

Optyka w astronomii

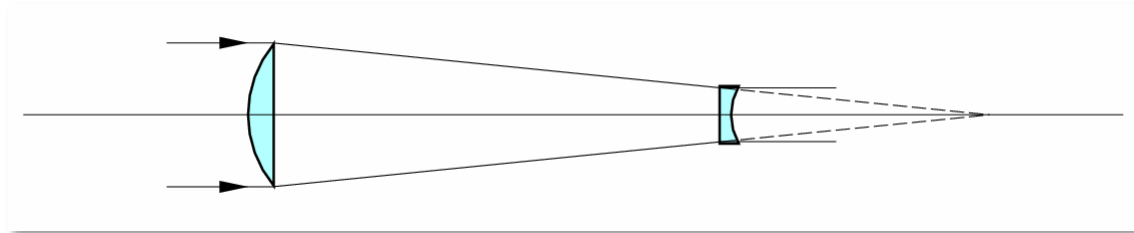
Lunety

Teleskopy

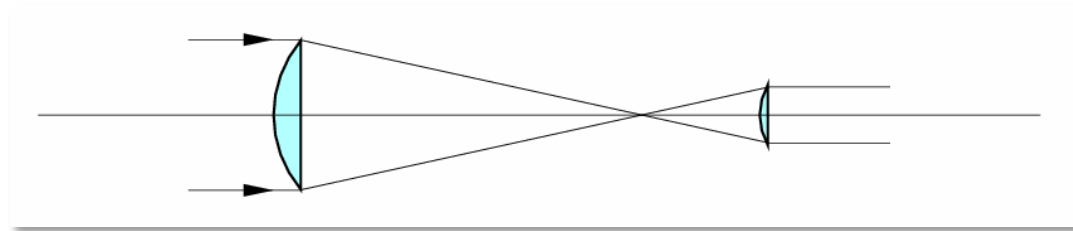
Podglądanie Kosmosu

Historia

- Lunety
 - Galileusza (1564-1642)



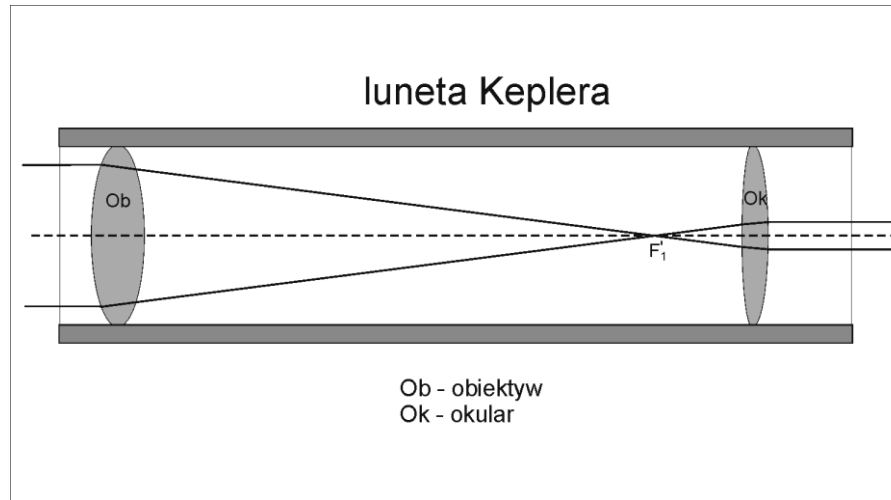
- Keplera (1571-1630)



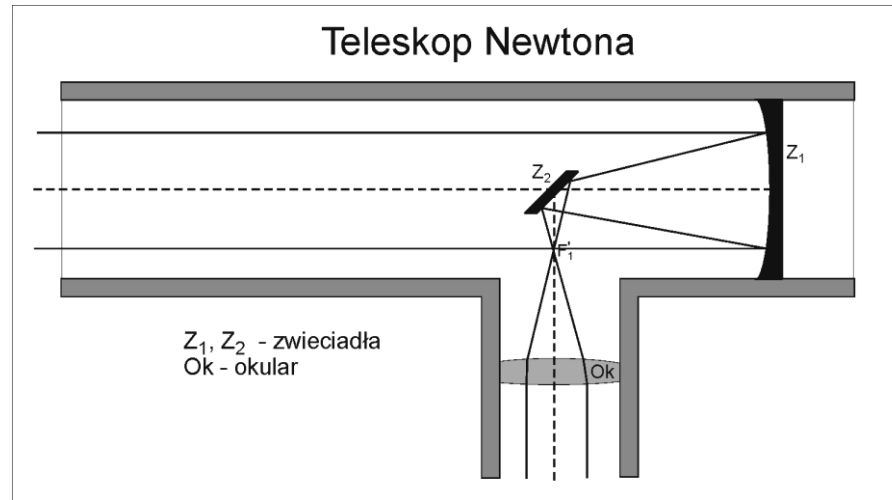
Typy teleskopów

- ☐ Soczewkowe
 - ☐ Soczewkowo-zwierciadlane
 - ☐ Zwierciadlane
-
- ☐ Naziemne
 - ☐ Kosmiczne

Luneta Keplera

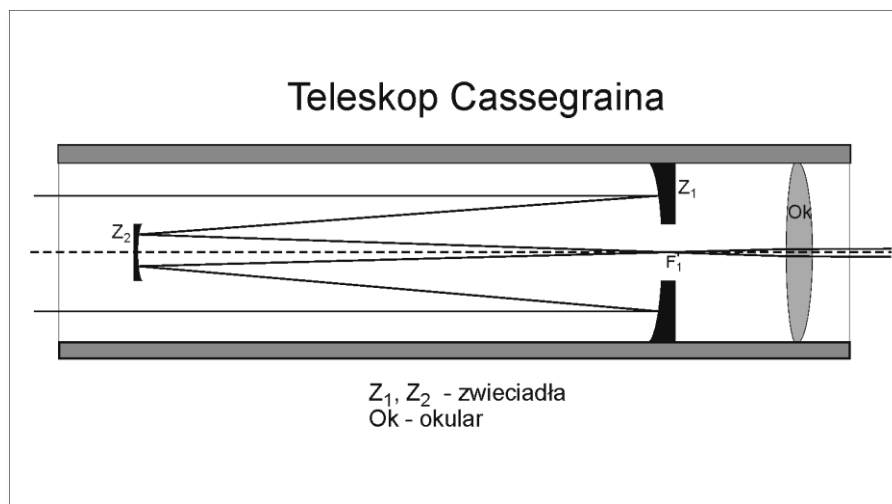


Teleskop Newtona



teleskop Newtona - najprostszy w konstrukcji składający się z dwóch zwierciadeł - paraboloidalnego głównego i płaskiego wtórnego, kierującego obraz do okularu znajdującego się z boku tubusu; posiada dużą światłosiłę nawet $f'/5$, dlatego przeznaczony jest do obserwacji obiektów rozciągniętych i mających niewielką jasność (mgławice, galaktyki, gromady gwiazd); wolny zarówno od aberracji chromatycznej jak i sferycznej, jednak obarczony znaczną komą

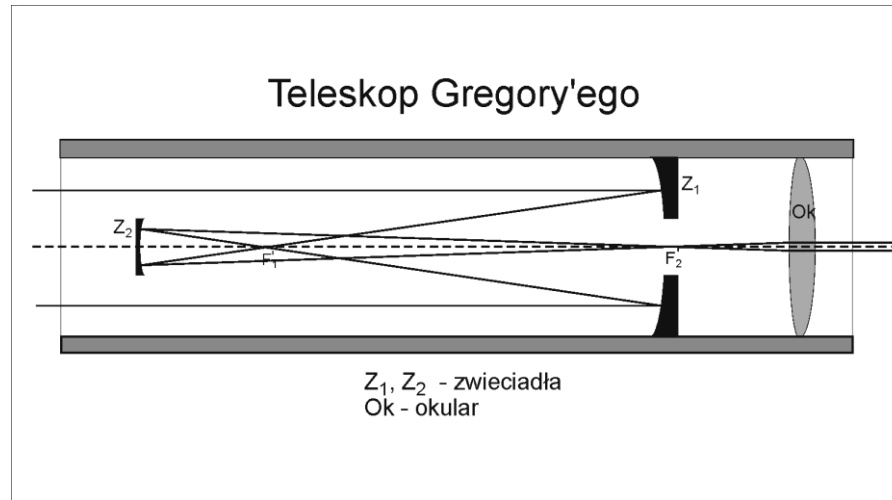
Teleskop Cassegraina (Ritchey-Chretien)



teleskop Cassegraina - zwierciadło główne jest paraboloidalne, wtórne natomiast jest hiperboloidalne (rys. 3.1c) i kieruje wiązkę przez otwór w zwierciadle głównym do okularu; posiada mniejszą światłosilę ($f'/10 - f'/15$), co czyni go bardziej przydatnym przy obserwacjach obiektów Układu Słonecznego i gwiazd podwójnych

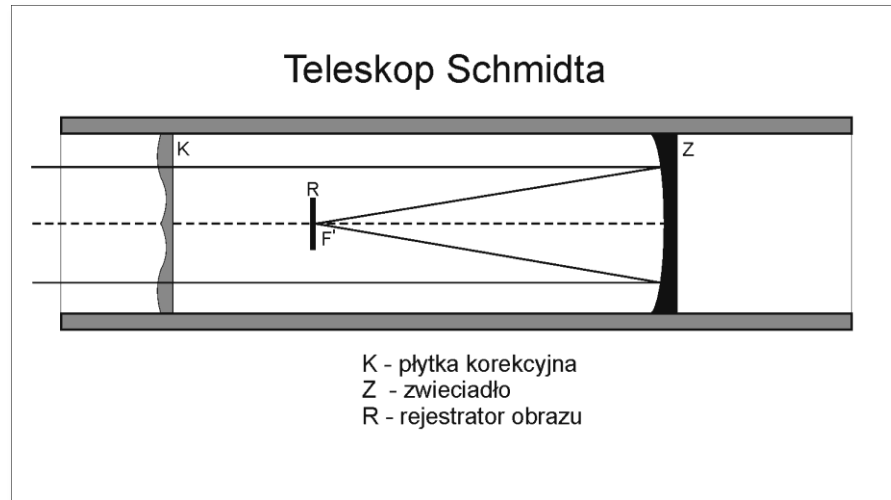
teleskop Ritchey–Chretien – oba zwierciadła są hiperboloidalne i korygują wszystkie aberracje geometryczne, w tej technologii został wykonany kosmiczny Teleskop Hubble'a (HST)

Teleskop Gregory'ego



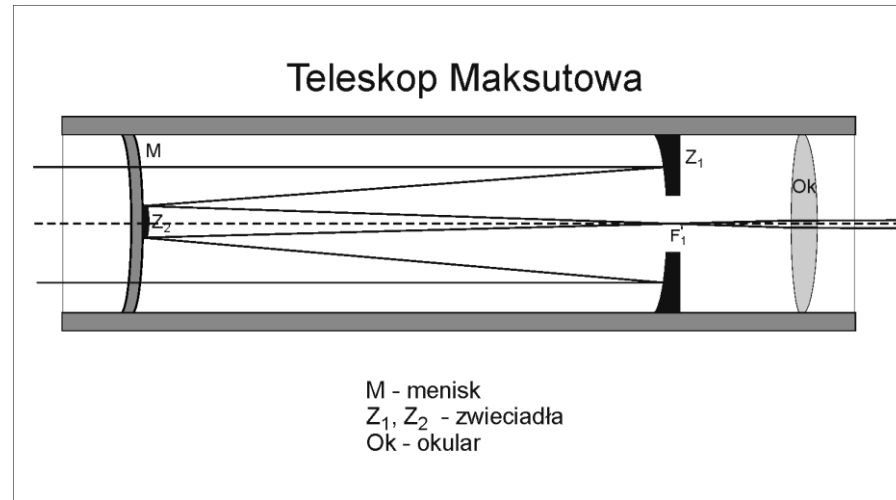
teleskop Gregory'ego – różni się od teleskopu Cassegraina elipsoidalnym zwierciadłem wtórnym,

Kamera Schmidta



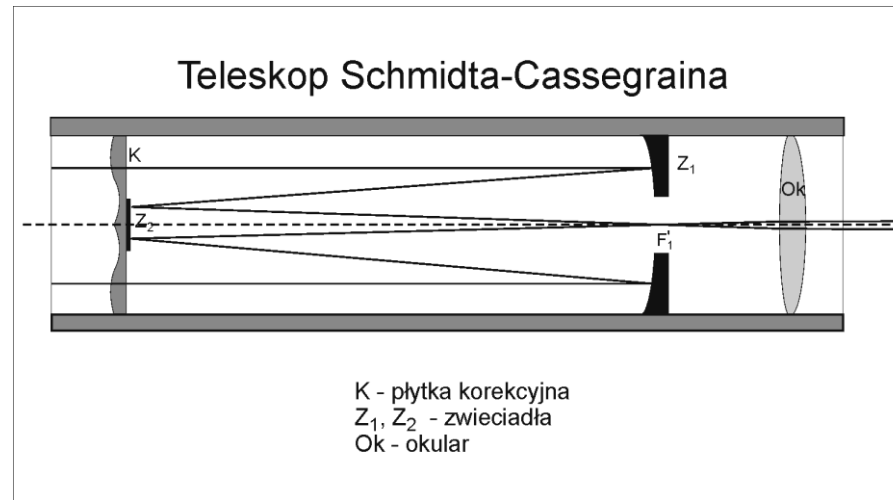
teleskop Schmidta – zwierciadło główne jest sferyczne, natomiast w środku jego krzywizny umieszczona jest płytka korekcyjna o złożonym kształcie, dzięki czemu aberracja sferyczna jest niwelowana, a aberracja chromatyczna znikoma ze względu na małą grubość płyty; duże pole widzenia (20° - 25°) jest wolne od aberracji sferycznej i komy, jednakże pole to jest zakrzywione; teleskop ten przeznaczony jest wyłącznie do fotografii, materiał światłoczuły umieszcza się w ognisku zwierciadła głównego

Teleskop Maksutowa



teleskop Maksutowa - posiada korektor w postaci lekko ujemnej soczewki meniskowej zwróconej wypukłością ku zwierciadłu (rys. 3.1f), środkowa część menisku jest pokryta warstwą aluminium i ma powierzchnię hiperboloidalną kierującą światło do otworu w zwierciadle głównym; ma znacznie zredukowaną komę i obarczony jest niewielką krzywizną pola; stosowany w konstrukcjach o stosunkowo małej aperturze ze względu na ciężar korektora; zaletą jest mała długość tubusu

Teleskop Schmidta-Cassegraina

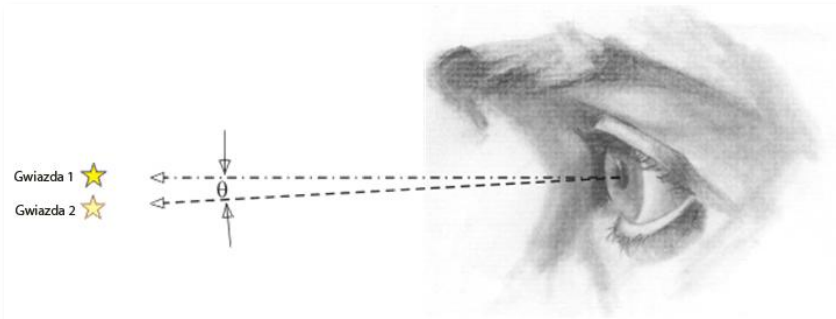


teleskop Schmidta–Cassegraina –jest modyfikacją kamery Schmidta, w centralnej części asferycznej płyty korekcyjnej umieszczone jest wtórne zwierciadło hiperboloidalne kierujące wiązkę do otworu w zwierciadle głównym; przyrząd ma znacznie skorygowaną komę i niewielką krzywiznę pola

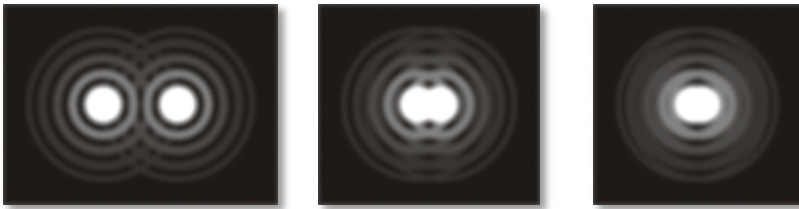
Parametry teleskopów

- Zdolność rozdzielcza
- Korekcja aberracji sferycznej i chromatycznej
- Powiększenie
- Jasność

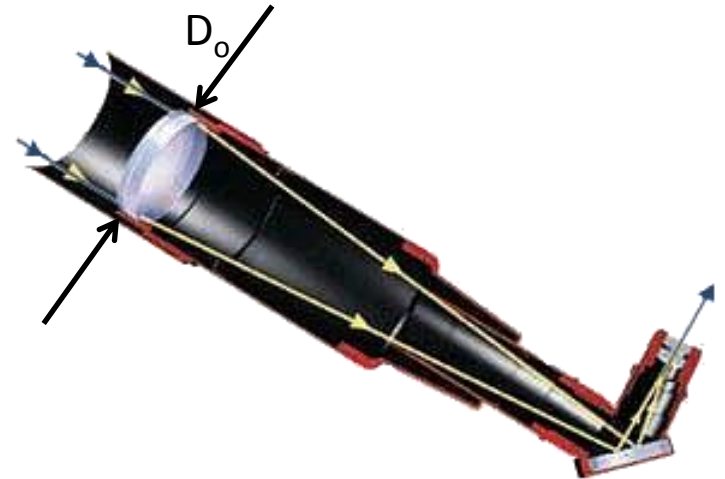
Zdolność rozdzielcza



Krążek Airy'ego

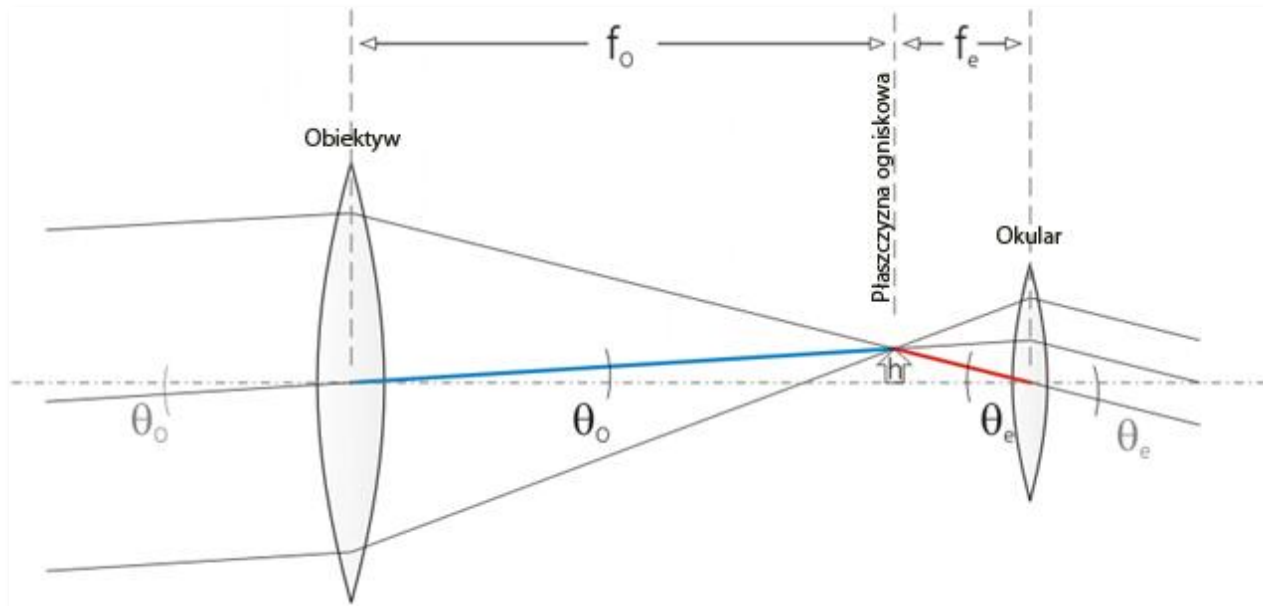


Gdy gwiazdy są widoczne pod zbyt małym kątem, nie można ich odróżnić od siebie jako osobnych.



$$R \left[\right] = \frac{120}{D_o \left[nm \right]}$$

Powiększenie



$$M = \frac{\theta_e}{\theta_o} = \frac{h/f_e}{h/f_o} = \frac{f_o}{f_e}$$

Pole widzenia, powiększenie

- Okulary teleskopów – typowe pole widzenia PW_{Ok} 50
- Pole widzenia teleskopu PW_{Tel}

$$PW_{Tel} = \frac{PW_{Ok}}{M}$$

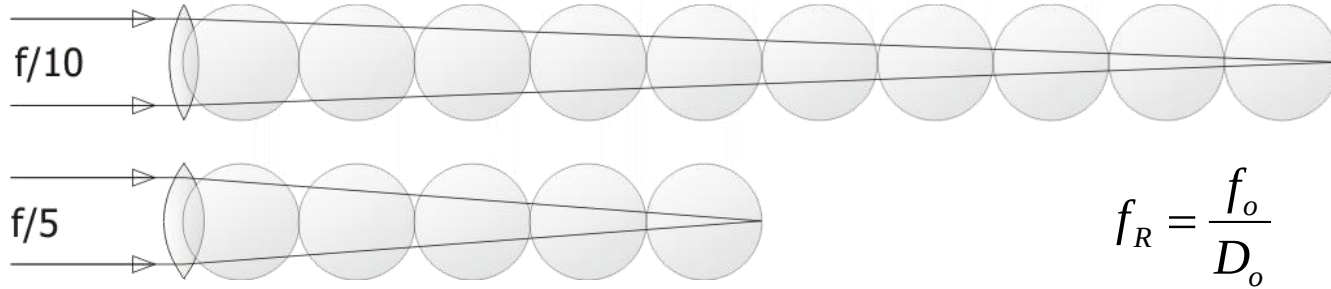
- Powiększenie razy zdolność rozdzielcza nie może być większe niż zdolność rozdzielcza ludzkiego oka

$$M \cdot R = 120'' = M \frac{120''}{D_o}$$

- Maksymalne powiększenie

$$M_{\max} = D_o \cdot \lambda$$

Liczba otworowa, jasność



Otwór względny - $1:f_R$

Minimalna ogniskowa okularu:

$$f_e = f_R$$

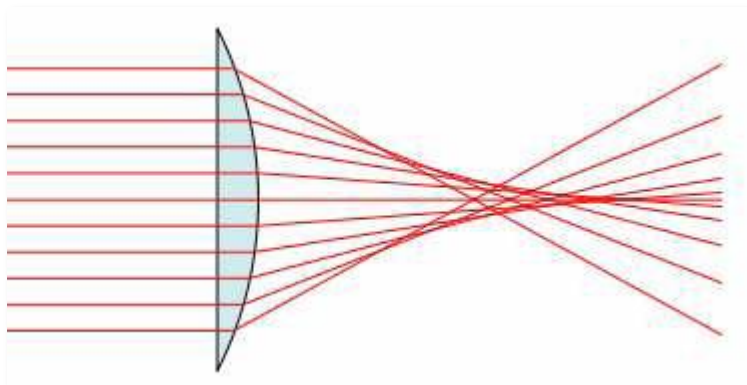
Przy tej ogniskowej okularu obserwator zaczyna dostrzegać efekty dyfrakcyjne (krążki Airy'ego).

Jasność gwiazdy J

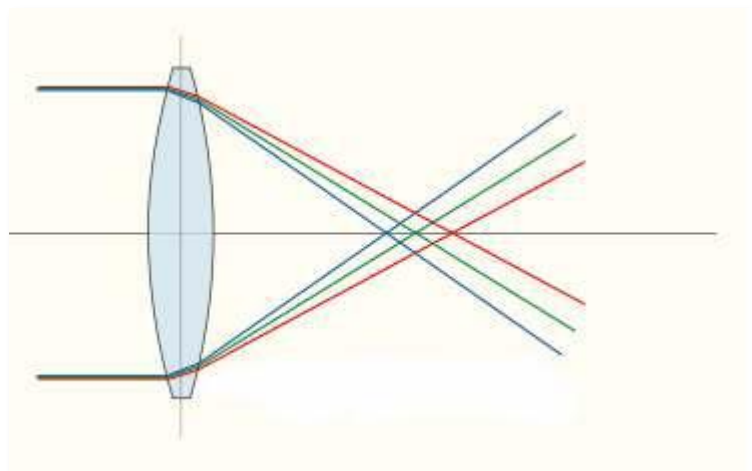
$$J = 2.5 \times \log \left(\frac{I_0}{I_1} \right)$$

Korekcja aberracji

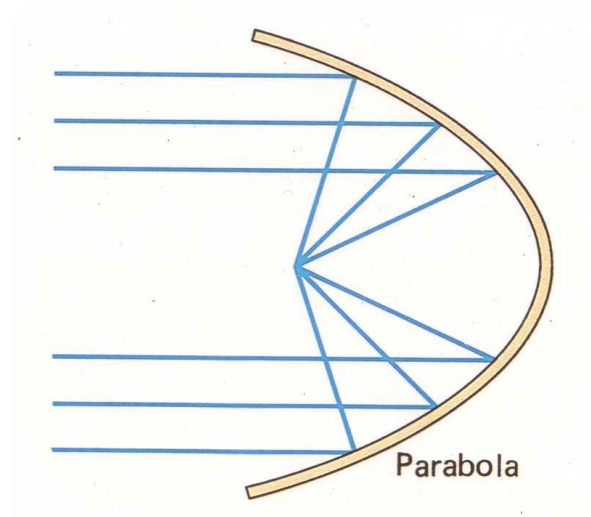
Aberracja sferyczna



Aberracja chromatyczna



Zwierciadło paraboloidalne



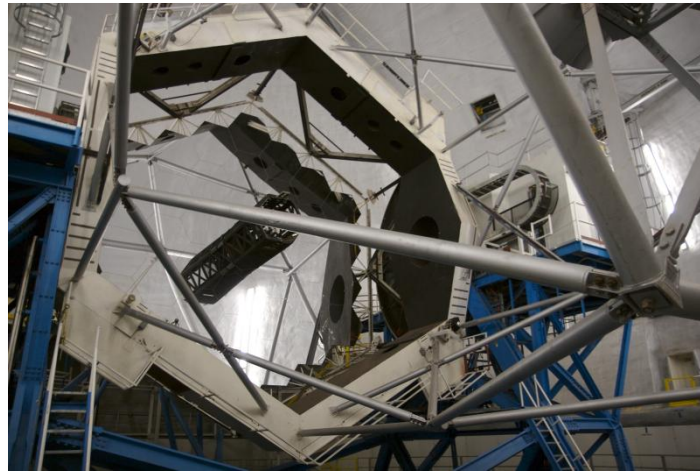
Seeing



Animowany obraz stworzony przez Adriana Ashforda, <http://www.SkyTonight.com>

Optyka adaptatywna

Zwierciadła segmentowe składają się z wielu oddzielnych lusterek ułożonych obok siebie tworząc wspólną powierzchnię optyczną. Poszczególne segmenty są meniskami mającymi najczęściej kształt heksagonalny o średnicy ok. 1 m. Rys. 3.2.1 przedstawia jeden z bliźniaczych teleskopów Kecka (z których Keck I powstał dopiero w 1993 r.) o średnicy 9,8 m ze zwierciadłem głównym składającym się z 36 segmentów.



Heksagonalne zwierciadło teleskopu Kecka (Mauna Kea, Hawaii, USA)

Optyka adaptatywna

Zwierciadła meniskowe są monolitami o małej grubości i zastosowano je w czterech teleskopach VLT (Very Large Telescope). Zwierciadła główne tych instrumentów mają 8 m średnicy i 17 cm grubości – dzięki specjalnemu systemowi podpor sterowanych przez komputery zachowują wymagany kształt. Masa wynosi 30 ton i z tego powodu konstrukcja okazała się znacznie tańsza i lżejsza niż teleskopu o średnicy 5 m. Zwierciadło teleskopu Subaru również wykonano w tej technologii (średnica 8,3 m, grubość 23 cm, masa 24 tony).

Zwierciadła komorowe zbudowane są w technologii „plastra miodu” - wąskich żeberek, tworzących heksagonalną siatkę i rozdzielających przednią oraz tylną powierzchnię zwierciadła. Odlewa się je w obrotowych piecach, dzięki czemu powierzchnia od razu przybiera kształt paraboloidy, natomiast konstrukcja jest lżejsza od tradycyjnej nawet o 80%

Optyka adaptatywna

Zwierciadła segmentowe i meniskowe mają jeszcze jedną zaletę. Dzięki systemowi podpór sterowanych komputerem można w czasie rzeczywistym niwelować wpływ atmosfery, formując powierzchnię zwierciadła tak, by skorygować aberracje wprowadzane przez atmosferę (deformacja wprowadza aberracje o przeciwnym znaku). Dzięki temu front falowy jest płaski, a obraz ograniczony jedynie przez dyfrakcję. Korekta jest możliwa dzięki zastosowaniu detektora frontu falowego zbudowanego z matrycy soczewek, które umieszczone są przed układem CCD. Każda soczewka tworzy obraz tej samej gwiazdy. Jeśli docierający do detektora front falowy jest płaski, to obrazy gwiazd są regularnie rozłożone na powierzchni sensora. Jakakolwiek deformacja frontu falowego powoduje przesunięcie odpowiednich obrazów gwiazd na CCD. Mierzy się te przesunięcia, a komputer przelicza na dodatkowy kształt, jaki należy nadać wyposażonemu w setki siłowników zwierciadło, by przywrócić płaski kształt powierzchni falowej

Aktywny system śledzenia gwiazd

- ❑ Problem rejestracji obrazów nieba: bardzo mała ilość światła docierająca z obserwowanej gwiazdy narzuca relatywnie długie czasy rejestracji obrazów
- ❑ W tym czasie ciało niebieskie przemieszcza się na nieboskłonie, co powoduje rozmycie obrazu
- ❑ Wymusza to aktywne sterowanie teleskopem
- ❑ Śledzenie ciał niebieskich: w oparciu o atlasy nieba i tablice astronomiczne
- ❑ Typy montażu teleskopów naziemnych:
 - ❑ Montaż azymutalny
 - ❑ Montaż paralaktyczny

Aktywny system śledzenia gwiazd

Obrazy nieba dla nieruchomego teleskopu



Obraz środkowej części gwiazdozbioru Herkulesa bez sterowania (a) i ze sterowaniem (b).

*W czerwonym kółku – gromada kulista M13
(Canon EOS 450D, 55 mm, f/5.6, 250 s, ISO800)*

i dla ruchomego



Z pracy dyplomowej Mariusza Bajera
***„Opracowanie i testowanie układu sterującego
teleskopem astronomicznym”***

Aktywny system śledzenia gwiazd



Obraz gwiazdozbiorów nieba wiosennego z przelotem satelity.

Niebieskimi liniami oznaczono gwiazdozbiory Korony Północnej i Wolarza (Canon EOS 450D, 18 mm, f/3.5, 200 s, ISO400)

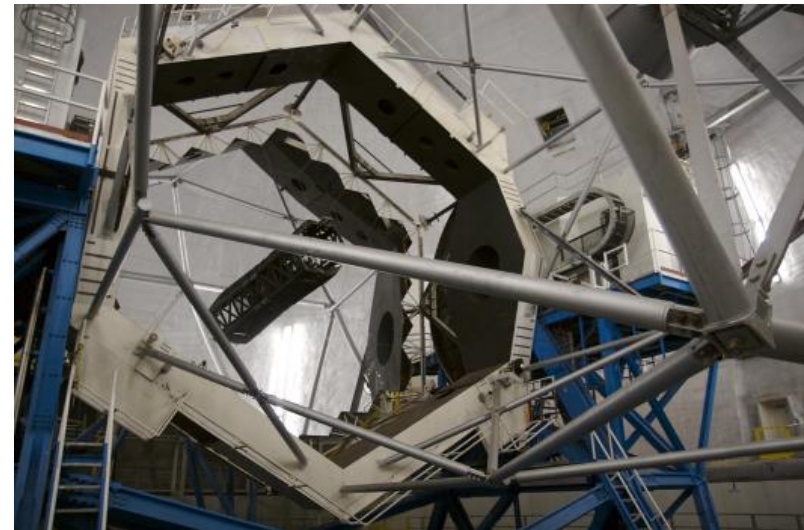
Z pracy dyplomowej Mariusza Bajera
„Opracowanie i testowanie układu sterującego teleskopem astronomicznym”

Największe teleskopy

- Teleskopy Kecka I i II
- Teleskop SALT
- Teleskop VLT
- Teleskop Hale'a (Mount Palomar)
- Teleskop E-ELT

Teleskopy Kecka I i II

Obserwatorium Mauna Kea na Hawajach na wysokości 4145 m n.p.m. Teleskopy są oddalone od siebie o 85 metrów. Posiadają segmentowe zwierciadła o średnicy 10 metrów złożone z 36 ściśle przylegających sześciokątnych segmentów o grubości 8 cm. Teleskopy połączone razem tworzą interferometr Kecka, będący największym teleskopem na świecie.

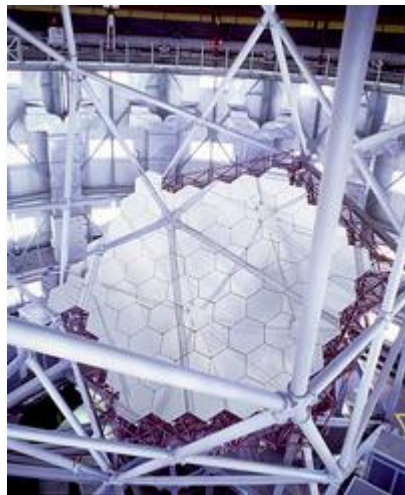


Teleskop SALT

Wielki Teleskop Południowoafrykański (ang. *Southern African Large Telescope*; **SALT**) – największy teleskop na półkuli południowej, zbudowany w RPA we współpracy międzynarodowej (RPA, Niemcy, Polska, Nowa Zelandia, USA, Wielka Brytania).

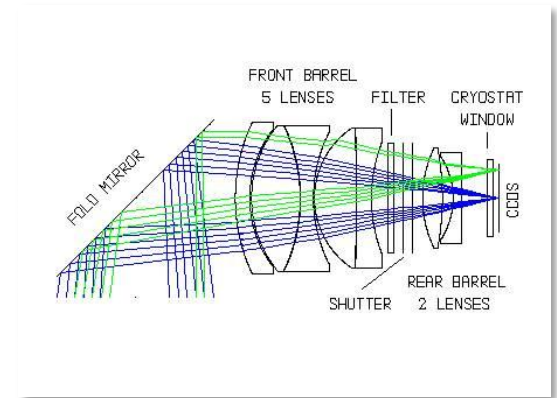
Teleskop posiada sześcioboczne zwierciadło, które mierzy od boku do boku 11 metrów i składa się z 91 elementów (mniejszych zwierciadeł). Polski wkład w teleskop wynosi 11%, tym samym nasz kraj ma do dyspozycji 11% czasu teleskopu do wykorzystania na własne cele.

Teleskop położony jest na wysokości 1759 m n.p.m. w miejscowości Sutherland, 370 km na północny wschód od Kapsztadu, na płaskowyżu Karro. Okres bezchmurny w tym rejonie wynosi 300 dni w roku.



Instrumenty SALT

- SALTICAM – kamera/fotometr
- RSS Fabry-Perot System -skaningowy interferometr Fabry-Perot
- HRS – spektrograf wysokiej rozdzielczości



Teleskop VLT

Projekt ESO – European Southern Observatory

Obserwatorium Parana, Cerro Paranal (2635 m n.p.m.), pustynia Atakama, Chile

Cztery teleskopy Antu, Kueyen, Melipal, Yepun ze zwierciadłami głównymi o średnicy 8,2 m i cztery teleskopy pomocnicze ze zwierciadłami o średnicy 1,8 m.



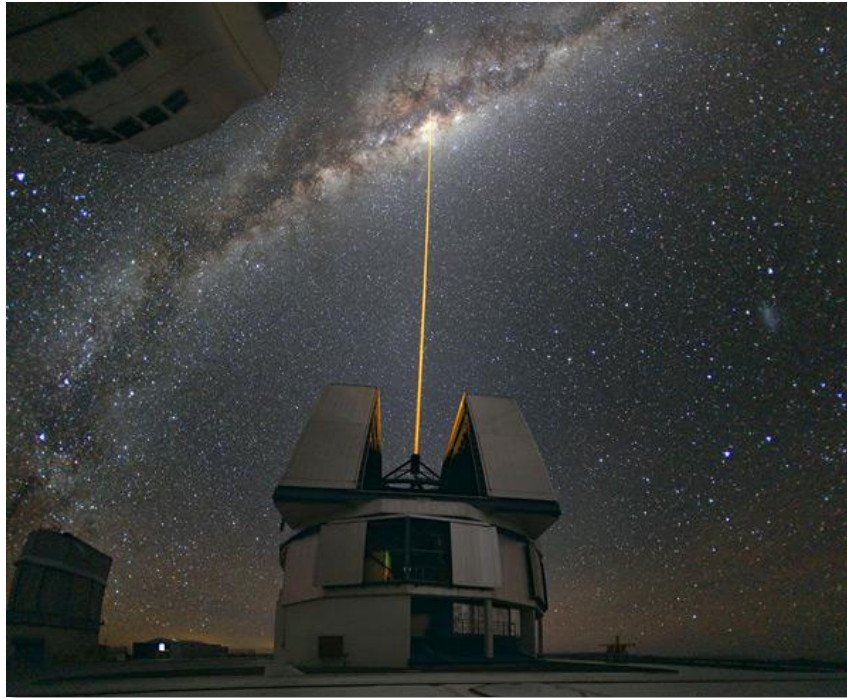
Teleskop VLT



Instrumenty VLT

- ❑ CRIRES: Cryogenic high-resolution InfraRed Echelle Spectrograph (0.92–5.2 μm)
- ❑ FLAMES: Fibre Large Array Multi-Element Spectrograph (370–950 nm)
- ❑ FORS: Visual and near-UV FOcal Reducer and low dispersion Spectrograph (330–1100 nm)
- ❑ HAWK: High Acuity Wide field K-band Imager (0.85–2.5 μm)
- ❑ ISAAC: Infrared Spectrometer And Array Camera (1–2.5 μm)
- ❑ NACO, SINFONI, UVES, VIMOS, VISIR, inne

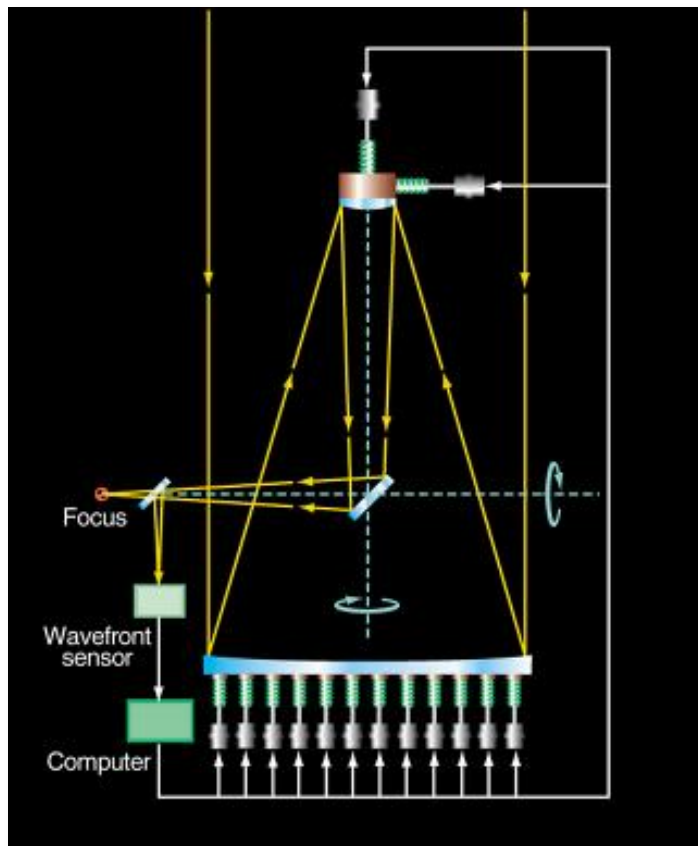
Sztuczna gwiazda VLT



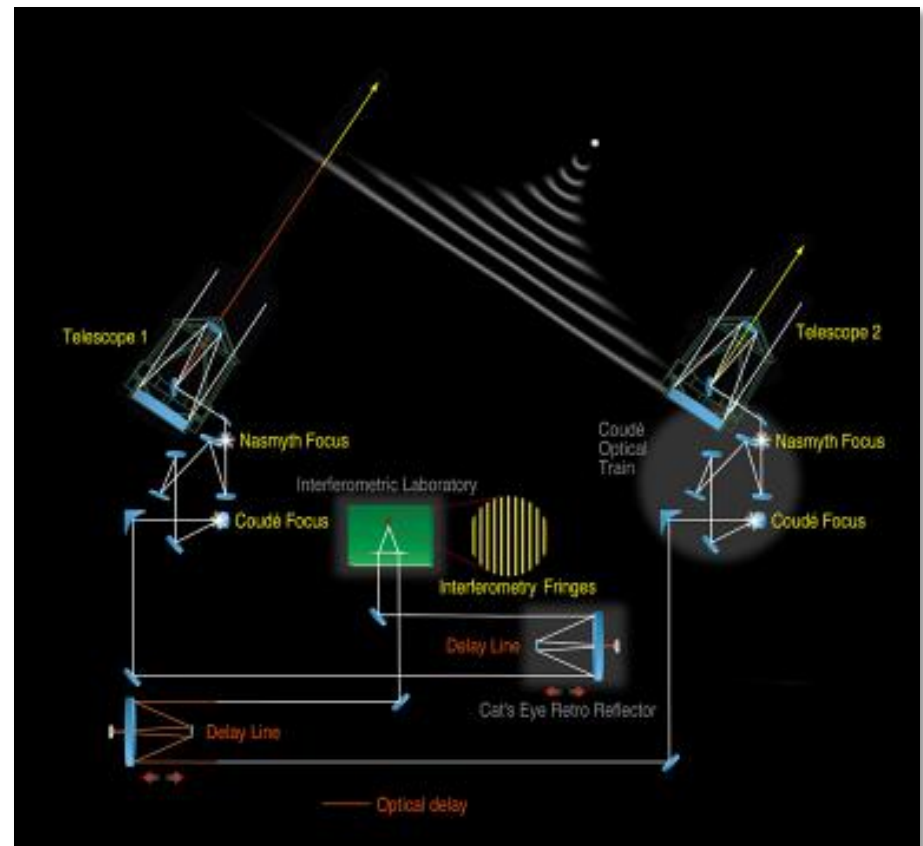
Układ laserowy będący elementem optyki adaptatywnej/aktywnej teleskopu. Pozwala uwzględnić wpływ turbulencji atmosfery ziemskiej na pomiar rzeczywistego położenia ciała niebieskiego.

Teleskop VLT

Aktywny system optyczny VLT

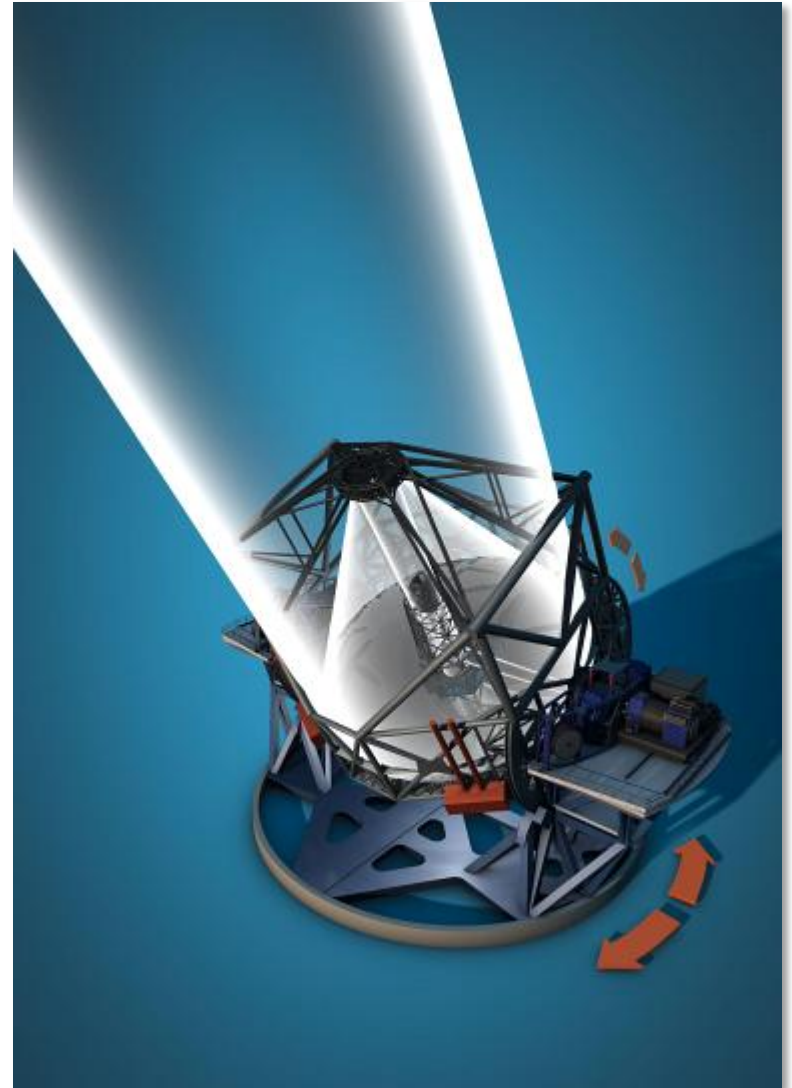


Interferometr



E-ELT 2018

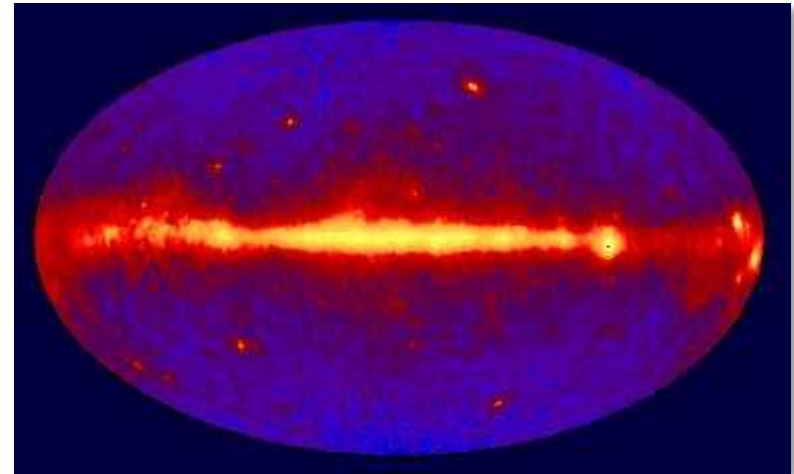
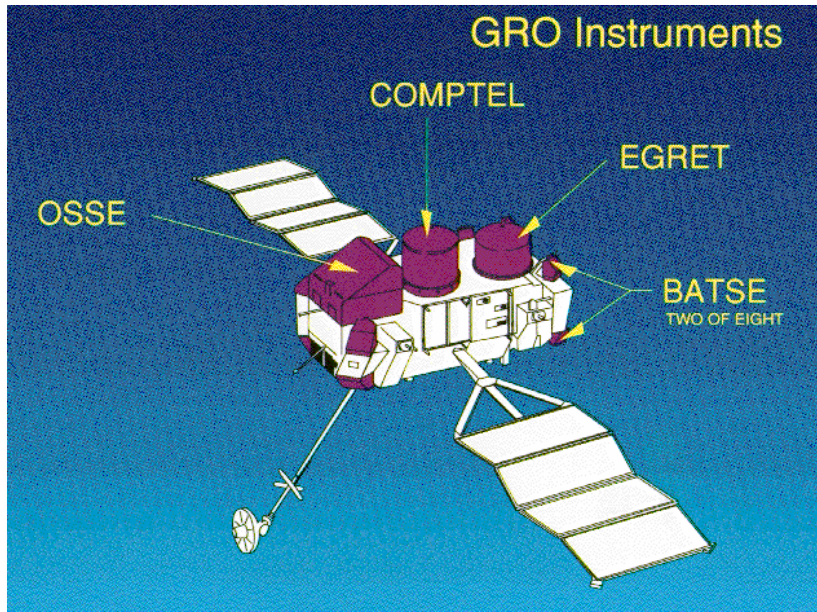
- European Extremely Large Telescope
- Teleskop o średnicy 42 m !
- Główne lustro – 1000 segmentów o rozmiarze 1,45 m i grubości 50 mm
- 5000 czujników/siłowników korygujących kształt zwierciadła z częstotliwością 1 kHz



Teleskopy kosmiczne

Teleskop kosmiczny	Data wyniesienia	Zakres widma	Lokalizacja
<u>Hubble'a</u>	24 kwietnia 1990	<u>światło widzialne, ultrafiolet</u>	<u>orbita</u> Ziemi
<u>Comptona</u>	5 kwietnia 1991	<u>gamma</u>	orbita Ziemi
<u>Chandra</u>	23 lipca 1999	<u>promieniowanie rentgenowskie</u>	orbita Ziemi
<u>Spitzera</u>	25 sierpnia 2003	<u>podczerwień</u>	orbita Słońca
<u>Kepler</u>	7 marca 2009	widzialne	orbita Słońca
<u>Herschela</u>	14 maja 2009	podczerwień	<u>punkt Lagange'a L₂</u> Ziemia-Słońce
<u>Plancka</u>	14 maja 2009	<u>mikrofale</u>	punkt Lagange'a L ₂ Ziemia-Słońce
<u>Webba</u>	czerwiec 2013 (planowana)	podczerwień	punkt Lagange'a L ₂ Ziemia-Słońce

Teleskop Comptona



Detektory na pokładzie satelity:

❑BATSE (ang. *Burst and Transient Source Experiment*) przeszukujący niebo w poszukiwaniu krótkich rozbłysków gamma o energii od 20 do 600 keV oraz wyszukujący długotrwałych źródeł, zawierał 8 detektorów, zarządzany przez Centrum Kosmiczne Marshalla (ang. *Marshall Space Flight Center*)

❑OSSE (ang. *Oriented Scintillation Spectrometer Experiment*) składający się z czterech niezależnie kierowanych, kierunkowych detektorów promieniowania gamma w zakresie 0,05 do 10 MeV, zarządzany przez Laboratorium Badawcze Marynarki (ang. *Naval Research Laboratory*).

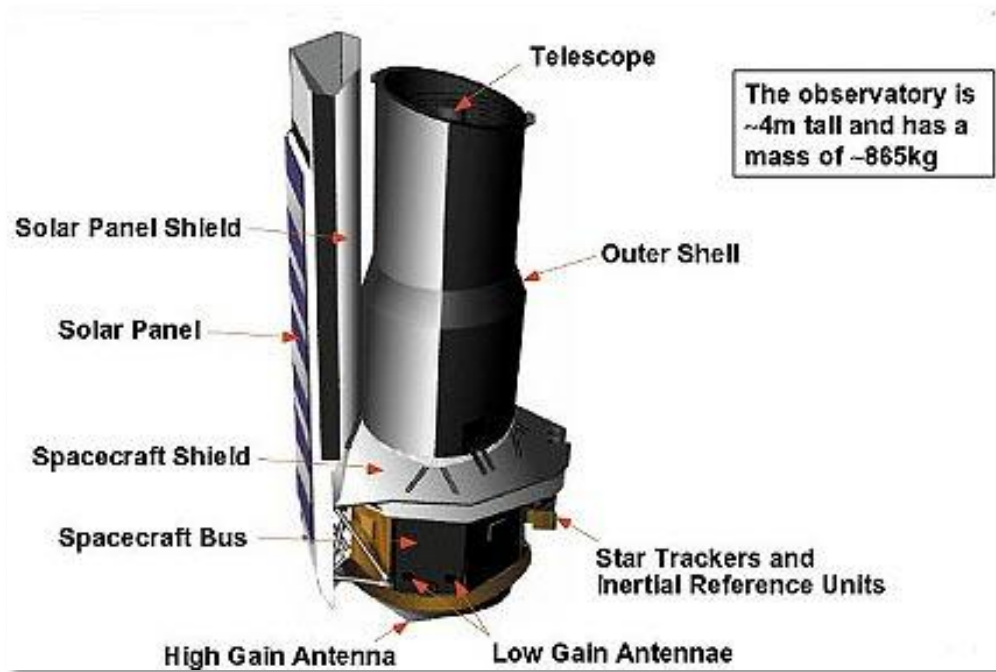
❑COMPTEL (ang. *Imaging Compton Telescope*) pozwalał na wykrywania fotonów w paśmie od 1 do 30 MeV oraz określanie ich kierunku w 5% zakresie przy wysokich energiach, zarządzany przez Instytut Maxa Plancka (ang. *Max Planck Institute*) oraz Uniwersytet New Hampshire (ang. *University of New Hampshire*)

❑EGRET (ang. *Energetic Gamma Ray Experiment Telescope*) pracujący w zakresie od 20 MeV do 30 GeV, określał kierunek, z którego pochodziło promieniowanie z dokładnością do ułamka stopnia oraz zakres energii z precyzją 15%, zarządzany przez będące częścią NASA Centrum Lotów Kosmicznych Goddarda (ang. *Goddard Space Flight Center*) Instytut Maxa Plancka oraz Uniwersytet Stanforda (ang. *Stanford University*).



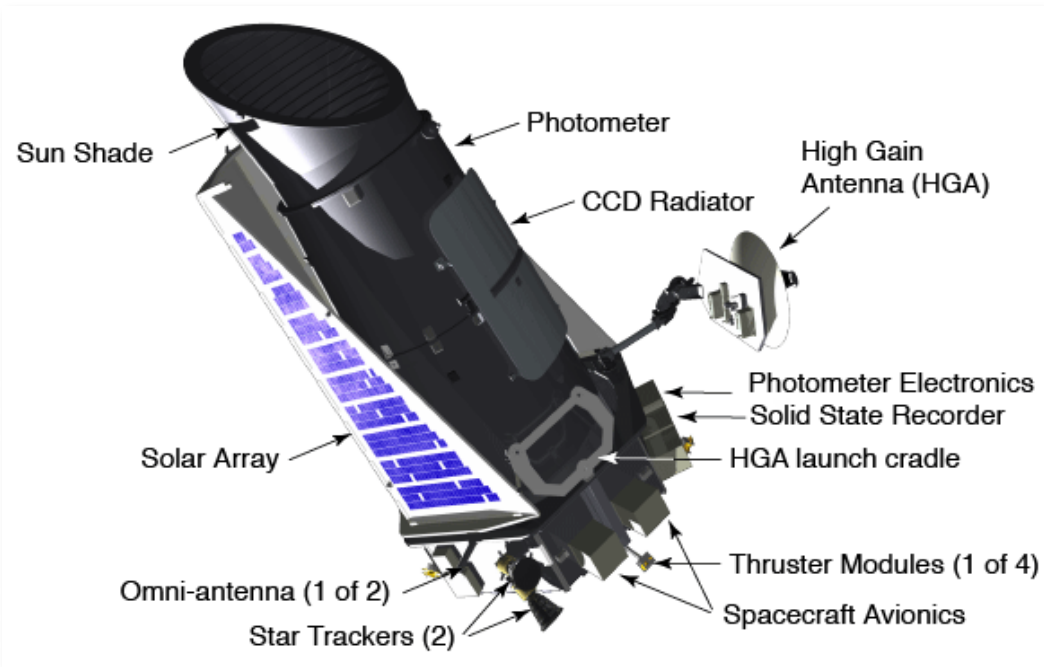
Teleskop Chandra



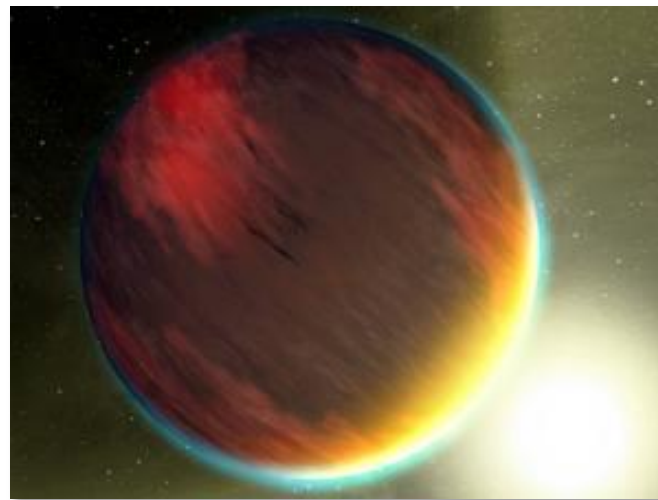
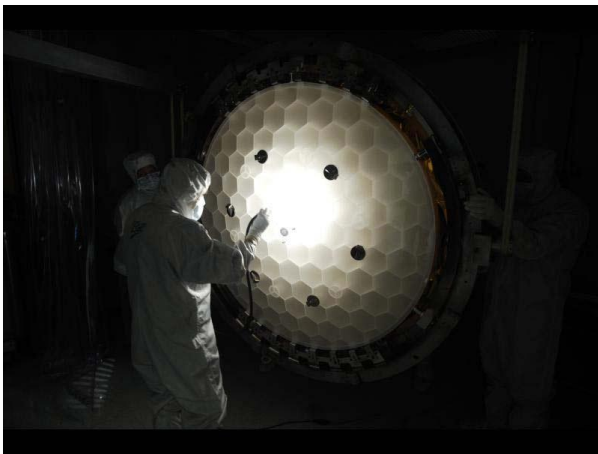


Teleskop Spitzera



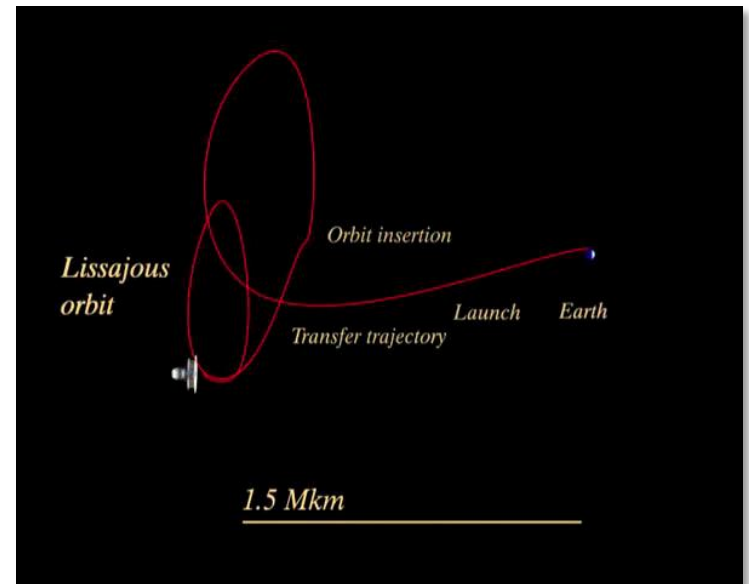
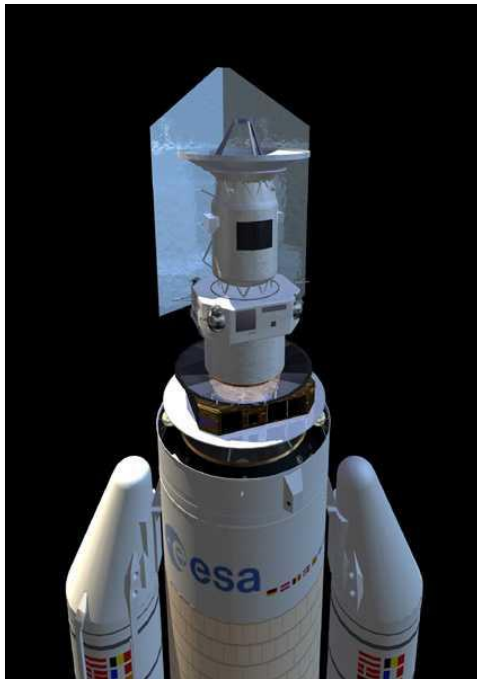


Teleskop Keplera

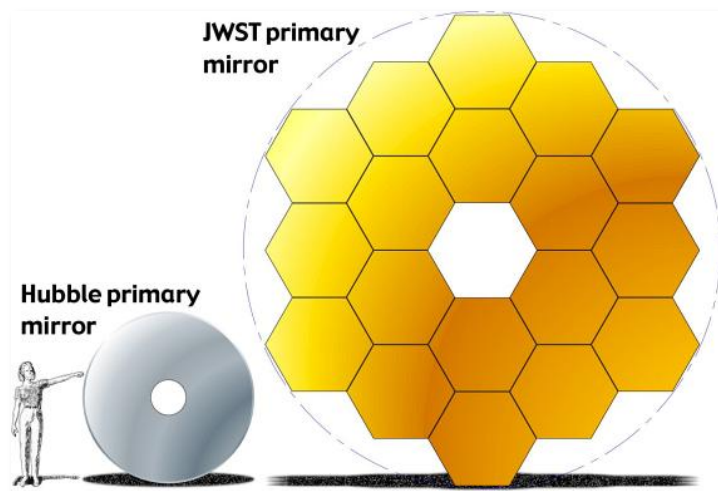
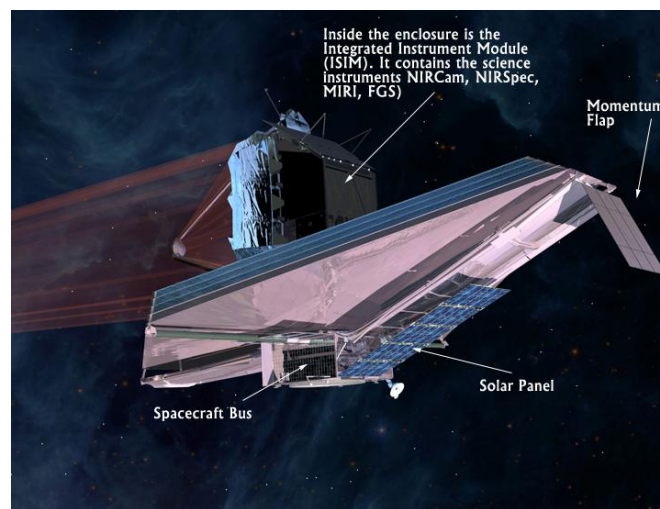
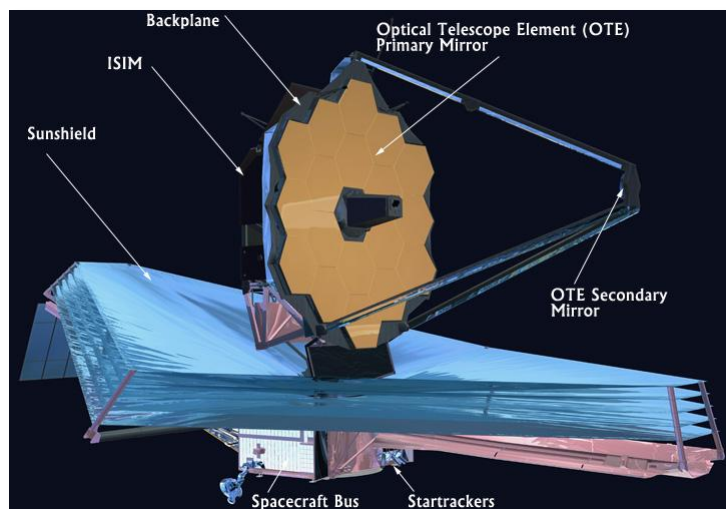




Teleskop Plancka

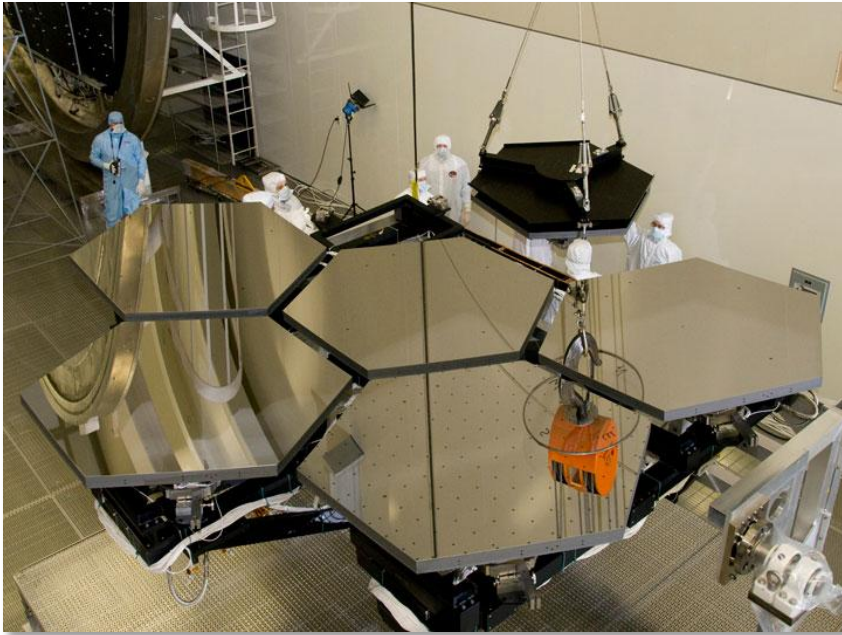


Teleskop Webba (JWST, 2013)



18 berylowych heksagonalnych elementów, z których każdy waży ok. 20kg i ma średnicę 1,3 m, tworzy lustro główne o średnicy 6,5 m.

Lustro główne



JWST

Drugie lustro



Trzecie lustro



- ❑ Mid-Infrared Instrument (MIRI) – kamera/spektrograf (5 do 29 μm)
- ❑ Near Infrared Camera (NIRCam) – kamera (0,6 do 5 μm)
- ❑ Near Infrared Spectrograph (NIRSpec) – spektrograf
- ❑ Fine Guidance Sensor Tunable Filter Camera (FGS - TFI) – kamera (1,6 do 4,9 μm) z regulowanymi etalonami typu Fabry-Perot

Space Interferometry Mission - 2016

