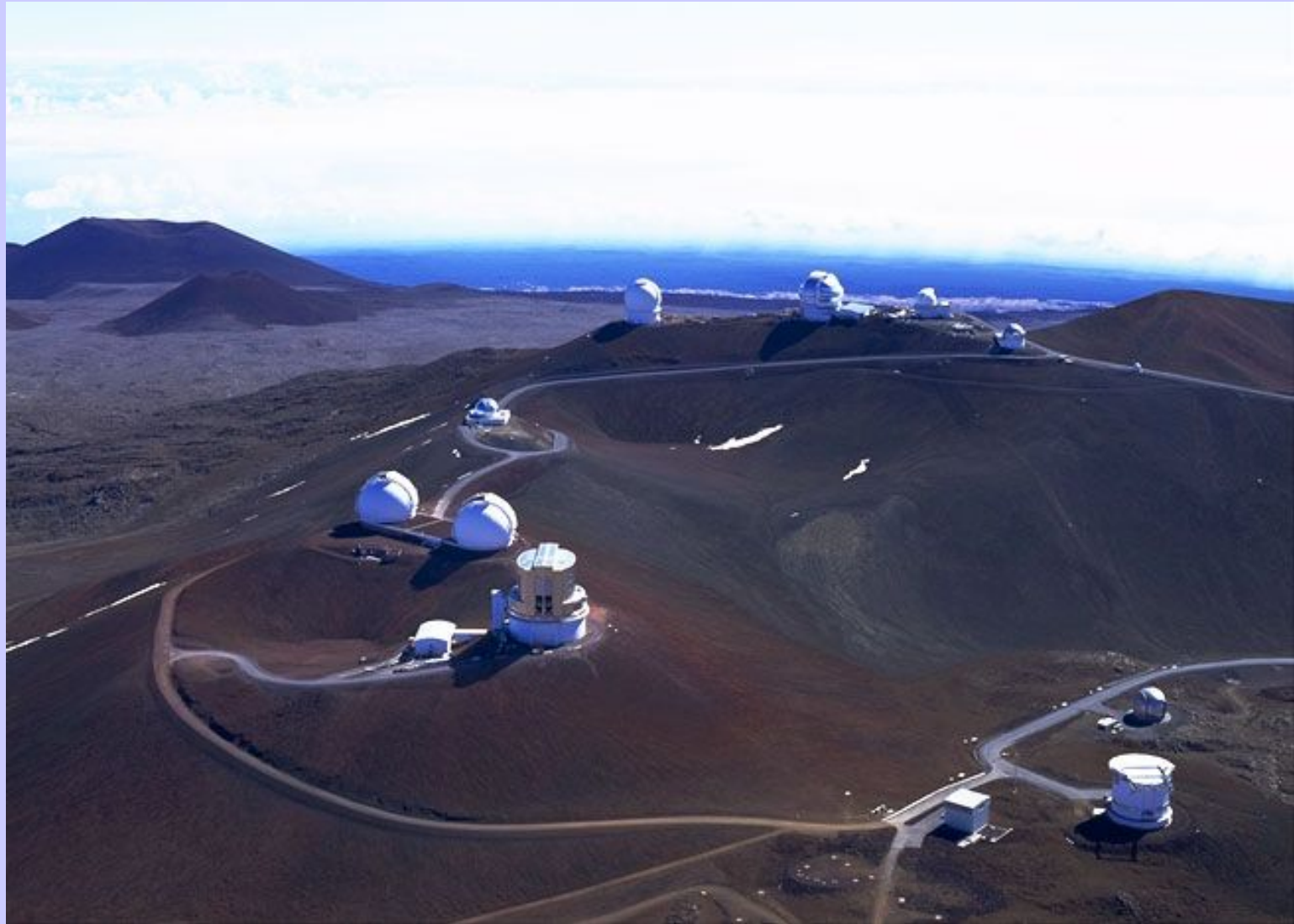
- zvětšování zrcadel
- segmentovaná zrcadla



Velké přístroje

Segmentované zrcadlo

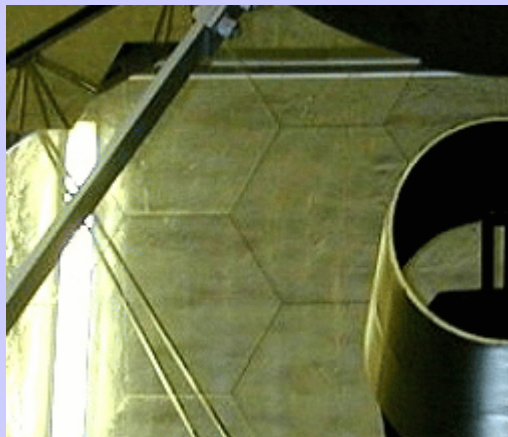
- Keck observatory (Mauna Kea), 36 segmentů, 2x10m uvedeny do provozu 1993/96



Velké přístroje ...



Keck



Velké přístroje ...

Nedělené zrcadlo

- Gemini (Mauna Kea, Cerro Pachón) 8m





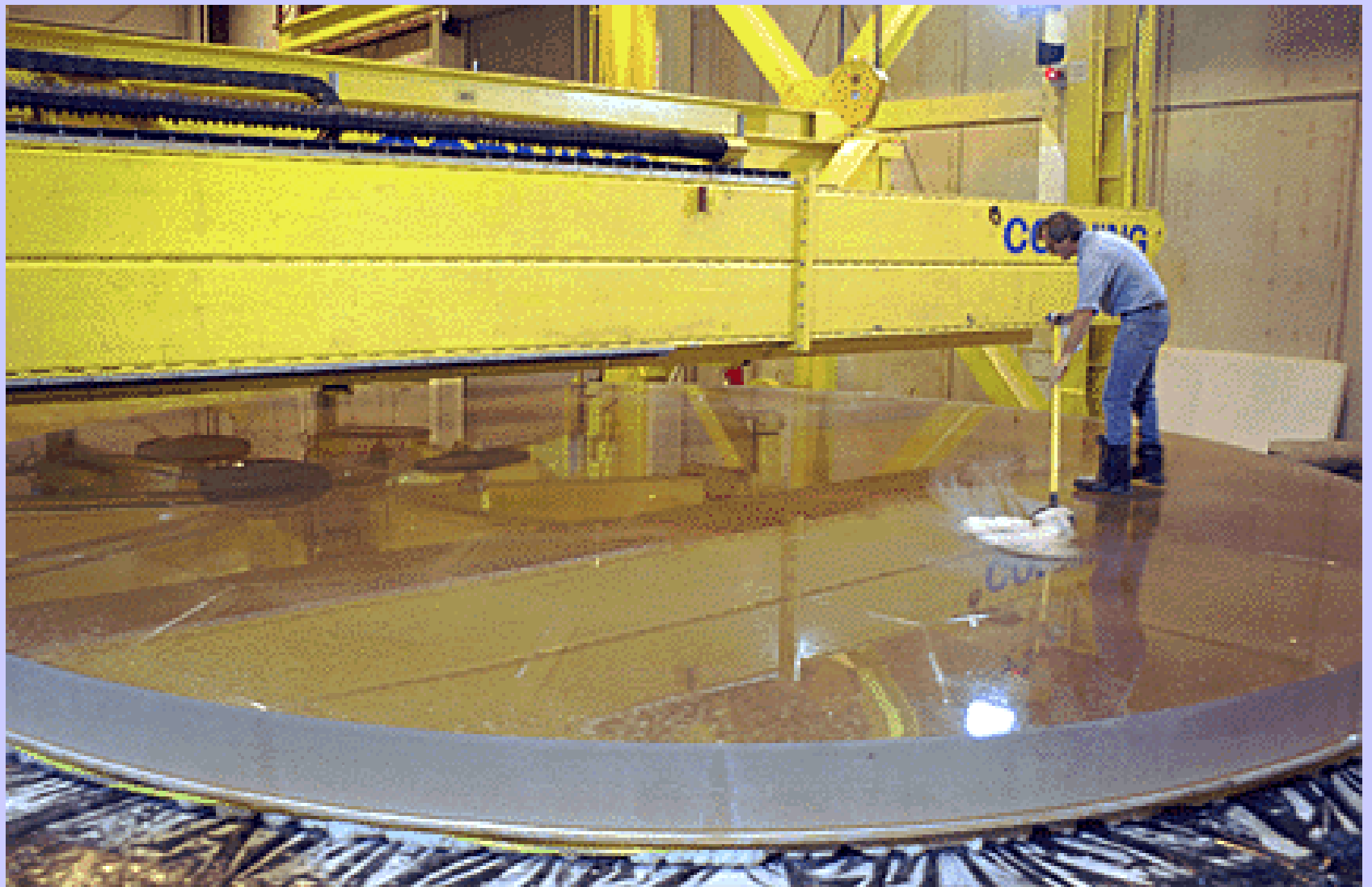


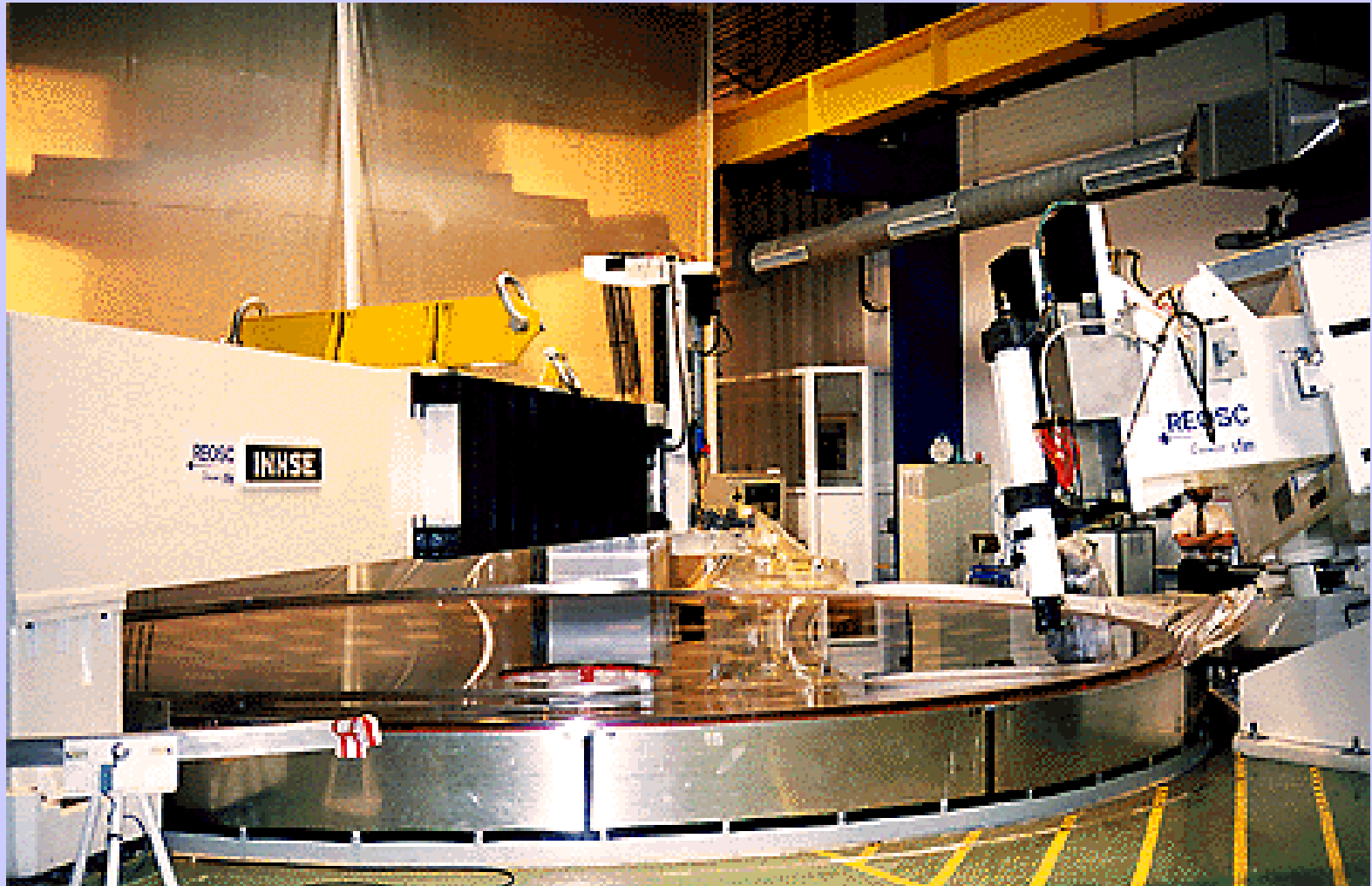


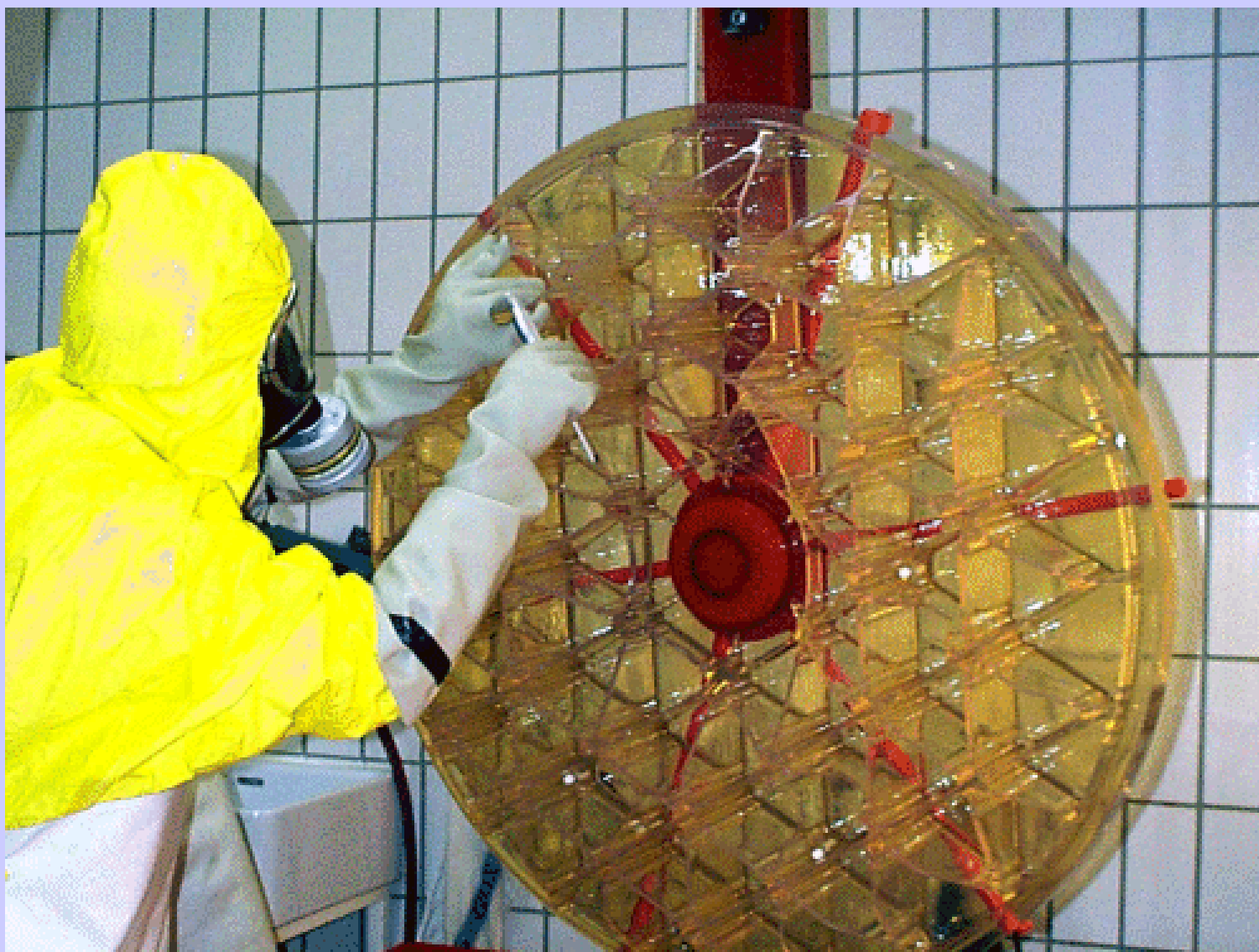


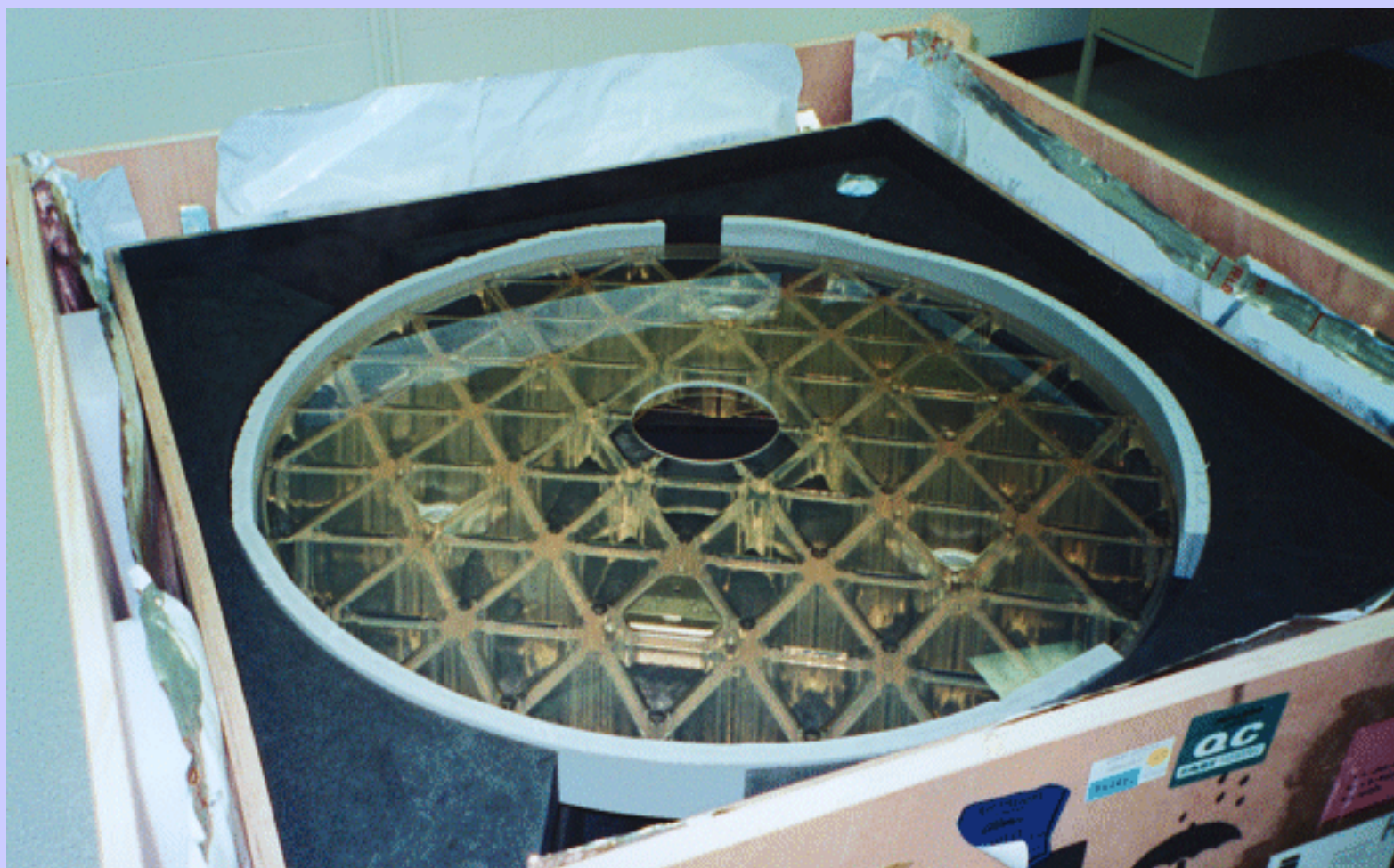
























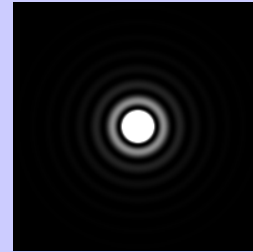






Adaptivní optika

◆ Ideální teleskop



rozlišení

$$\alpha \approx \frac{100''}{D[mm]}$$

t.j. 0.01" pro Keck 10m

tomu odpovídá 17m na Měsíci a 7km na Slunci

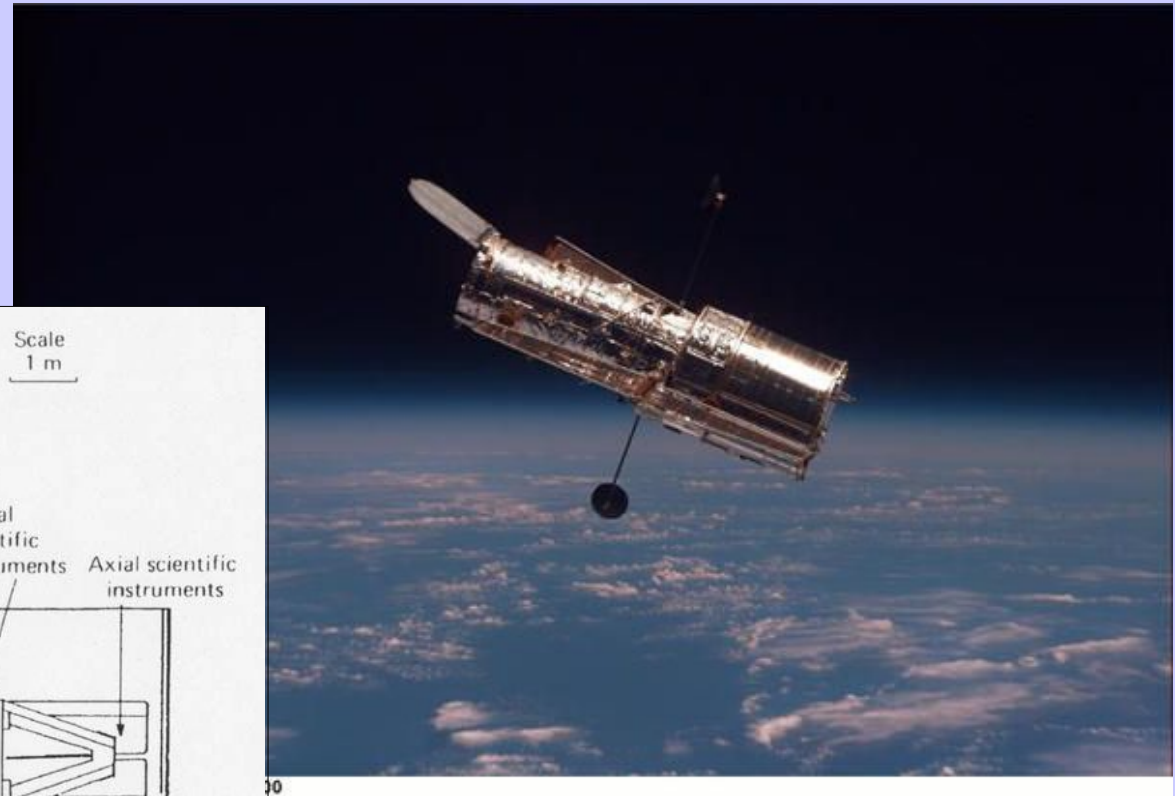
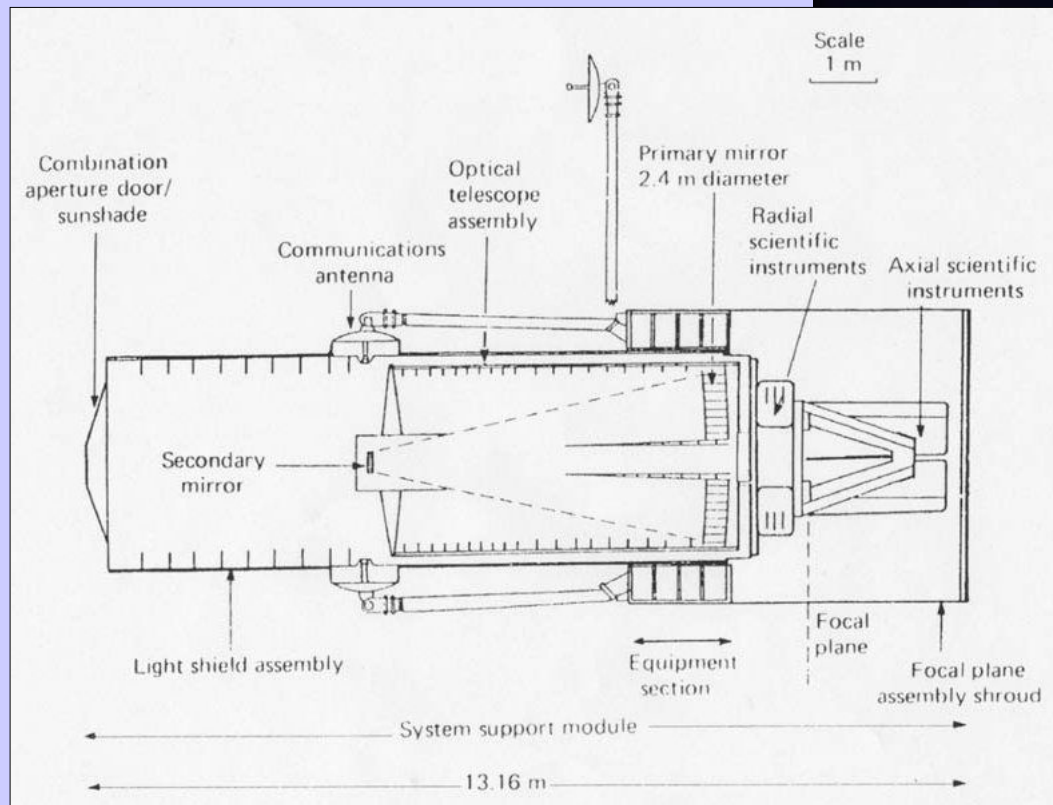
◆ Reálný pozemský teleskop

krátké expozice ~ 0.1", dlouhé expozice ~ 1" (seeing)



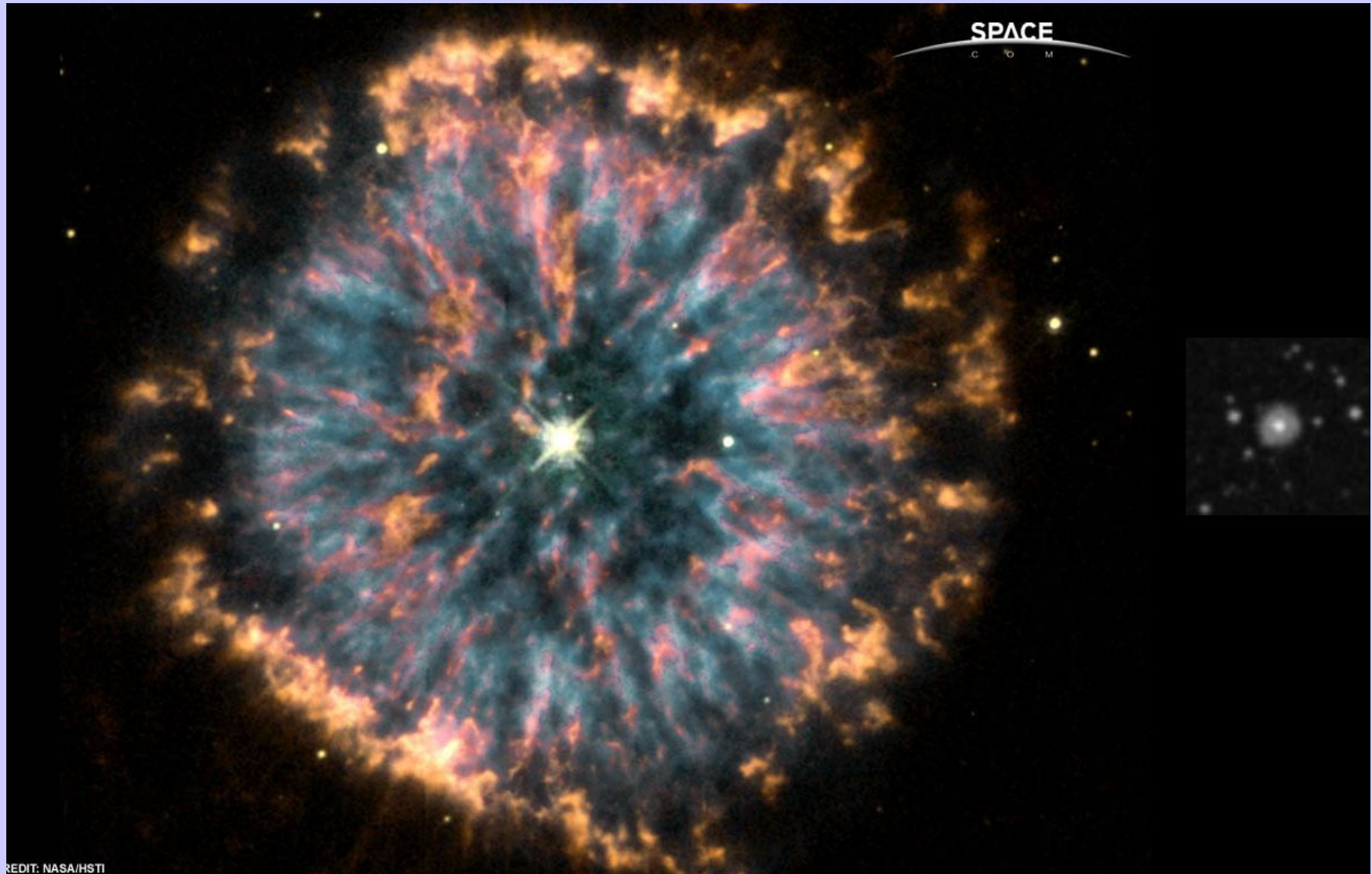
Adaptivní optika ...

◆ HST (Hubble Space Telescope)

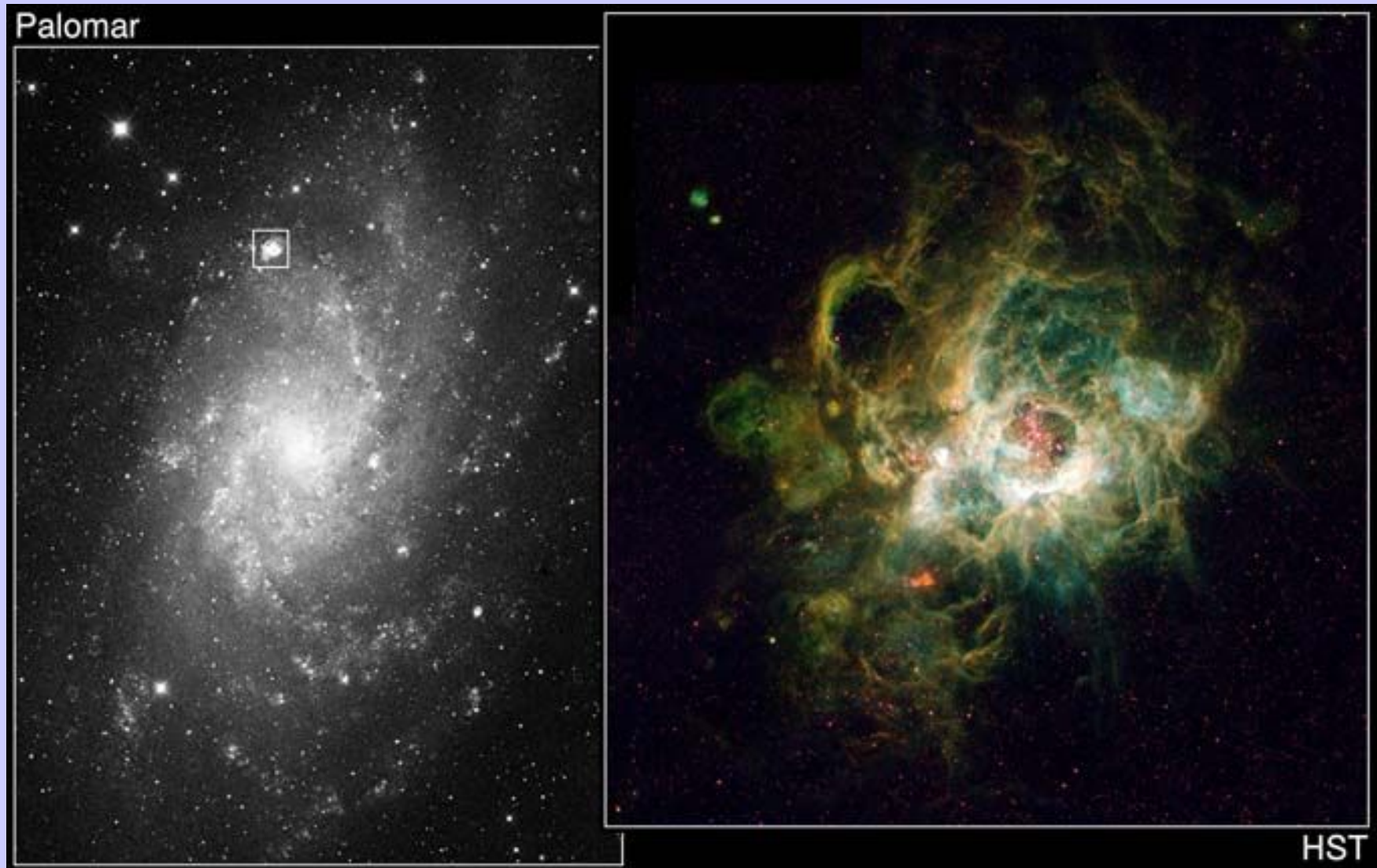


Adaptivní optika ...

NGC 6751



Adaptivní optika ...



Adaptivní optika ...

Teleskopy mimo atmosféru

- + vyloučen vliv atmosféry

- náklady (výroba, umístění, servis, upgrade)

Řešení (částečné)

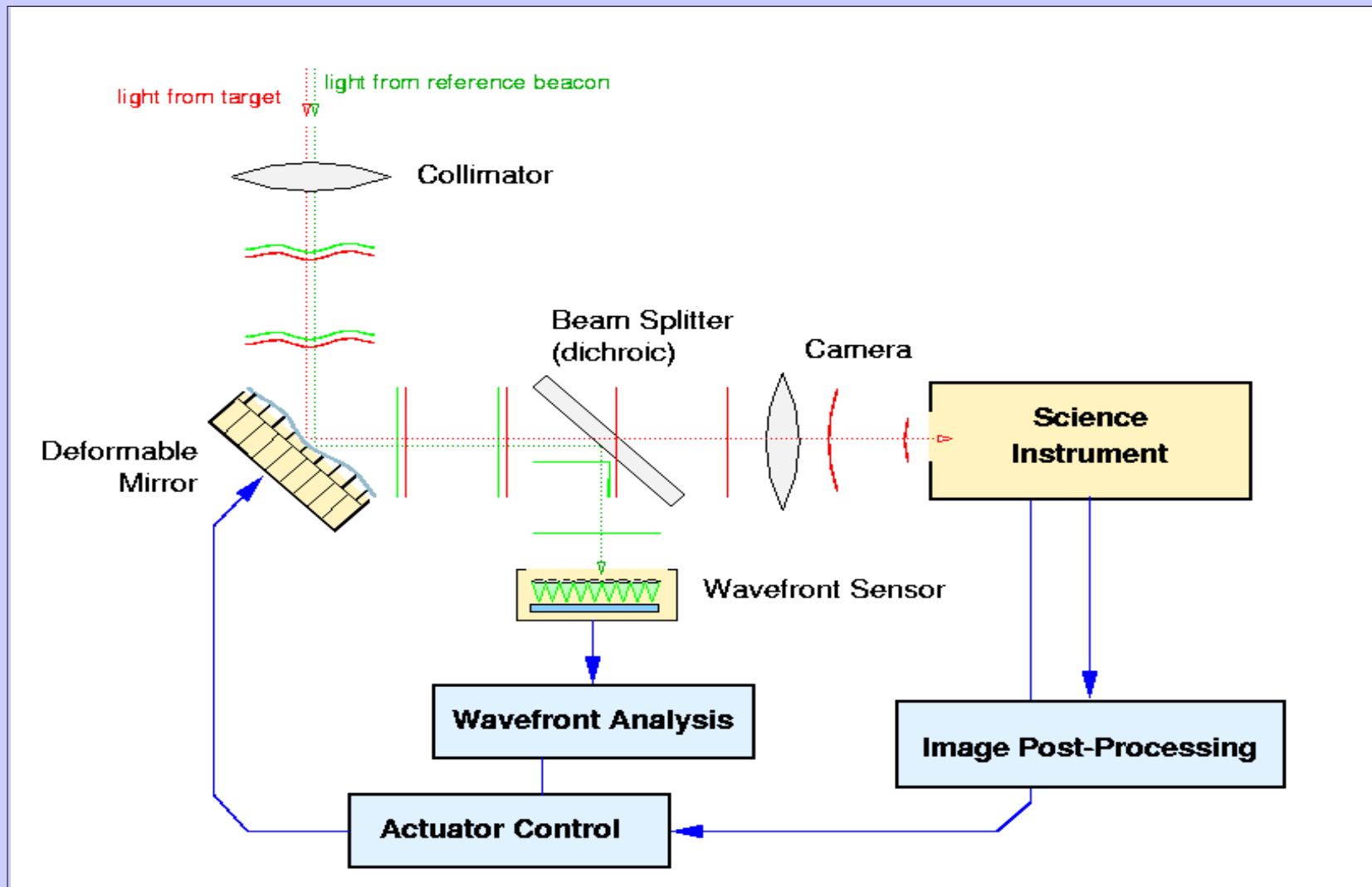
- adaptivní optika, t.j. korekce fluktuací atmosféry
v reálném čase (1kHz)

AO je výpočetně a technologicky velmi náročná

Adaptivní optika ...

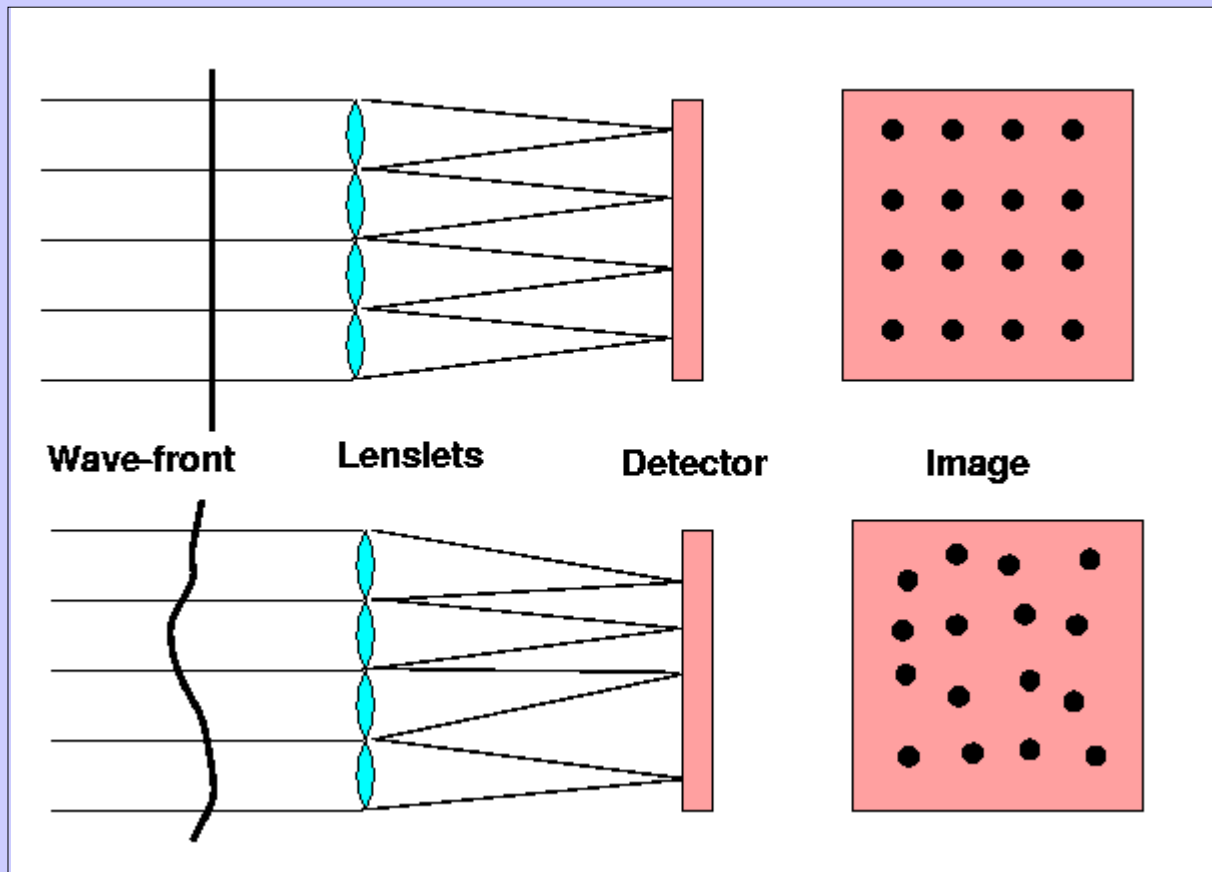
Schéma

- analýza referenčního bodového objektu
- odstranění fluktuací deformovatelným optickým prvkem



Adaptivní optika ...

Senzor vlnoplochy (Shack-Hartmann)



Adaptivní optika ...

Deformable Mirror

Rear View

349 Actuators
on 7 mm spacing

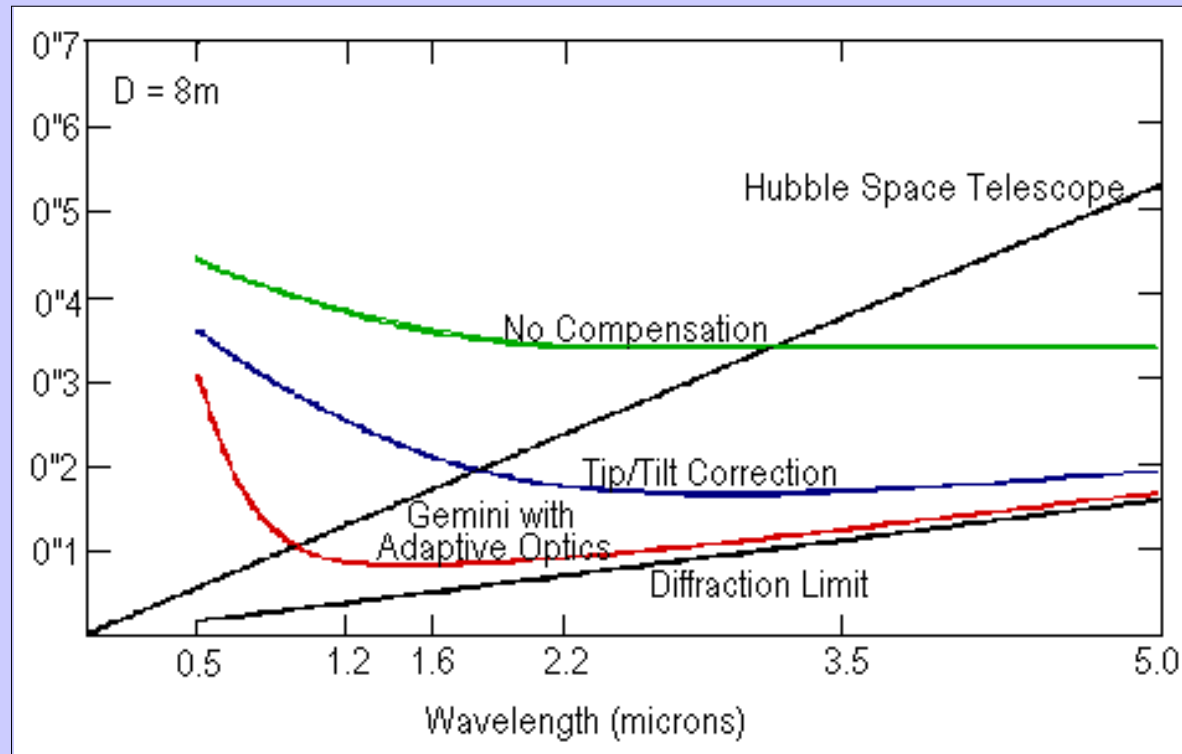


Front View

146 mm diameter
clear aperture



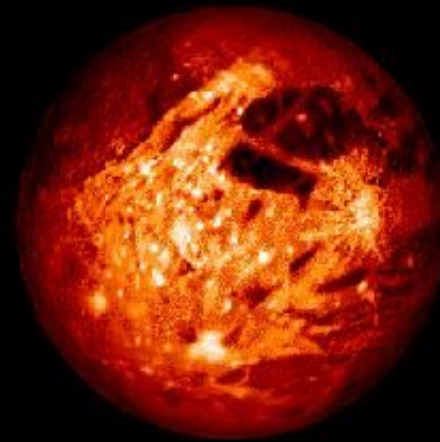
Adaptivní optika ...



V IČ oblasti pozemské teleskopy s AO překonávají HST!

Keck I AO First Light

Ganymede



J band — $1.25\mu\text{m}$

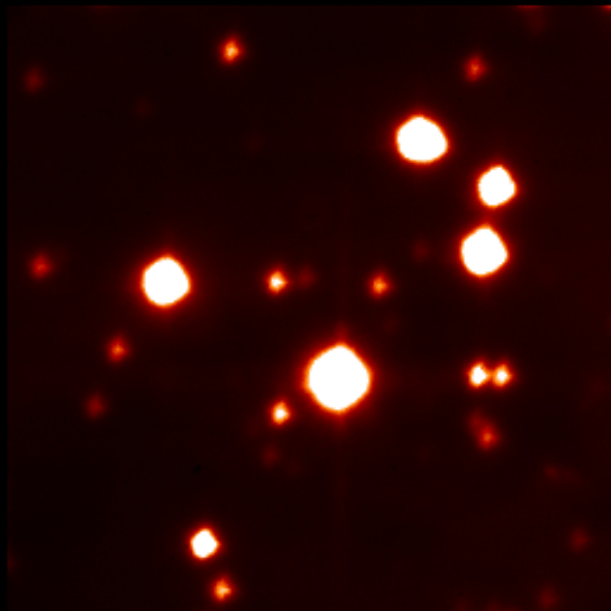
H band — $1.6\mu\text{m}$

— 06:35 UTC

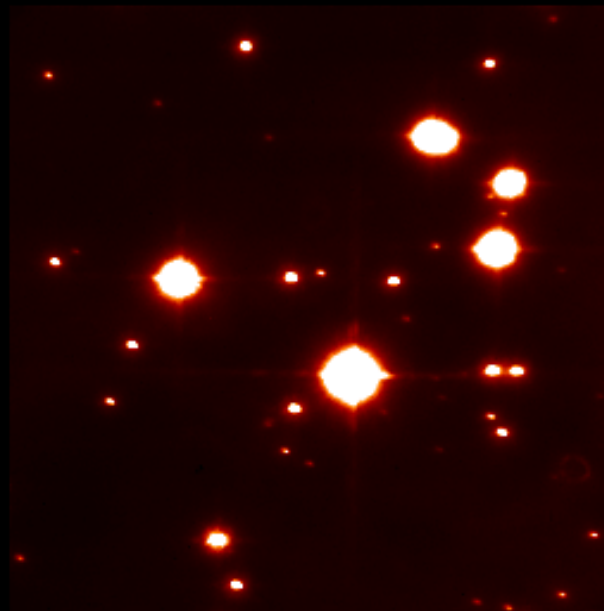
Trapezium Cluster

Palomar AO System + PHARO, 1998 Dec 18

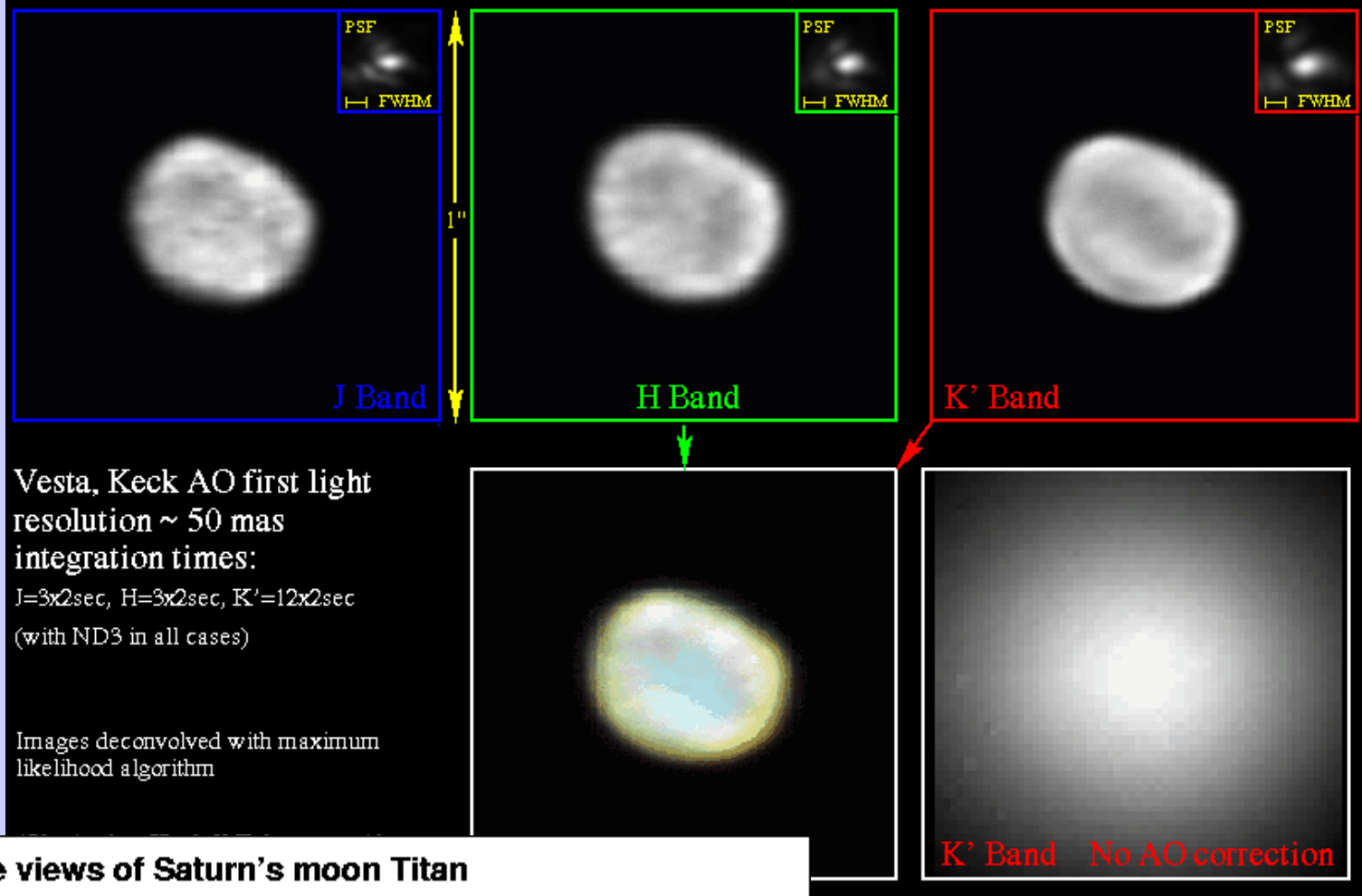
K-band, 10 sec integrations



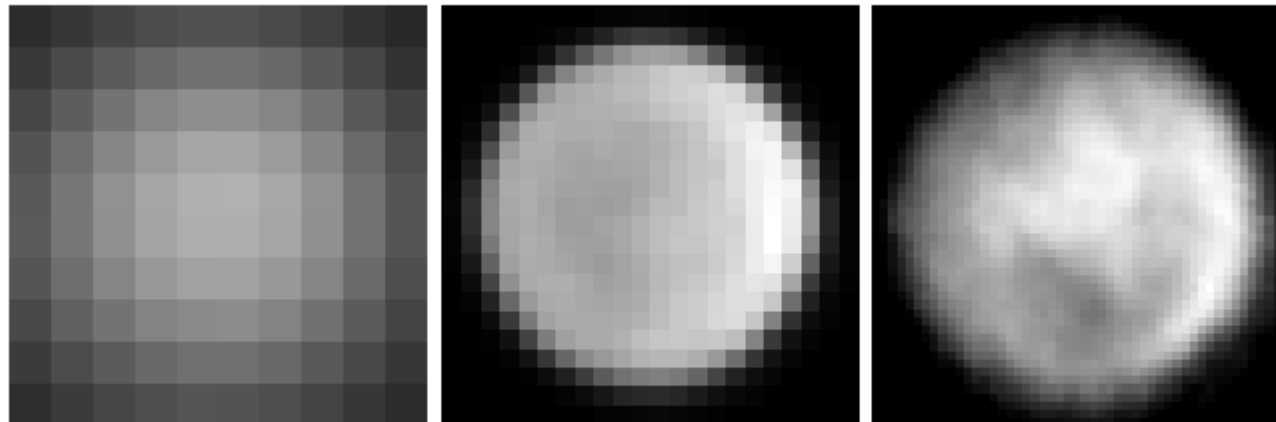
AO Off, FWHM $\sim 1''$



AO On, FWHM $\sim 0.2''$



Three views of Saturn's moon Titan



Typical Ground-based
(uncorrected)

Hubble Space Telescope

Keck speckle-interferometry
image (diffraction-limited at 2 μm)

Výhled do budoucna

Teleskopy

- obří teleskopy řádu 100m
- James Webb space telescope, IČ průměr 6,5m
start ~ 2013, bod L2 (1,5 mil. km od Země)

Adaptivní optika

- laserové referenční hvězdy
- MCAO
- tomografické metody

