

Astrofizyka II
Spektroskopia

Wady optyczne

Metody określania jakości optyki

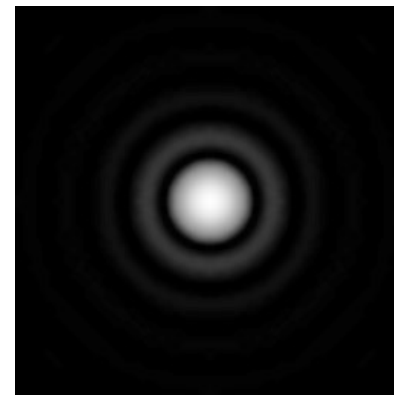
PSF

Point Spread Function (PSF) to funkcja opisująca rozkład natężenia światła w płaszczyźnie ogniskowej układu optycznego oświetlonego przez nieskończenie odległe punktowe źródło światła.

W optyce geometrycznej PST jest punktem matematycznym, gdyż nie jest uwzględniana dyfrakcja.

W optyce realnej o aperturze kołowej (bez wad optycznych), funkcja PSF jest opisywana funkcją Airego.

$$P(\vec{\alpha}) = \frac{\pi D^2}{4 \lambda^2} \left[\frac{2 J_1(\pi D |\vec{\alpha}| / \lambda)}{\pi D |\vec{\alpha}| / \lambda} \right]^2$$

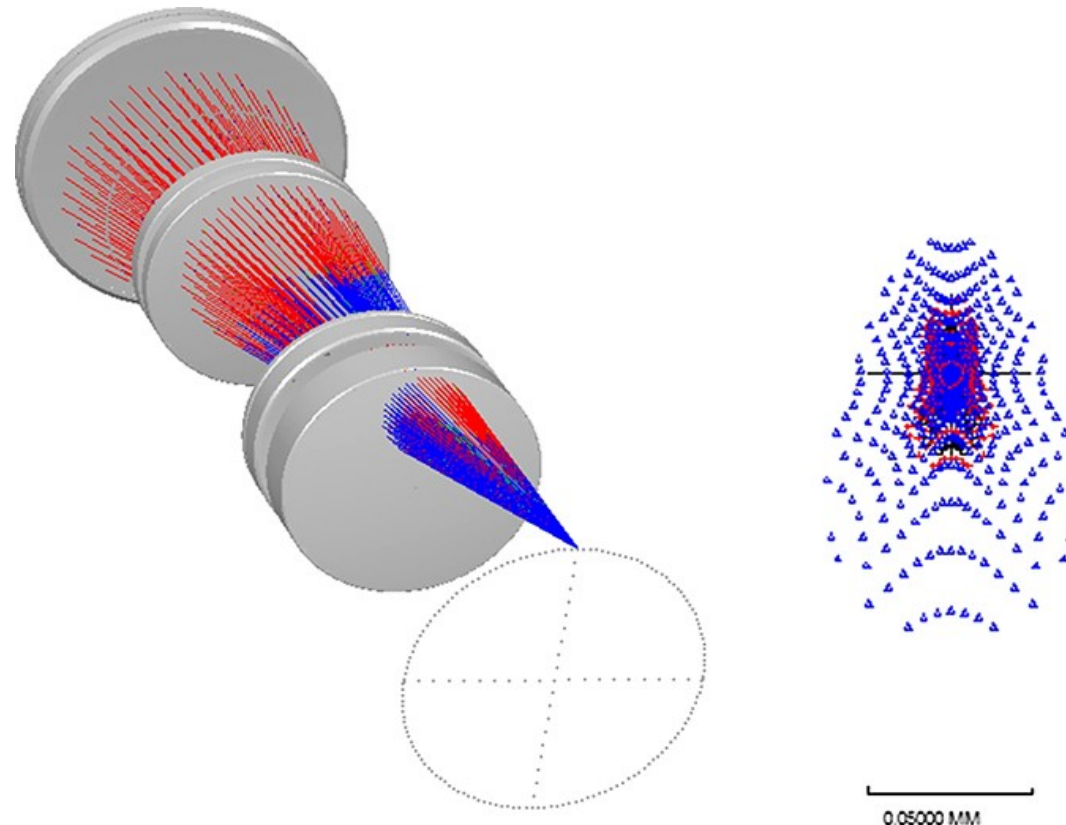


(www.astro-imaging.de)

Metody określania jakości optyki

Diagram plamkowy

Diagram plamkowy (ang. spot diagram) jest metodą na określenie rozkładu światła w ognisku teleskopu (PSF) za pomocą śledzenia promieni (ang. ray tracing). Najczęściej symuluje się wędrówkę początkowo równoległych promieni świetlnych przez układ optyczny, które równomiernie oświetlają źrenicę wejściową. Diagram plamkowy pokazuje punkty przecięcia płaszczyzny ogniskowej (lub dowolnej innej płaszczyzny) przez symulowane promienie. Pozwala określić stopień ich zbieżności. W idealnym układzie byłby to punkt, gdyż zwykle w symulacji pomija się dyfrakcję (optyka geometryczna).



Ilustracja tworzenia diagramu plamkowego (Lens design, Donald Dilworth, 2018).

Metody określania jakości optyki

Diagram plamkowy

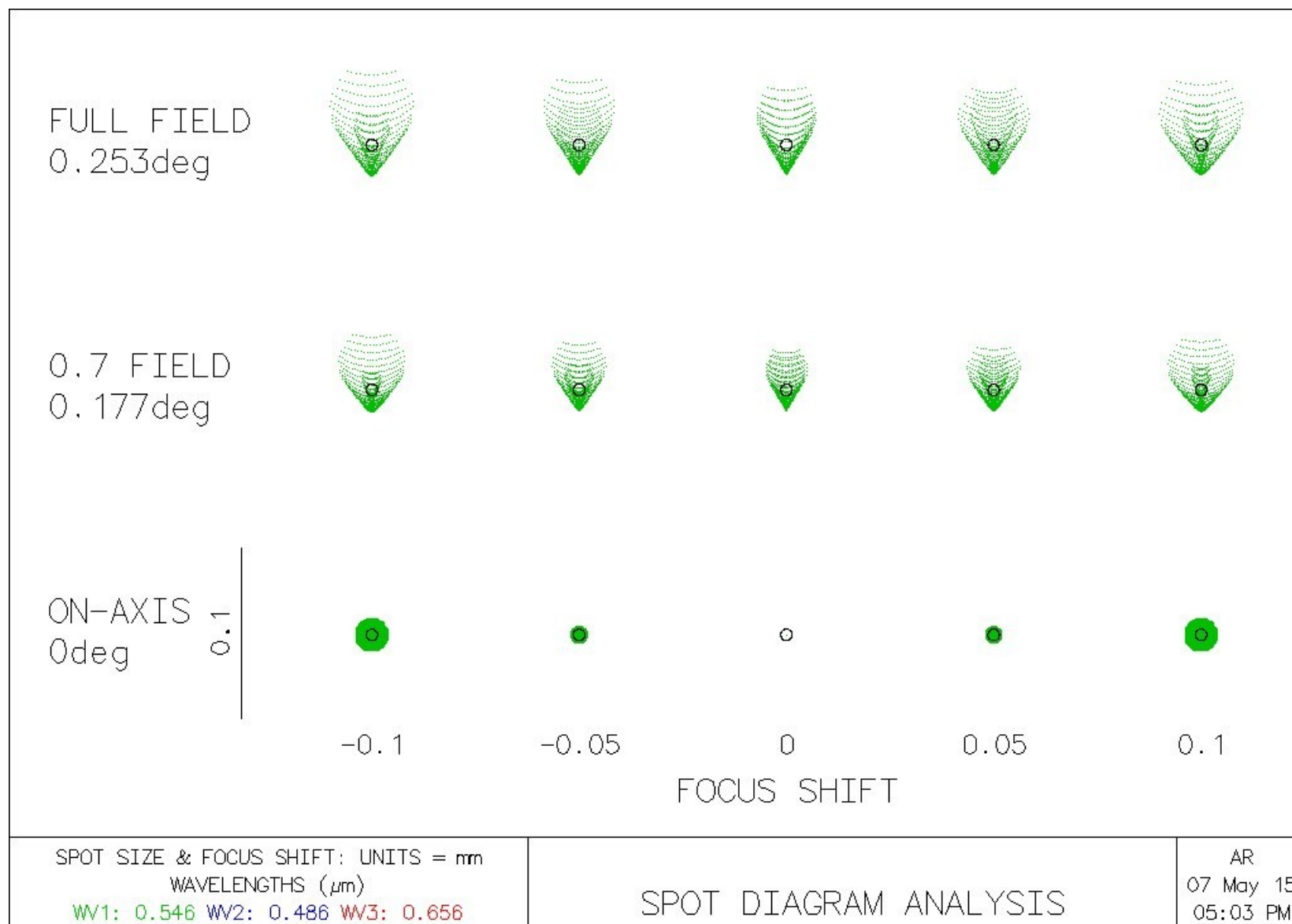


Diagram plamkowy dla teleskopu Newtona f/5 (www.cloudynights.com).

Metody określania jakości optyki

Diagram plamkowy

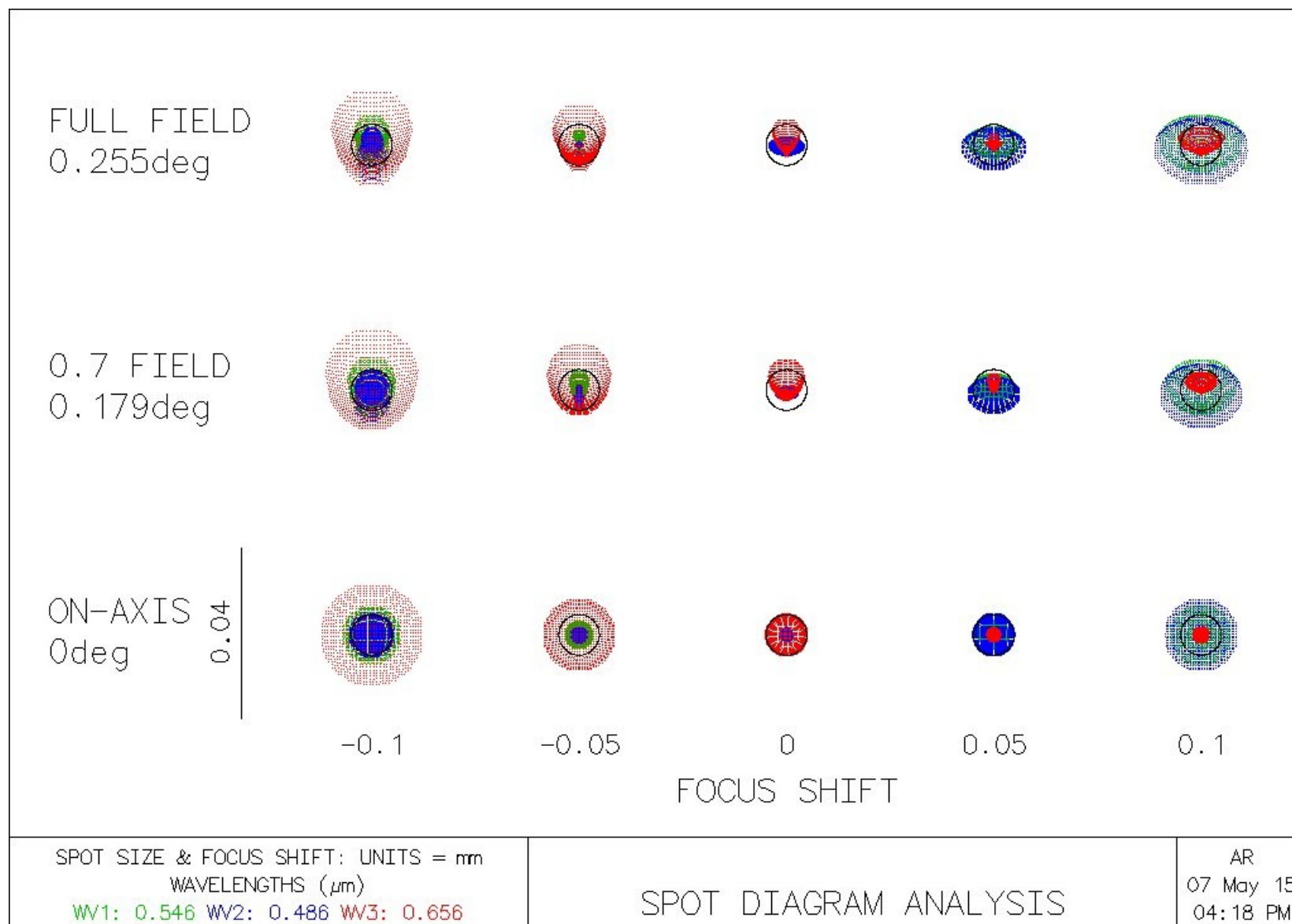
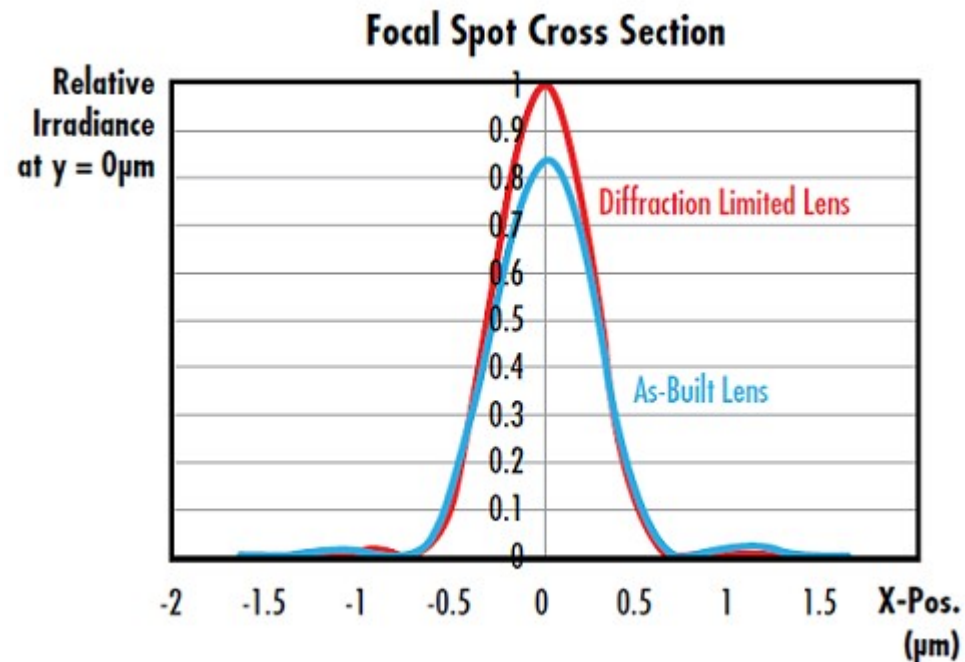


Diagram plamkowy dla teleskopu Newtona f/5 z korektorem komy. Uwaga na zmianę skali.
(www.cloudynights.com).

Metody określania jakości optyki

Strehl ratio

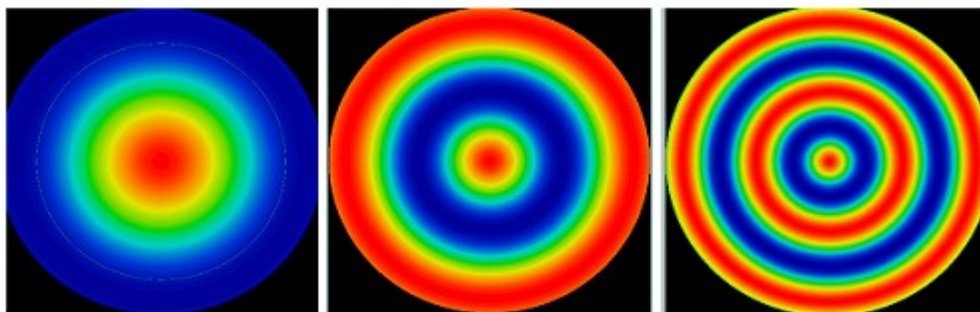
Współczynnik (stosunek) Strehla (ang. Strehl ratio) jest to stosunek maksimum funkcji PSF w realnym układzie optycznym do maksimum PSF w idealnym układzie optycznym. Zawsze: $0 < SR < 1$.



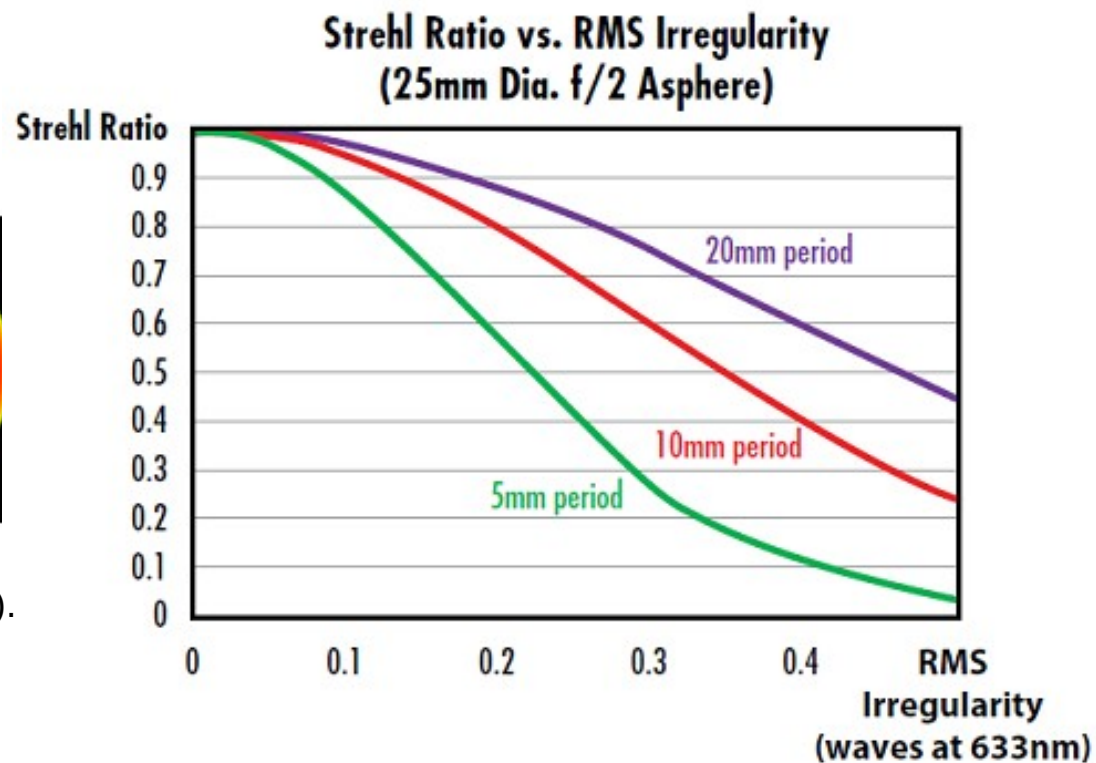
Przekroje idealnego i realnego PSF (rozkładu natężenia światła) w ognisku układu optycznego
(www.edmundoptics.eu)

Metody określania jakości optyki

Strehl ratio



Przykładowe nieregularności (błędy)
w wykonaniu soczewki asferycznej (www.edmundoptics.eu).

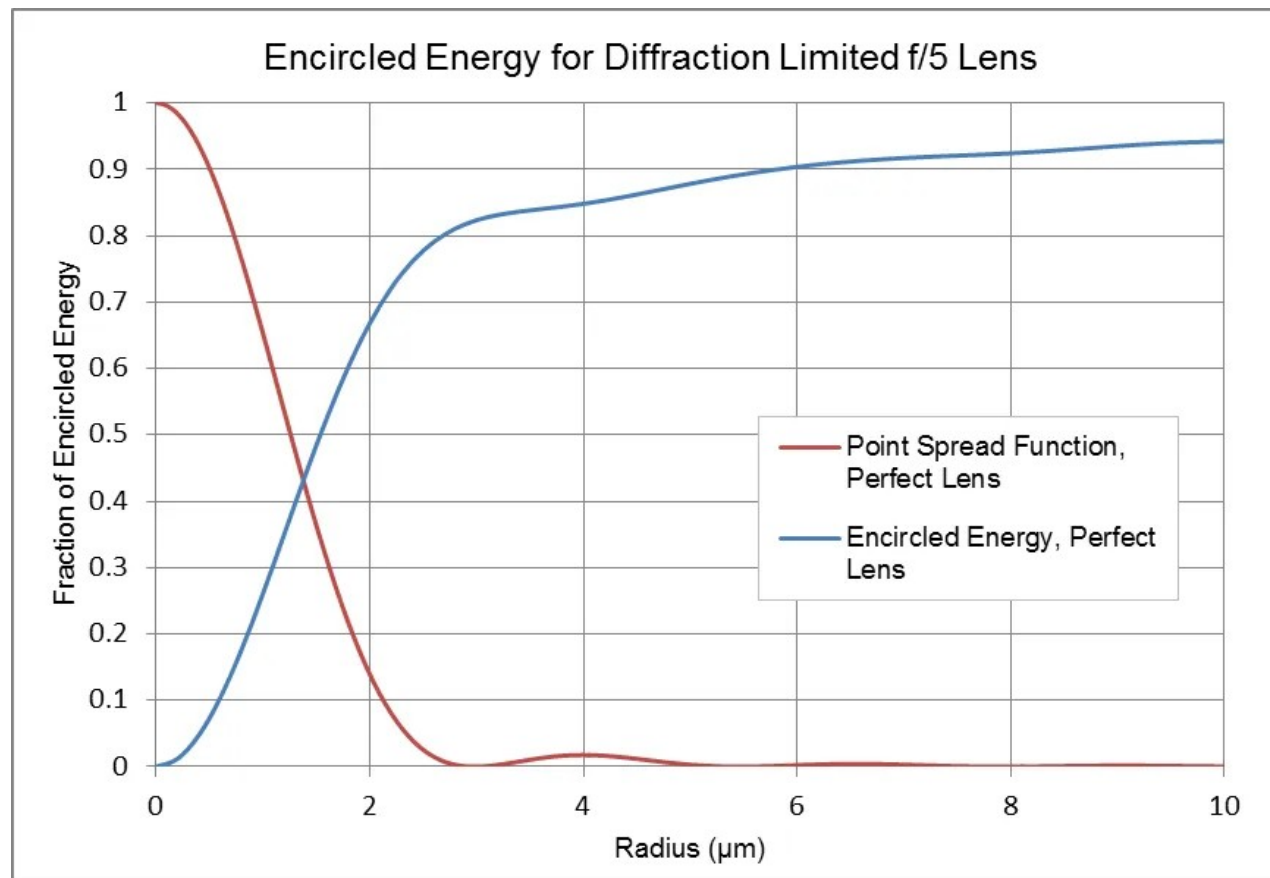


Teoretyczne współczynniki Strehla dla soczewki asferycznej o nieregularnościach (błędach) w wykonaniu o danej amplitudzie i okresie (www.edmundoptics.eu).

Metody określania jakości optyki

Encircled energy

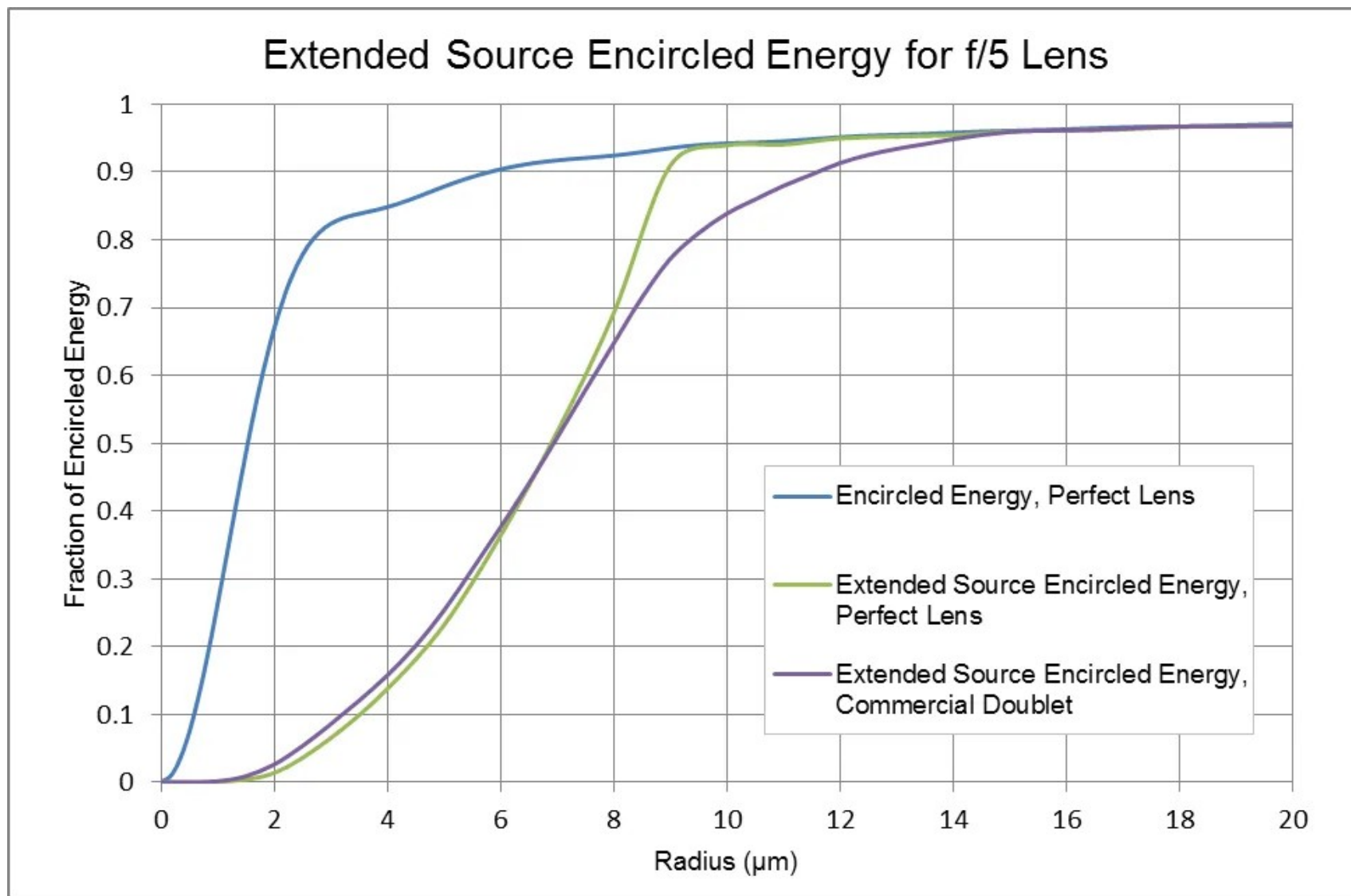
Jest to miara koncentracji energii w układzie optycznym. Zwykle jest to promień kółka w płaszczyźnie ogniskowej (w mikrometrach) w którym skoncentrowane jest 50% lub 80% energii równoległej wiązki światła wpadającej do danego układu.



Przykład rozkładu natężenia światła (PSF) oraz encircled energy (EE) wraz z odległością (promieniem) od środka obrazu punktowego źródła światła (www.optikos.com).

Metody określania jakości optyki

Encircled energy



Przykład rozkładu energii światła padającej na płaszczyznę ogniskową wraz z odległością (promieniem) od środka obrazu punktowego źródła światła (www.optikos.com).

Metody określania jakości optyki

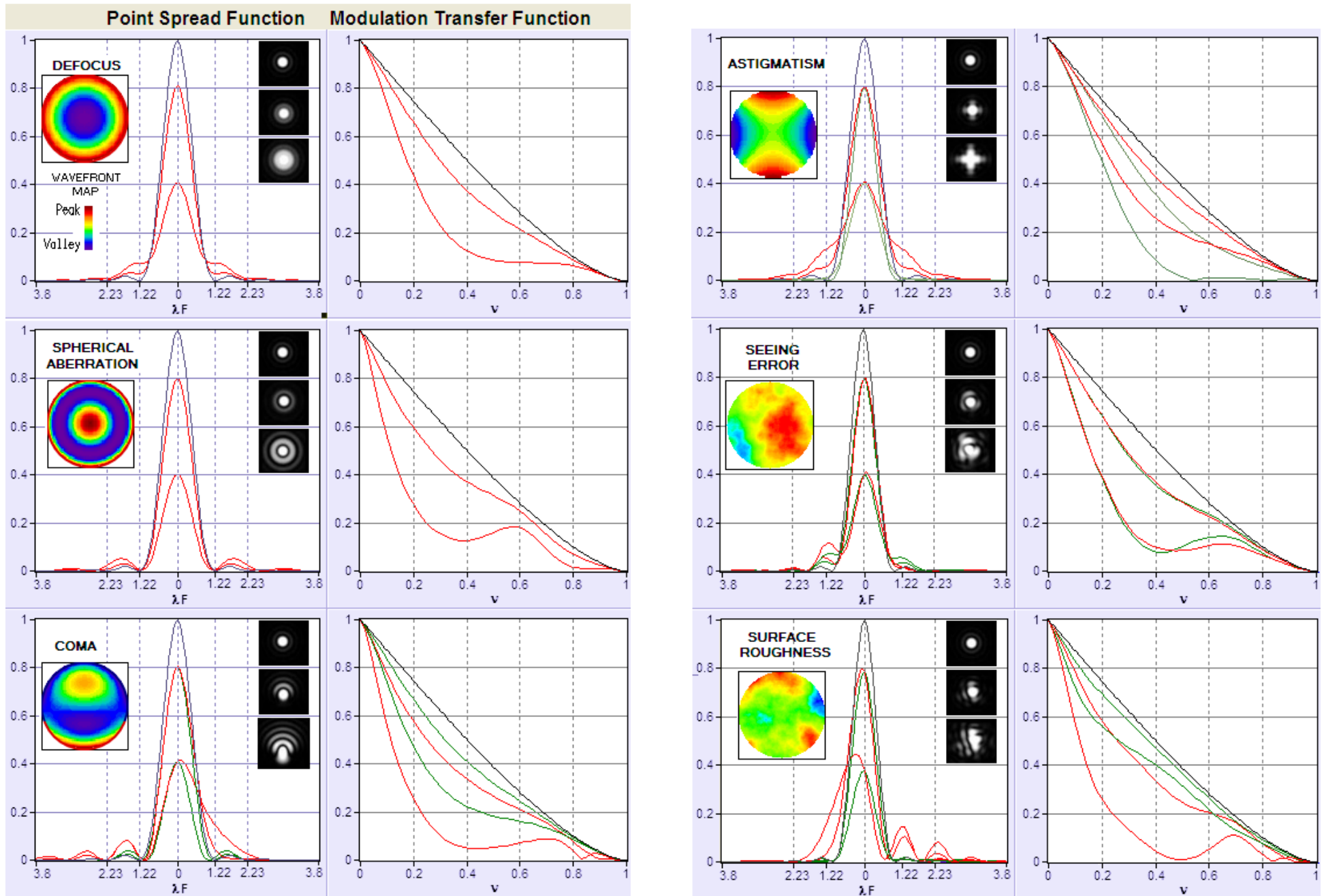
Ensquared energy

Ensquared energy – procent energii zawartej w kwadracie, stosowany niekiedy ze względu na kwadratowy kształt pikseli kamer.



Metody określania jakości optyki

MTF (Funkcja Transferu Modulacji)



MTF, PSF i czoło fali światła w kilku przypadkach (www.telescope-optics.net).

Metody określania jakości optyki

Hopkins ratio

Funkcja (stosunek) Hopkinsa (ang. Hopkins ratio) jest funkcją opisującą stosunek funkcji MTF dla danego układu optycznego do funkcji MTF dla idealnego układu optycznego (ograniczonego jedynie dyfrakcją).

Wady optyczne

Aberracje Seidela – to geometryczne aberracje wynikające z odejścia od optyki gaussowskiej w której stosowane jest przybliżenie małych kątów.

$$\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!}$$

W tym podejściu wyróżnia się następujące aberracje niechromatyczne: sferyczna, koma, astygmatyzm, krzywiznę pola, dystorsja.

Błąd pozycji czoła fali we współrzędnych w płaszczyźnie ogniskowej (p, θ):

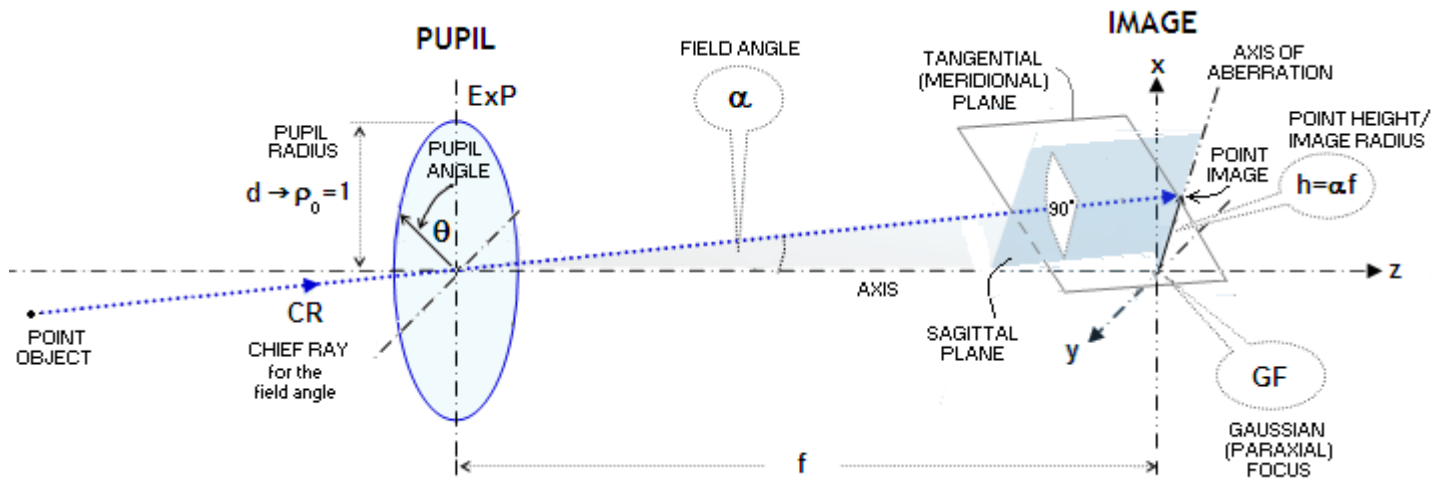
$$W(p, \theta) = S(pd)^4 + C\alpha(pd)^3 \cos \theta + A\alpha^2(pd)^2 \cos^2 \theta + K\alpha^2(pd)^2 + D\alpha^3(pd)^3 \cos \theta$$

Współczynniki kolejnych aberracji: S, C, A, K, D;

α – kąt odchylenia od osi optycznej (ang. field angle);

d – całkowity promień źrenicy wyjściowej;

p – ułamek promienia źrenicy wyjściowej (od 0 do 1);



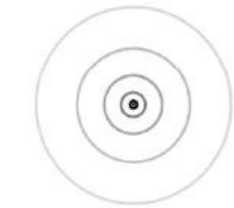
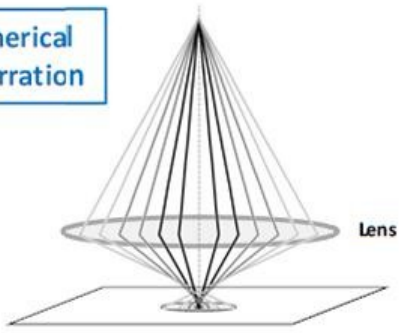
Wady optyczne

Aberracje Seidela

Ray path

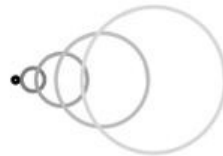
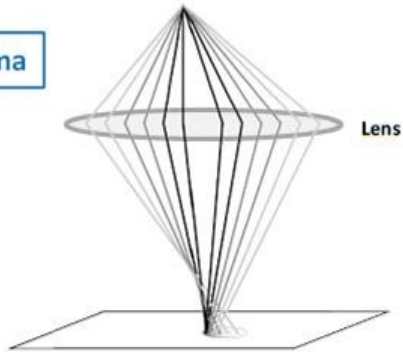
Shape of blur or distortion

Spherical Aberration



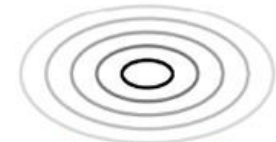
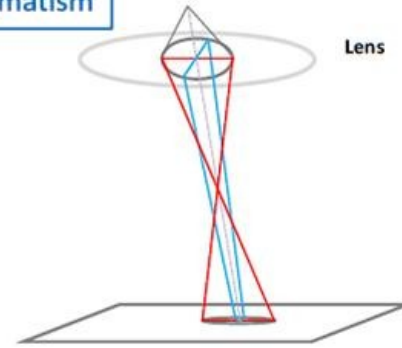
Beam shape of blur by "spherical aberration"

Coma



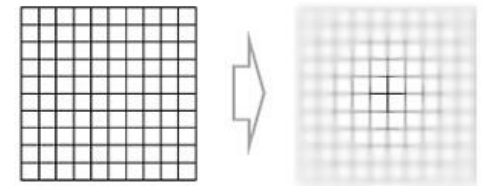
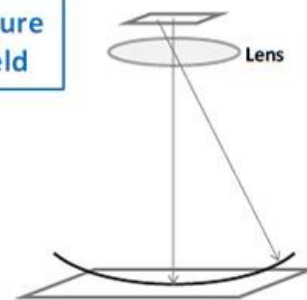
Beam shape of blur by "coma"

Astigmatism



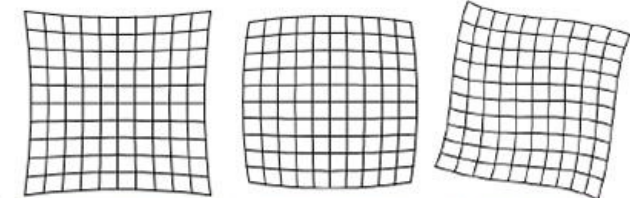
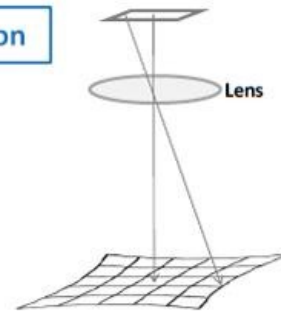
Beam shape of blur by "astigmatism"

Curvature of field



Blur at the edge of the field of view by "curvature of field"

Distortion



Pin-cushion distortion Barrel distortion S-shape distortion

Distortion of the field of view by "distortion"

Wady optyczne

Wielomiany Zernike'a.

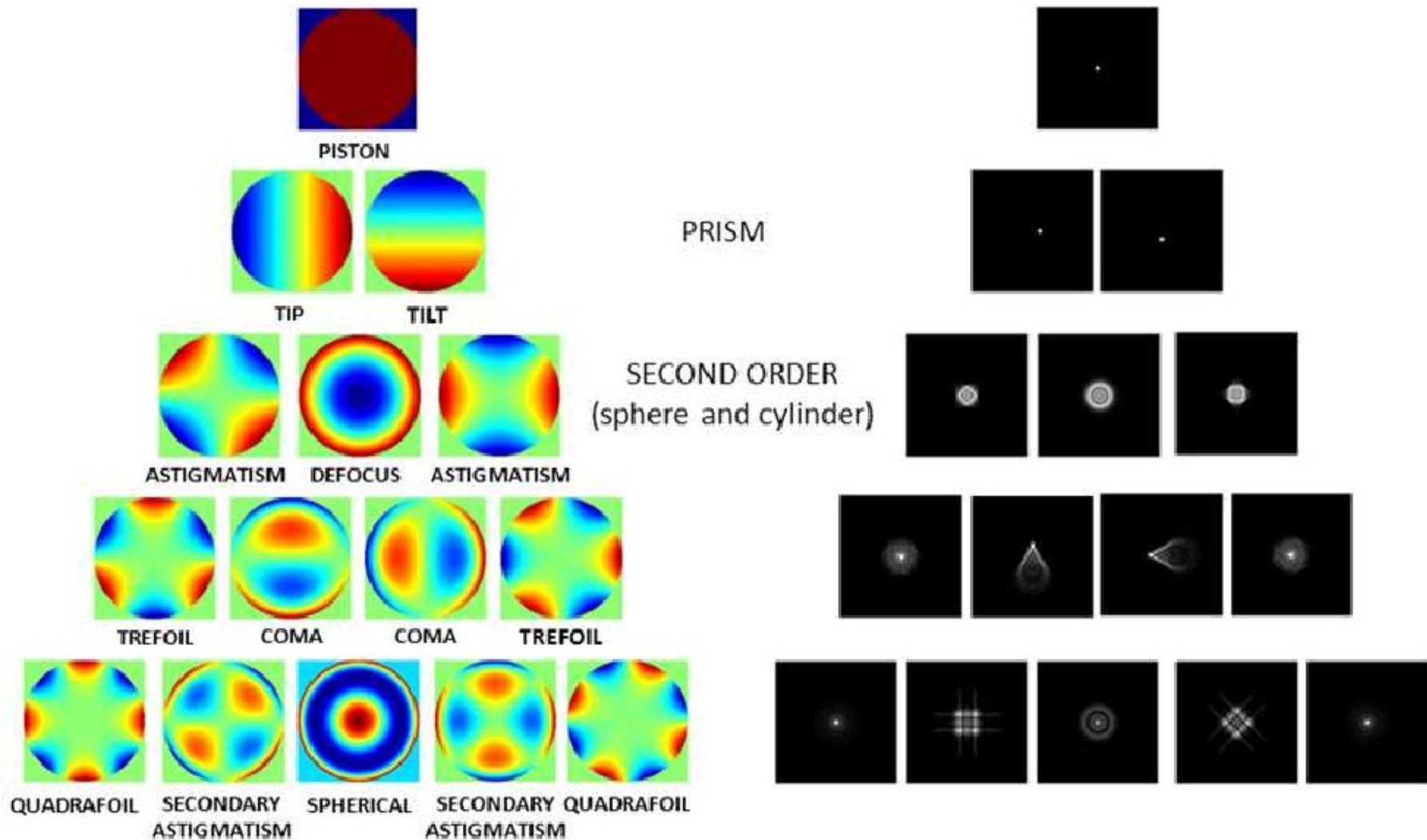
Sekwencja wielomianów, które są ortogonalne na okręgu o promieniu 1.
Opracowane w 1930r przez Fritsa Zernike'a (duński fizyk, noblista, 1888-1966).
Mogą być wykorzystywane do opisu deformacji czoła fali
(jak wielomiany Seidela), ale również np. do opisu kształtu obiektu.

a_0	przesunięcie średnie (ang. piston)
$a_1 \rho \cos(\phi)$	nachylenie (ang. tilt)
$a_2 \rho \sin(\phi)$	nachylenie (ang. tilt)
$a_3 (2\rho^2 - 1)$	niezogniskowanie (ang. defocus)
$a_4 \rho^2 \cos(2\phi)$	astygmatyzm
$a_5 \rho^2 \sin(2\phi)$	astygmatyzm
$a_6 (3\rho^2 - 2)\rho \cos(2\phi)$	koma
$a_7 (3\rho^2 - 2)\rho \sin(2\phi)$	koma
$a_9 (6\rho^4 - 6\rho^2 + 1)$	aberracja sferyczna

ρ – odległość od środka obrazu, ϕ – kąt pozycyjny

Istnieją proste transformacje pomiędzy wielomianami Zernike'a i Seidela.

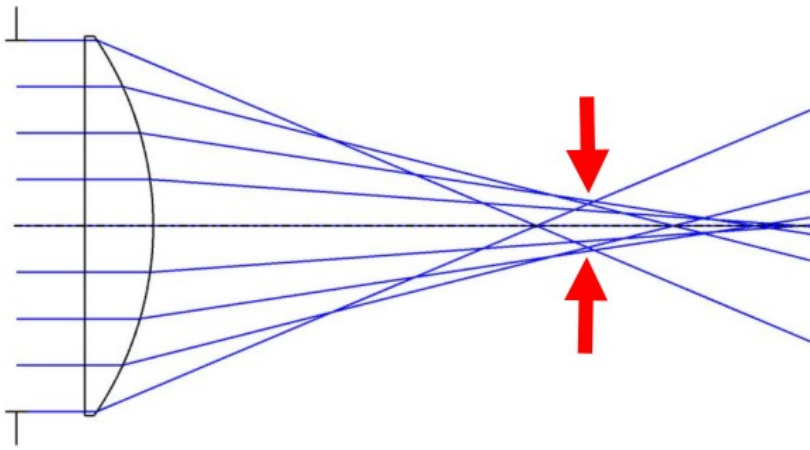
Wady optyczne



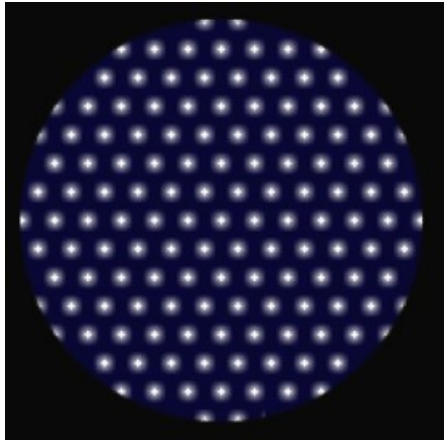
Wizualizacja zniekształcenia czoła fali opisywanego kolejnymi wielomianami Zernike'a oraz wizualizacja PSF odpowiadające danemu czołu fali (Vera-Diaz & Doble, 2012).

Wady optyczne

Aberracja sferyczna



Typowa dla sferycznych elementów optycznych, ale może dotyczyć również wielu innych. Promienie równoległe do osi optycznej z różnych obszarów optyki ogniskują się w różnych miejscach. Wpływa na obraz na osi optycznej, ale czasem uogólnia się ją.



Symulacja z pominięciem dyfrakcji.

Unaberrated image



Image with Spherical Aberration



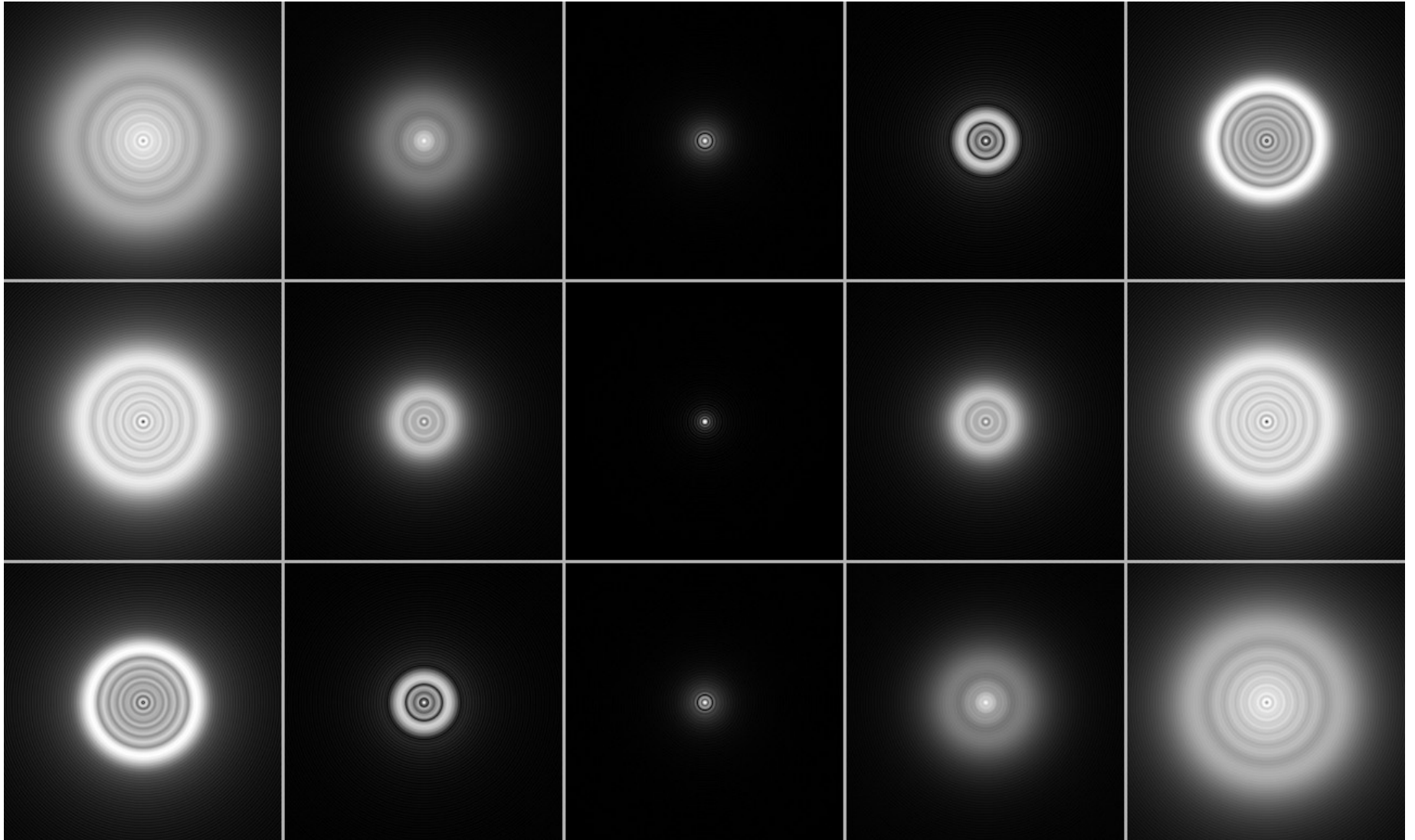
Każda sferyczna soczewka lub lustro ma tę wadę.

Tylko odpowiednie soczewki asferyczne oraz lustra paraboliczne nie mają tej wady.

Ta wada jest proporcjonalna do D^4/f^3 dla teleskopu Newtona.

Wady optyczne

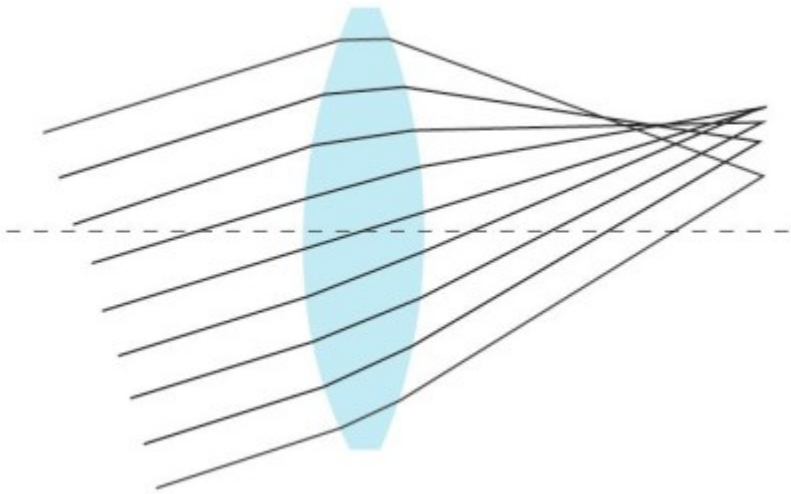
Aberracja sferyczna



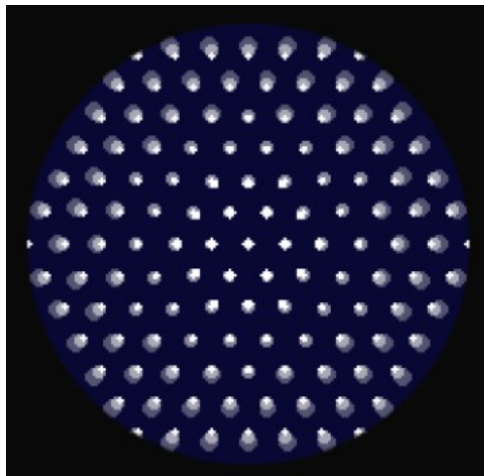
Górny i dolny wiersz pokazuje aberrację sferyczną w teleskopie – obraz w osi optycznej, każda kolumna oznacza inną pozycję względem ogniska, środkowa dokładnie w ognisku (en.wikipedia.org).

Wady optyczne

Koma



Występuje tylko dla promieni poza osią optyczną a więc poza centrum pola widzenia teleskopu. Wynika ze zmiennego powiększenia obrazu powstałego z promieni przechodzących przez różne fragmenty soczewki / lustra.



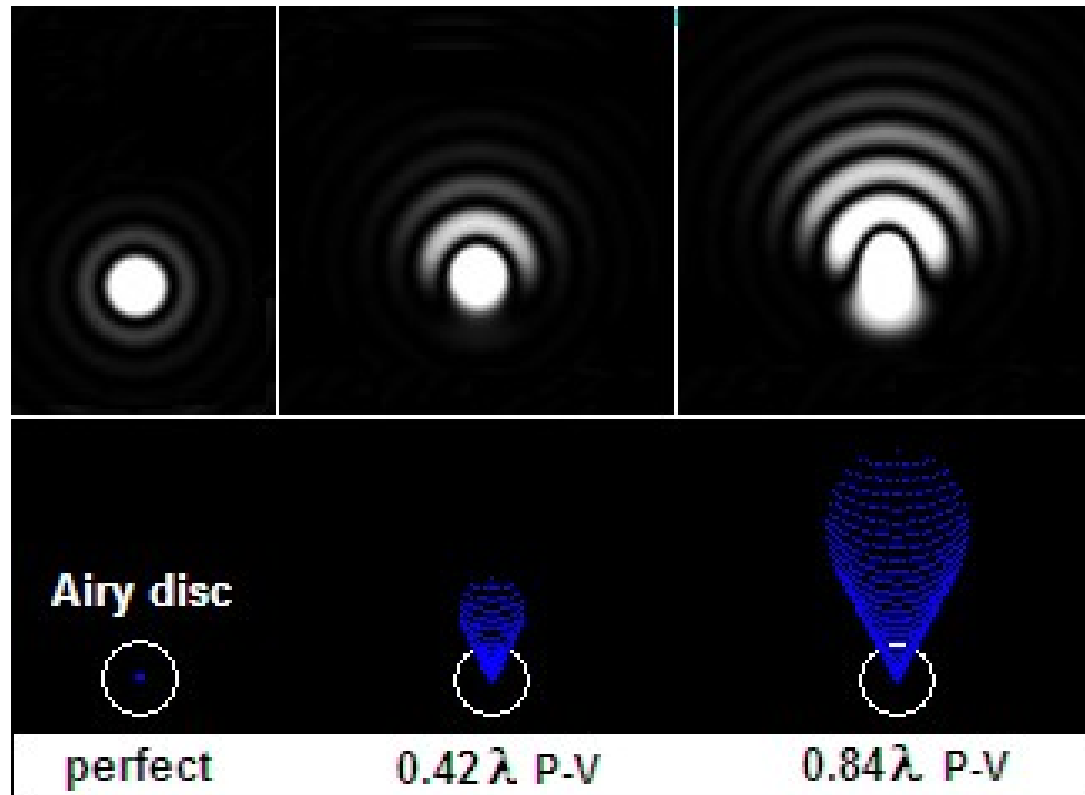
Symulacja z pominięciem dyfrakcji.



Ta wada jest proporcjonalna do $\alpha D/f^2$, gdzie α jest kątem do osi optycznej.

Wady optyczne

Koma



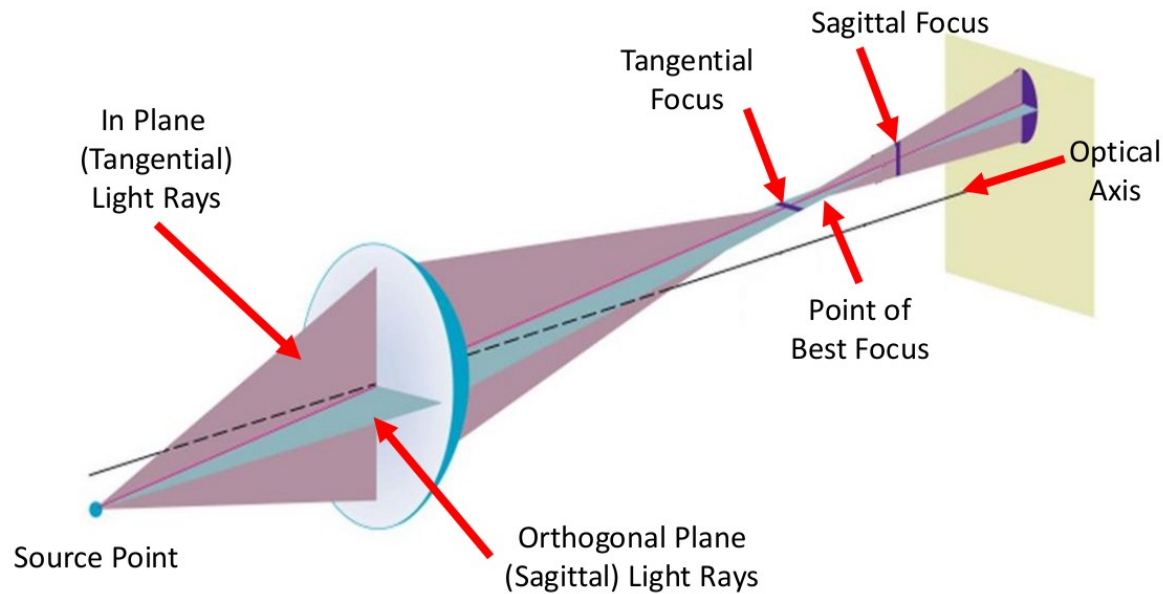
Symulacja komy w teleskopie.

Na dole diagram plamkowy (ang. spot diagram),
który pokazuje bieg promieni bez uwzględnienia dyfrakcji światła (tylko załamanie i refrakcja).

U góry pełna symulacja obrazu w teleskopie
z uwzględnieniem dyfrakcji (www.telescope-optics.net).

Wady optyczne

Astygmatyzm



Promienie pozaosiowe przechodząc przez różne części soczewki / lustra mają różne ogniskowe.

Un-aberrated Image

Tangential Focus

Medial Focus

Sagittal Focus



ognisko styczne

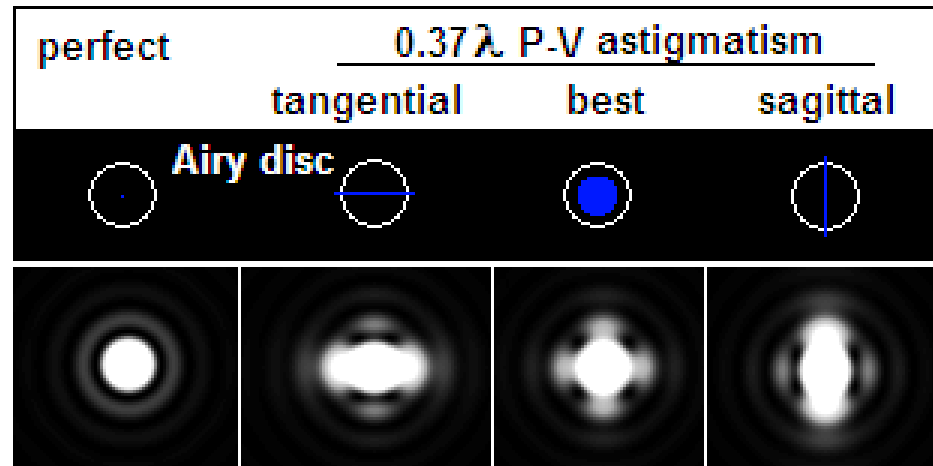
ognisko pośrednie

ognisko radialne

Ta wada jest proporcjonalna do $D\alpha^2/f$, gdzie α kątem do osi optycznej.

Wady optyczne

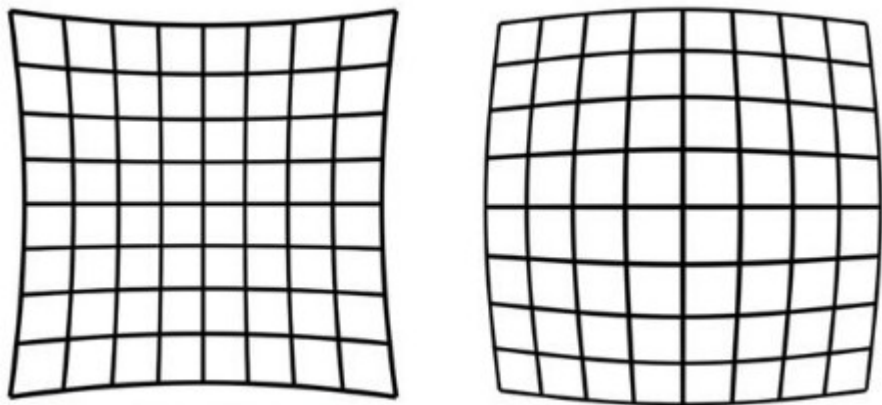
Astygmatyzm



Astygmatyzm wynikający z błędu (zniekształcenia) czoła powierzchni fali 0.37 długości fali światła.
Może on pochodzić z błędu szlifowania lustra równego ok. $0.37 \cdot 550\text{nm} = 200\text{nm}$.
Efektem jest współczynnik Strehla: 0.80 .

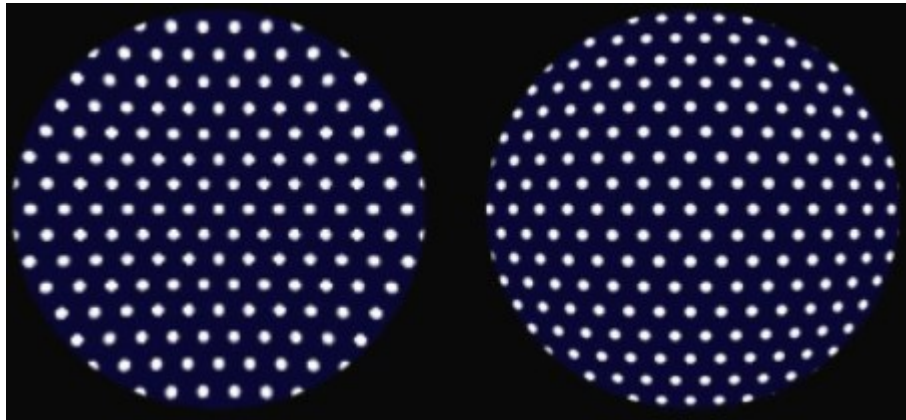
Wady optyczne

Dystorsja



Zmiana powiększenia w zależności od kąta odchylenia promieni od osi optycznej teleskopu. Dwa główne typy: poduszkowa i beczkowa.

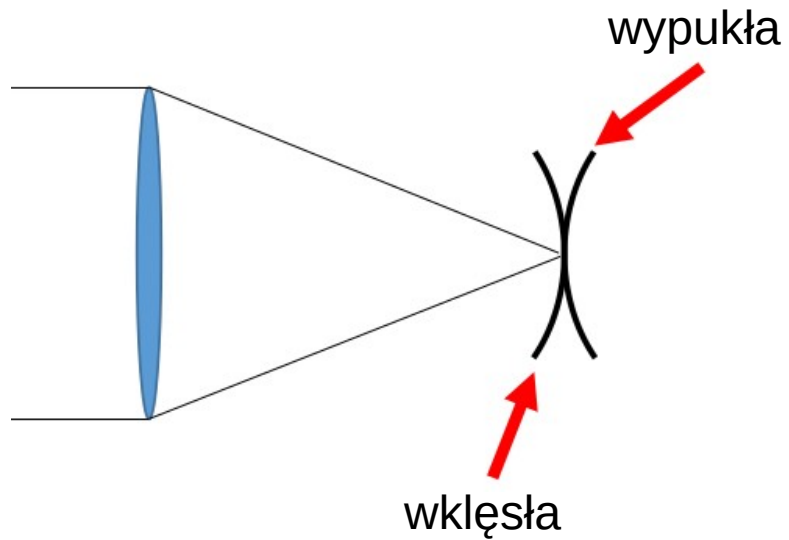
Dotyczy głównie optyki szerokokątnej, w teleskopach praktycznie nie występuje.



Ta wada jest proporcjonalna do $\alpha^3 D$, gdzie D jest aperturą, α kątem do osi optycznej.

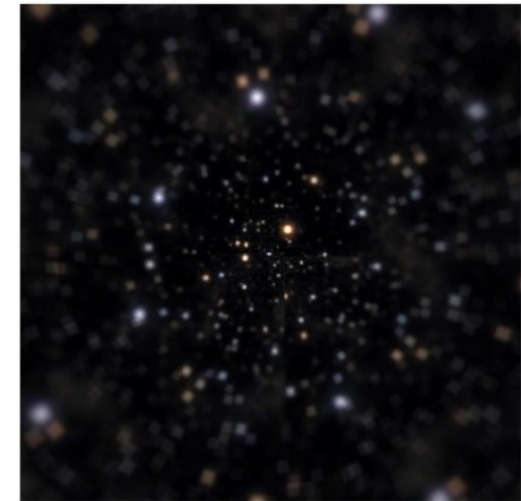
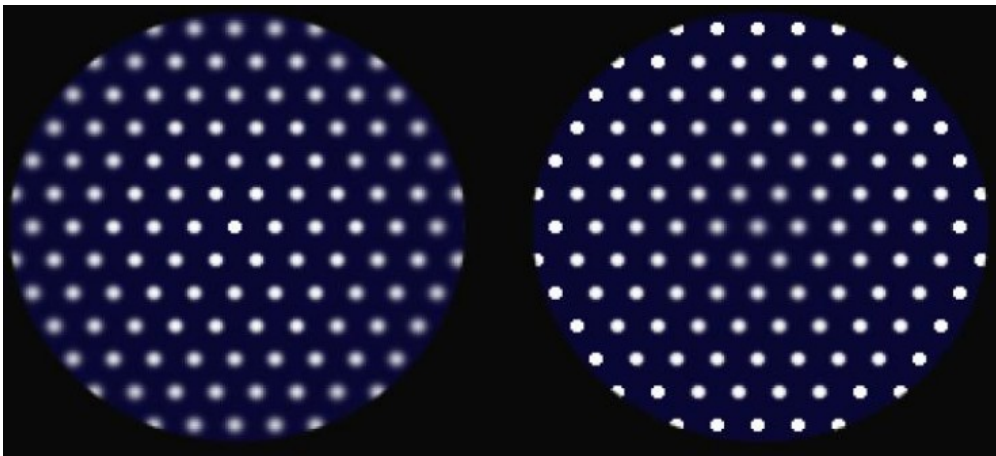
Wady optyczne

Krzywizna pola



Zmiana dł. ogniskowej w zależności od kąta odchylenia promieni od osi optycznej teleskopu.

Dotyczy głównie optyki szerokokątnej, w teleskopach szerokokątnych często występuje.



Od tego slajdu opisujemy wady nie opisywane przez wielomiany Zernike'a.

Wady optyczne

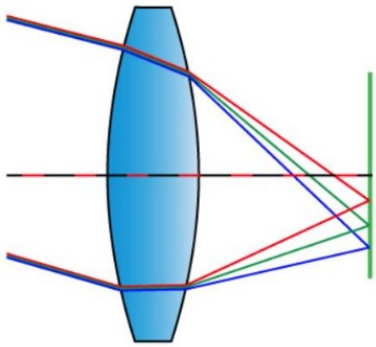
Krzywizna pola

Aby zniwelować krzywiznę pola stosuje się np. wygięte detektory w kamerach.

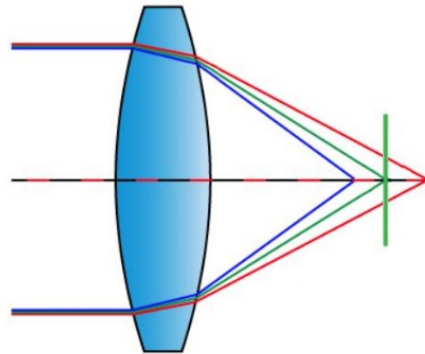


Wady optyczne

Aberracja chromatyczna

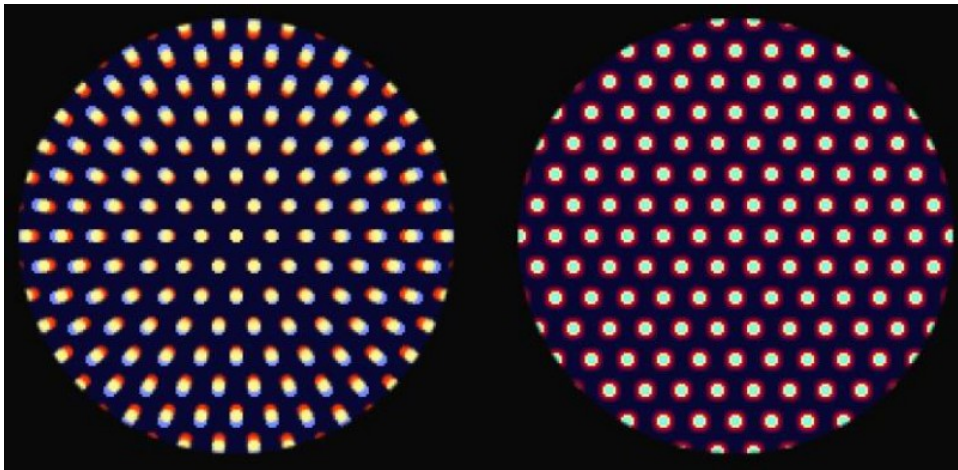


Aberracja
poprzeczna
(ang. lateral)



Aberracja
podłużna
(ang. longitudinal)

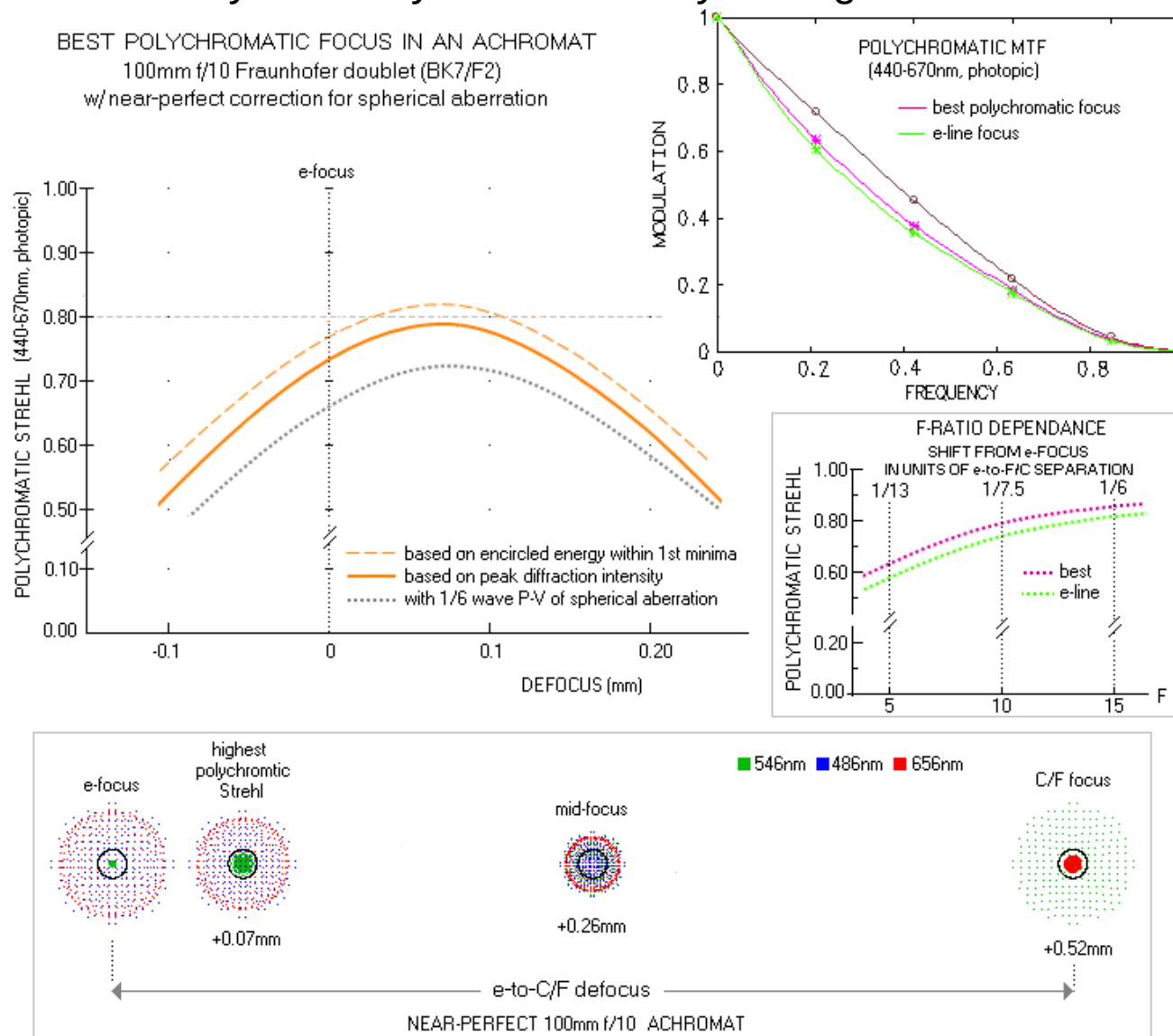
Dotyczy tylko soczewek, powstaje w wyniku dyspersji światła w szkło.
Może być zredukowana przez zastosowanie układów wielu soczewek.



Wady optyczne

Aberracja chromatyczna

Aby ocenić stopień aberracji chromatycznej stosuje się polichromatyczny współczynnik Strehla, czyli współczynnik Strehla wyznaczony dla kilku różnych długości fali światła na raz.

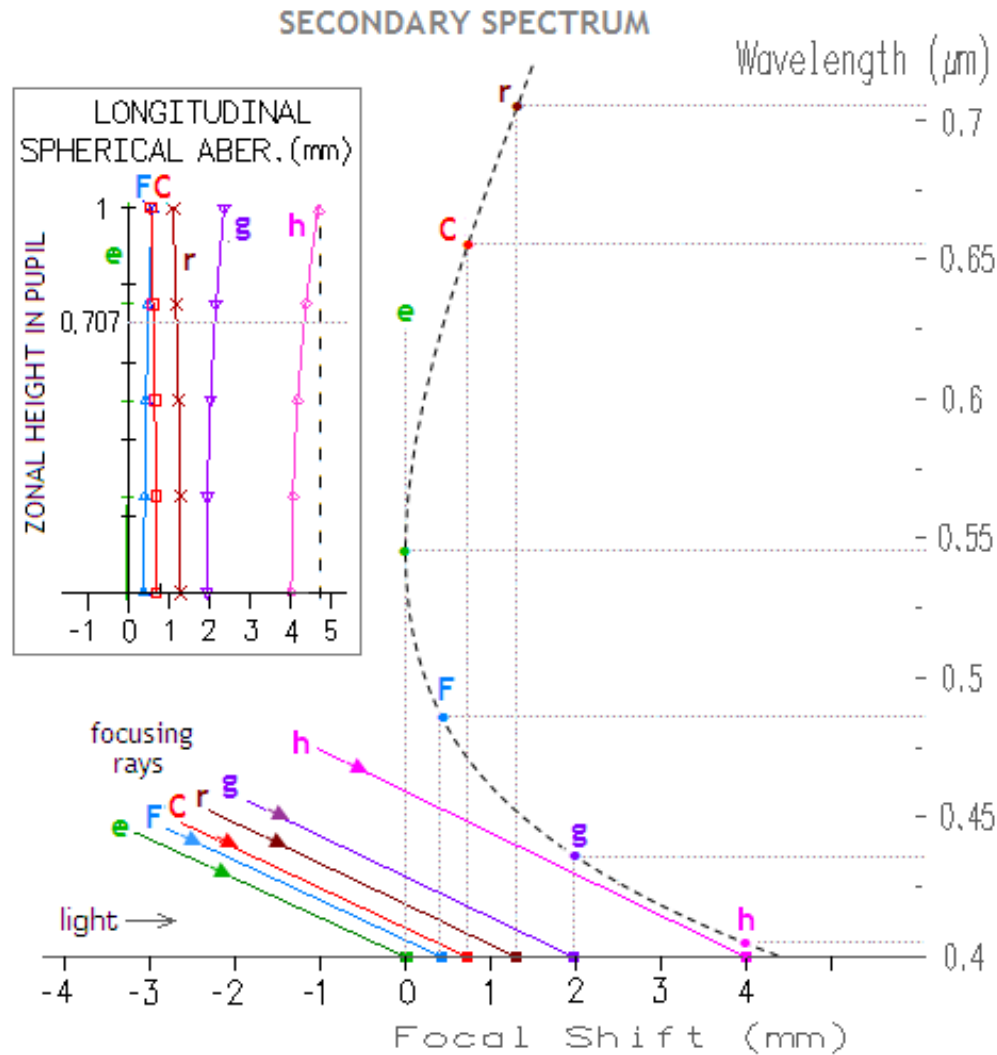


Przykładowy układ optyczny analizowany z użyciem polichromatycznego współczynnika Strehla (www.telescope-optics.net).

Wady optyczne

Aberracja chromatyczna

Podłużna aberracja chromatyczna – zmiana odległości ogniskowej w zależności od dł. fali.

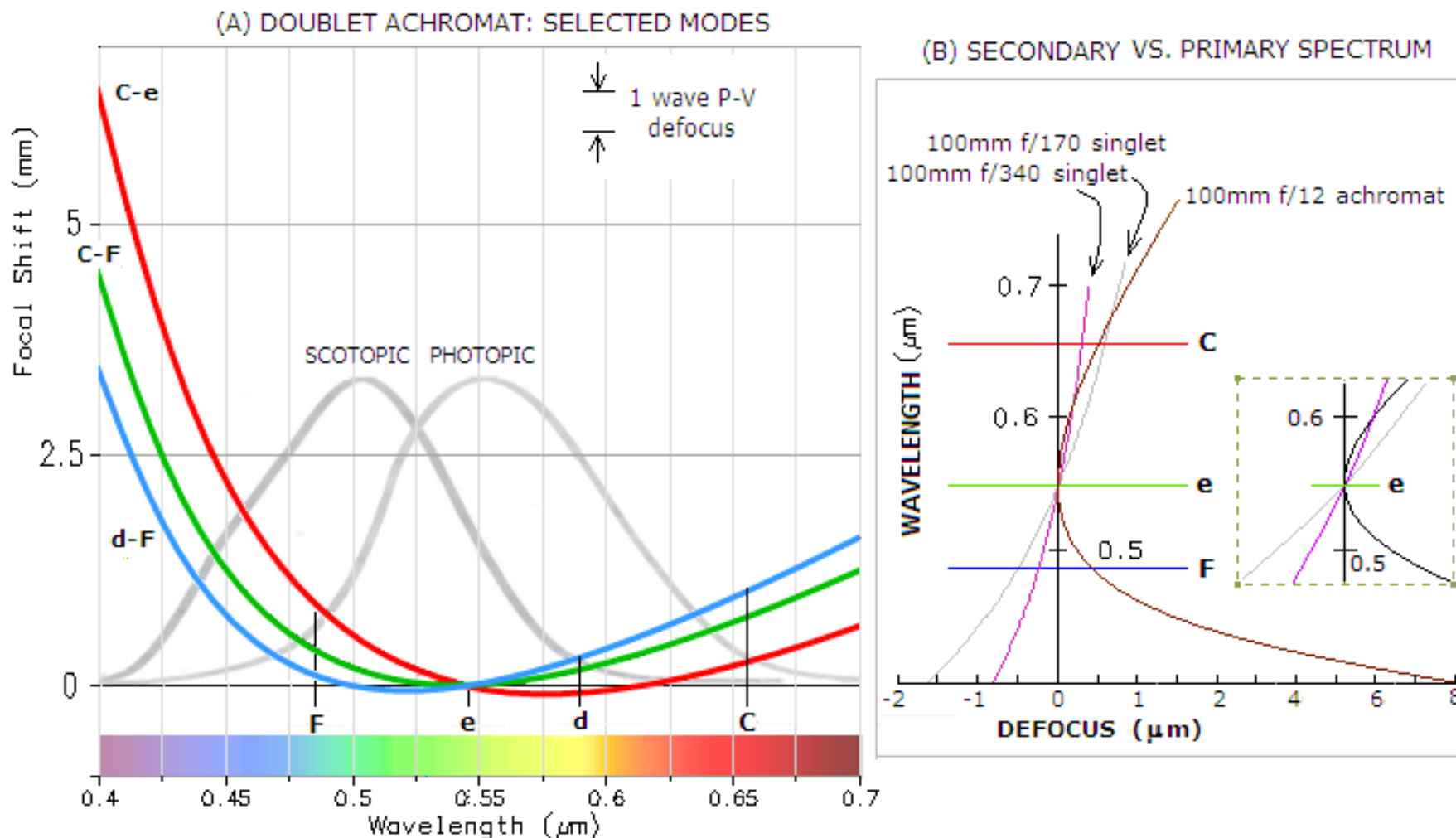


Podłużna aberracja chromatyczna drugiego rzędu dla układu achromatycznego (www.telescope-optics.net).

Wady optyczne

Aberracja chromatyczna

LONGITUDINAL CHROMATISM



Lewy: Podłużna aberracja chromatyczna dla układu achromatycznego 100mm f/10.

Prawy: Podłużna aberracja chromatyczna pierwszego rzędu dla pojedynczych soczewek 100mm f/170 i 100mm f/340.
Podłużna aberracja drugiego rzędu dla układu achromatycznego 100mm f/12 (www.telescope-optics.net).

Inne wady teleskopów

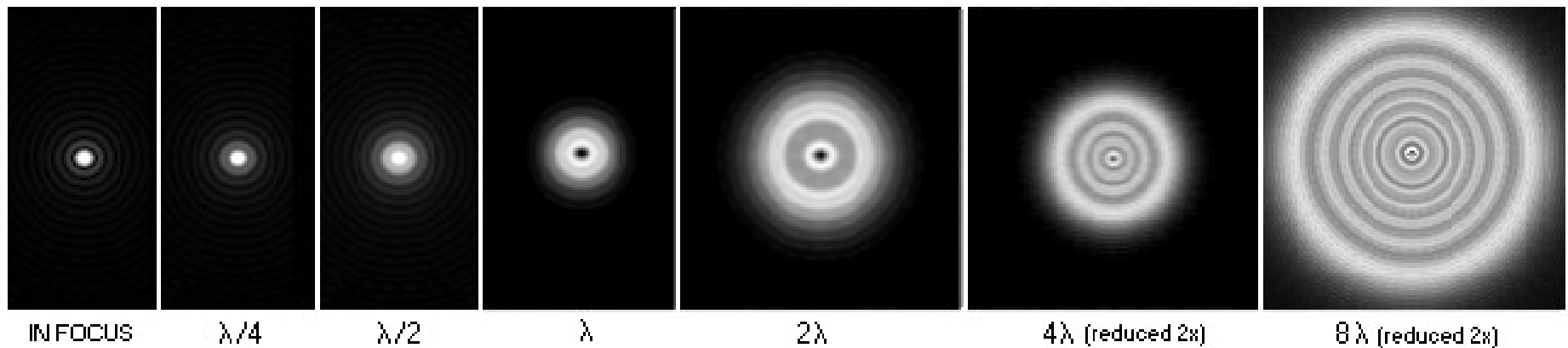
Problemy inne niż wady optyczne

Nieostry obraz – dotyczy szczególnie teleskopów ziemskich

Odblaski – szczególnie w teleskopach kosmicznych

Gięcia – szczególnie w teleskopach naziemnych

Zmiany termiczne – na Ziemi i w kosmosie

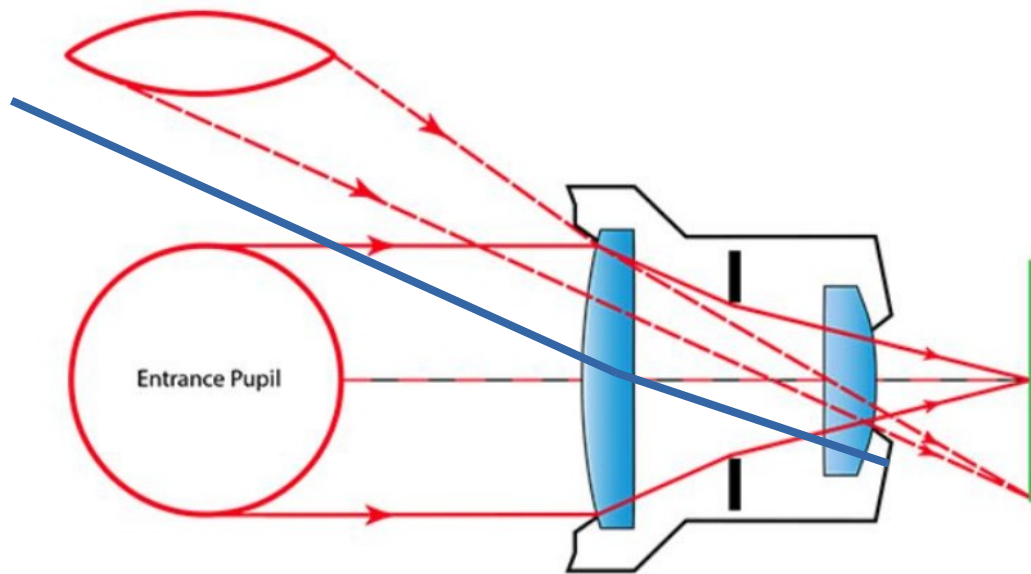


Zmiana obrazu punktowego źródła światła ze względu na błąd ustawienia ostrości (www.telescope-optics.net).

Błąd ostrości obrazu może być również opisywany wielomianami Zernike'a.

Inne wady teleskopów

Winietowanie



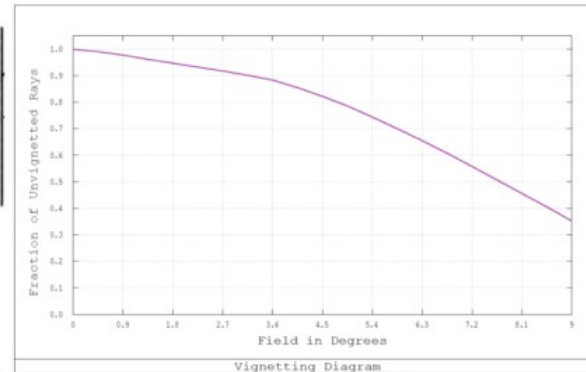
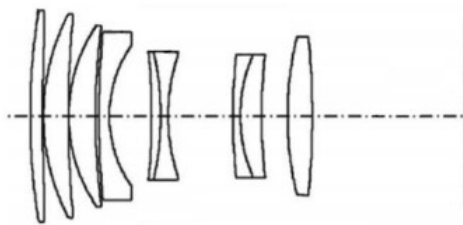
Efekt pociemnienia brzegów zdjęcia.
Wynika z ograniczenia efektywnej apertury (powierzchni obiektywu, źrenicy wejściowej) dla promieni pozaosiowych.



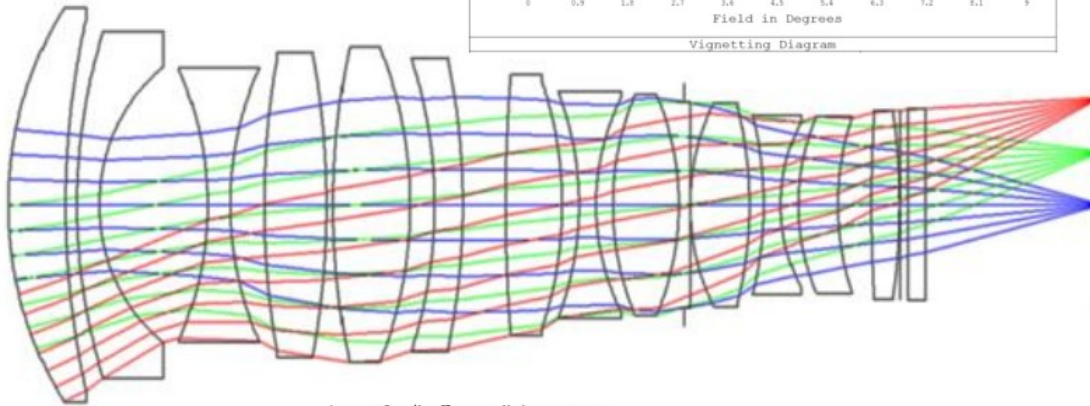
Inne wady teleskopów

Winietowanie

Winietowanie niekiedy wprowadza się celowo dla obniżenia kosztów, masy i poziomu komplikacji układu optycznego.



Commercial, 50mm aperture, 100mm focal length, f/2 lens, 125mm end to end, 0.42kg total, 9 elements w/ internal focus. Exhibits vignetting towards edge.



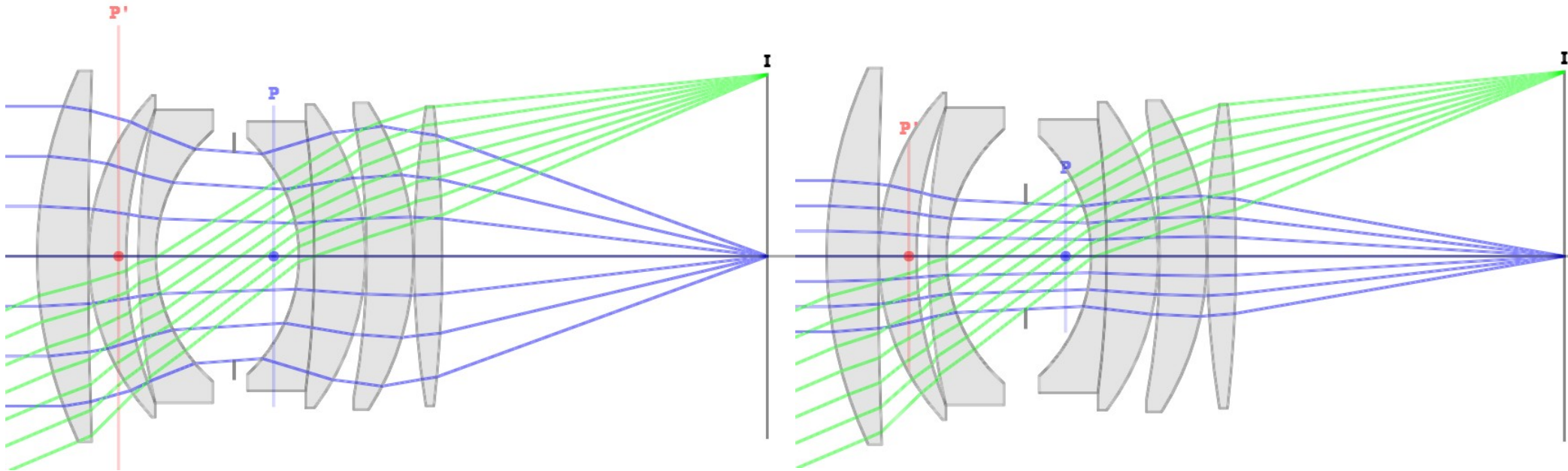
Custom, 50mm aperture, 100mm focal length, f/2 lens, 385mm end to end, > 4kg for just the glass, 13 elements w/ external focus. Exhibits **no vignetting**.

Image Credit: Дмитрий Андреевич

Inne wady teleskopów

Winietowanie

Winietowanie w obiektywie można ograniczyć przymykając przesłonę.

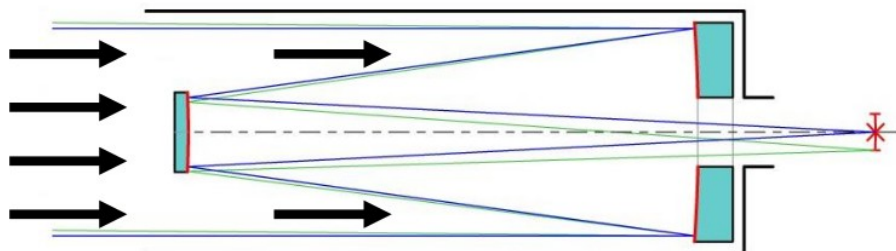


Winietowanie obiektywu $f=50\text{mm}$ $f/1.4$ pracującego na otwartej przesłonie.

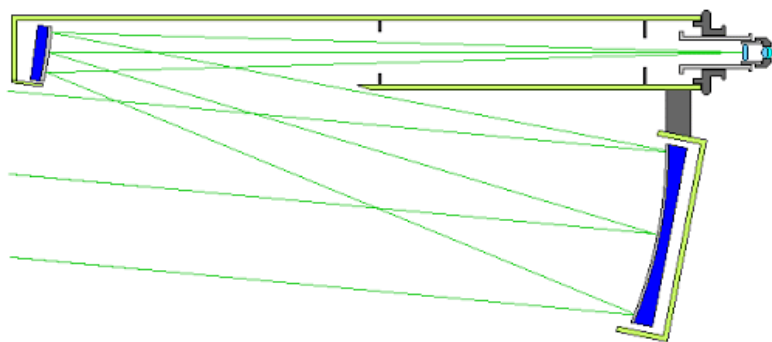
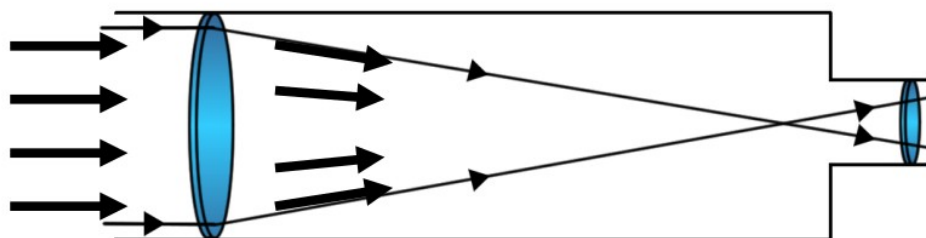
Redukcja winietowania obiektywu $f=50\text{mm}$ $f/1.4$ pracującego z przesłoną $f/2.9$ odbywa się poprzez przyciemnienie centralnych części obrazu tak aby pasowały do przyciemnienia brzegu obrazu.

Inne wady teleskopów

Obstrukcja (przesłanianie)



Zatrzymanie części światła wpadającego w teleskop na elementach mocujących optykę (głównie lustro wtórne). Nie dotyczy refraktorów.



Lustro wtórne może przekraczać 50% średnicy lustra głównego.

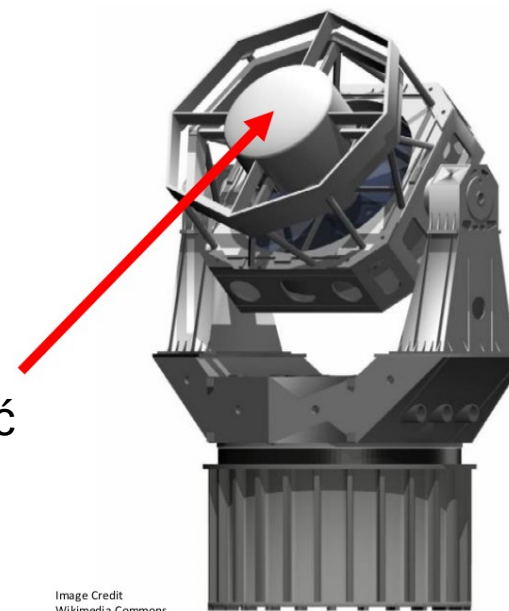


Image Credit
Wikimedia Commons

DARPA SST telescope.

Inne wady teleskopów

Rozszerzalność cieplna

Rozszerzalność cieplna optyki – wady optyczne podczas zmian temperatury

Stosowane w astronomii szkła o niskiej rozszerzalności cieplnej:

Szkło kwarcowe, Zerodur (Schott), AstroSital (LZOS), ULE (Corning) itp

$3 \cdot 10^{-7}$

$7 \cdot 10^{-9}$

$1.5 \cdot 10^{-7}$

$3 \cdot 10^{-9}$

Zwykłe szkło borowo-krzemowe: $3 \cdot 10^{-6}$

Rozszerzalność cieplna mechaniki – rozogniskowanie / rozkolimowanie teleskopu

Stosowane w astronomii materiały o niskiej rozszerzalności cieplnej:

Invar, włókno węglowe

$1 \cdot 10^{-6}$

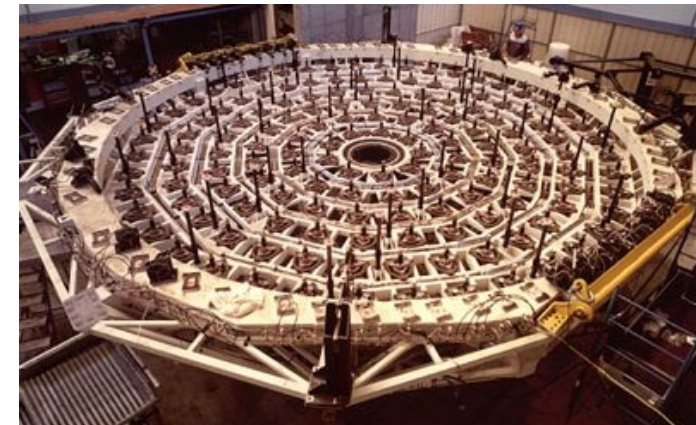
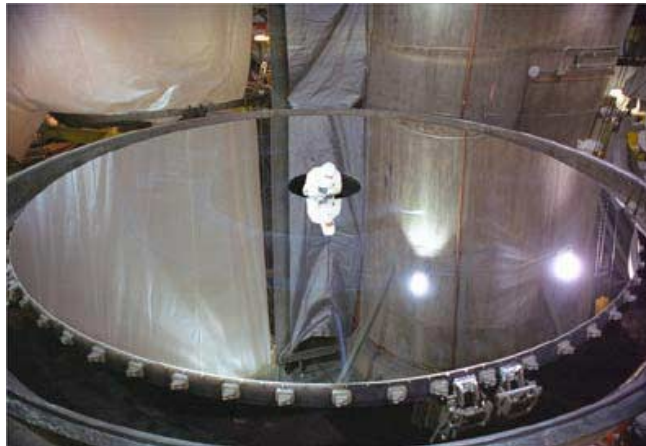
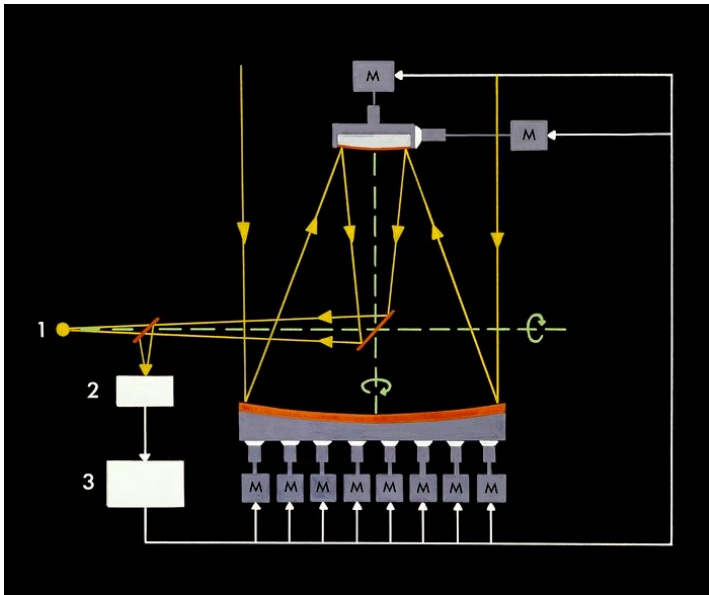
$1 \cdot 10^{-6}$

Stopy aluminium: $\sim 2 \cdot 10^{-5}$ stal: $\sim 1 \cdot 10^{-5}$

Inne wady teleskopów

Gięcia mechaniczne

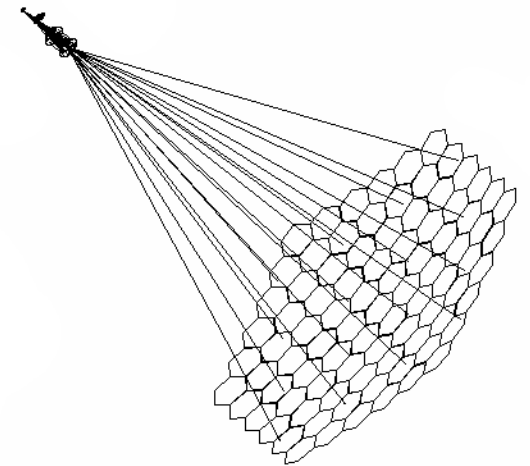
Zamocowanie lustra które waży wiele ton i nie może się wygiąć nawet o 1/10 długości fali światła (55 nm) mimo, że będzie obracane nawet o 90 stopni (razem z teleskopem) nie jest łatwe.



Optyka aktywna (nie adaptacyjna) – ciągła kontrola i korekta kształtu i orientacji luster

Inne wady teleskopów

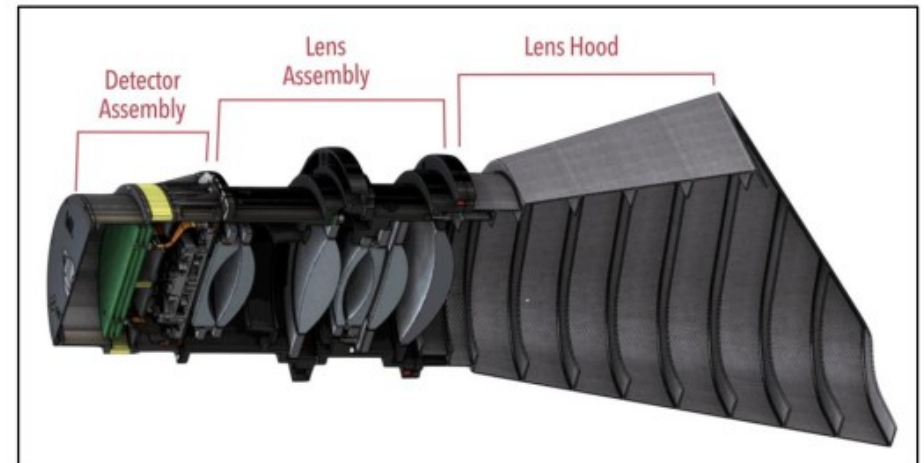
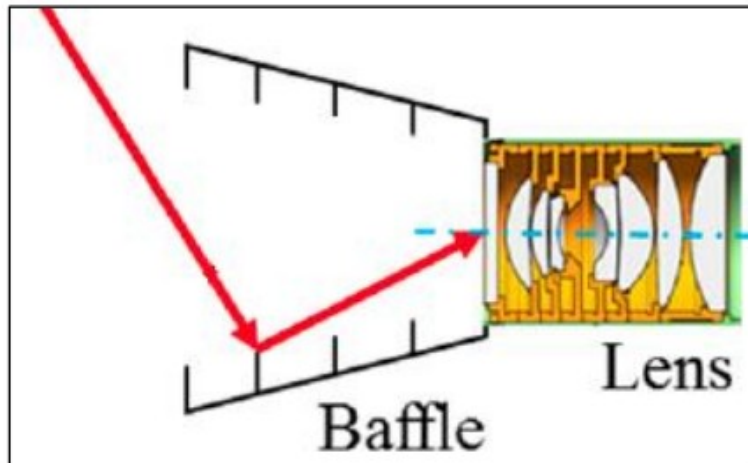
Gięcia mechaniczne



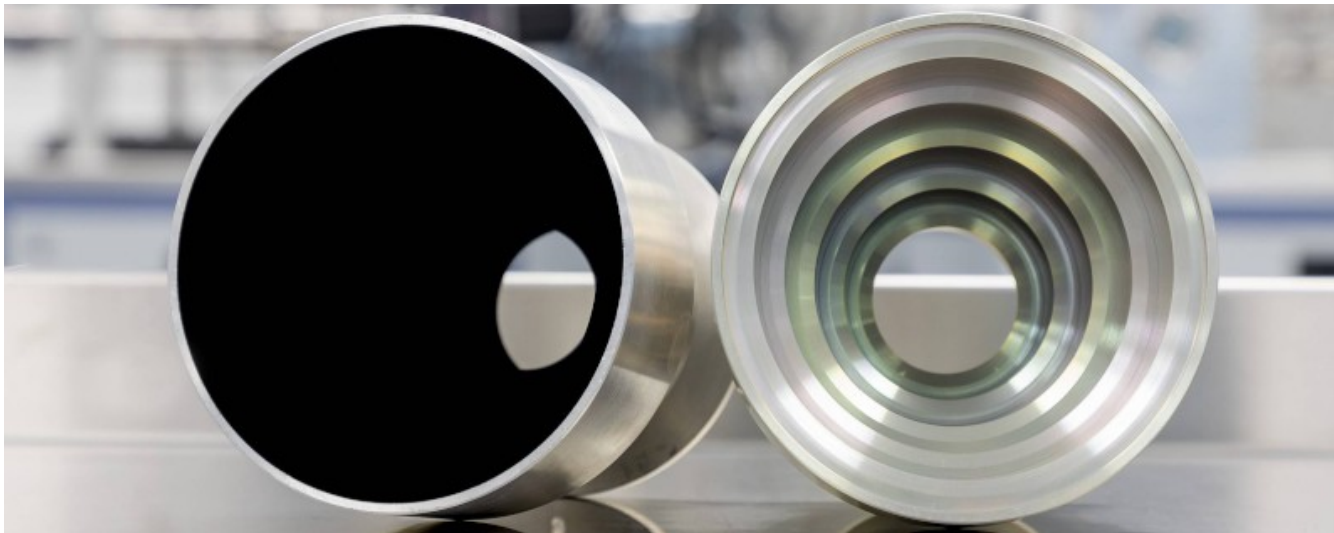
Teleskop SALT kalibruje ustawienie segmentów lustra głównego co godzinę.

Inne wady teleskopów

Rozpraszanie światła (odblaski na obudowie)



Przesłony optyczne



Wyczernienie wewnątrz obiektywu / teleskopu (Vantablack)

Inne wady teleskopów

Rozpraszanie światła (odblaski na obudowie)

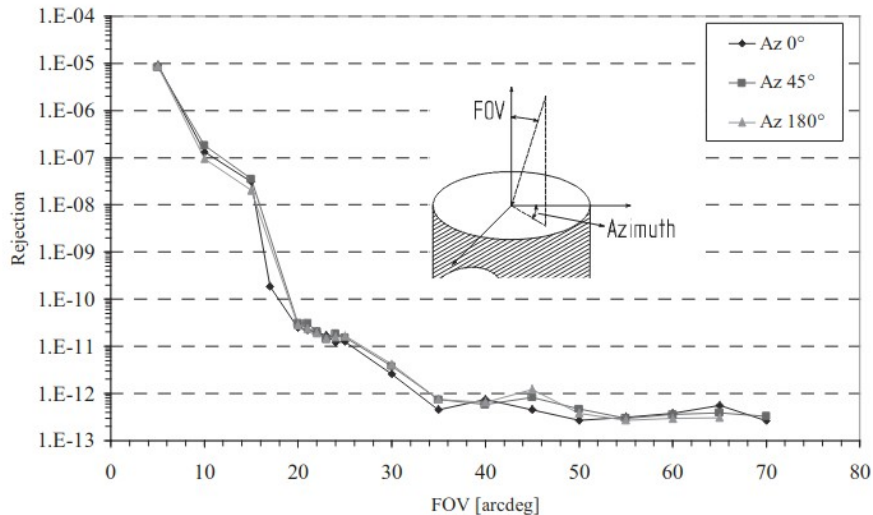
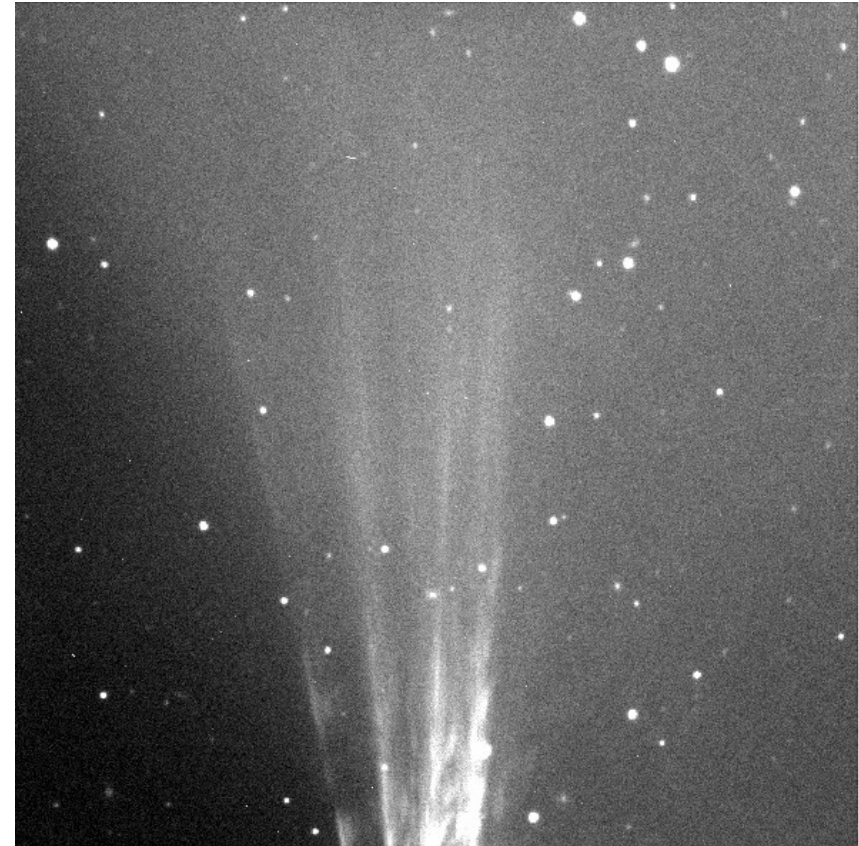


Figure 13: Results of the straylight analysis for different azimuths.

Symulacja rozpraszania światła w teleskopie na satelicie COROT (Plessier i in., 2004).



Rozproszone światło gwiazdy spoza pola widzenia teleskopu.

Rozpraszanie światła analizuje się symulując powierzchnie obudowy/przesłon, które widoczne są przez lustro główne lub wtórne.

Osobno analizuje się powierzchnie i krawędzie.

Inne wady teleskopów

Odblaski w optyce

Równania Fresnela opisują odbicie i przejście światła przez granicę dwóch ośrodków.

Współczynnik odbicia dla składowych polaryzacji S i P wynosi:

$$R_S = \left| \frac{Z_2 \cos \theta_i - Z_1 \cos \theta_t}{Z_2 \cos \theta_i + Z_1 \cos \theta_t} \right|^2$$

$$R_P = \left| \frac{Z_2 \cos \theta_t - Z_1 \cos \theta_i}{Z_2 \cos \theta_t + Z_1 \cos \theta_i} \right|^2$$

gdzie Z_1 i Z_2 opisują impedancję falową,
a θ_i i θ_t kąty padania i transmisji (przejścia).

Dla ośrodka niemagnetycznego można napisać:

$$R_S = \left| \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \right|^2$$

$$R_P = \left| \frac{n_1 \cos \theta_t - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i} \right|^2$$

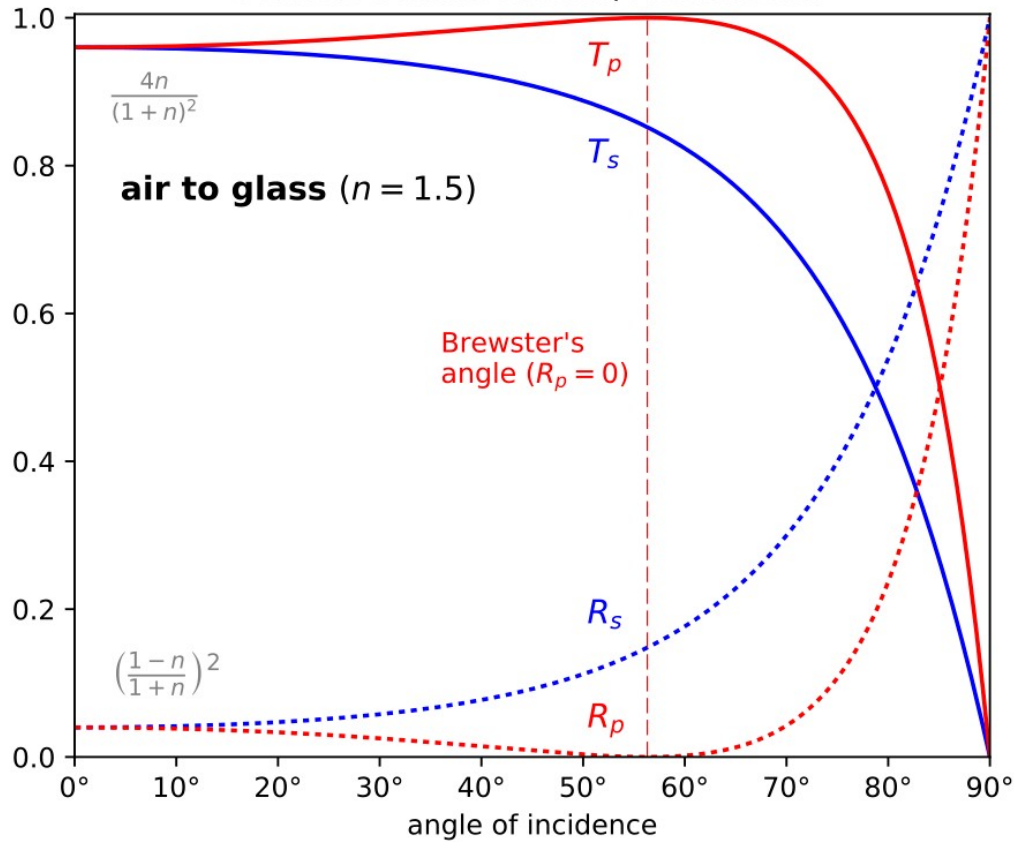


Augustin Jean Fresnel (1788-1827)

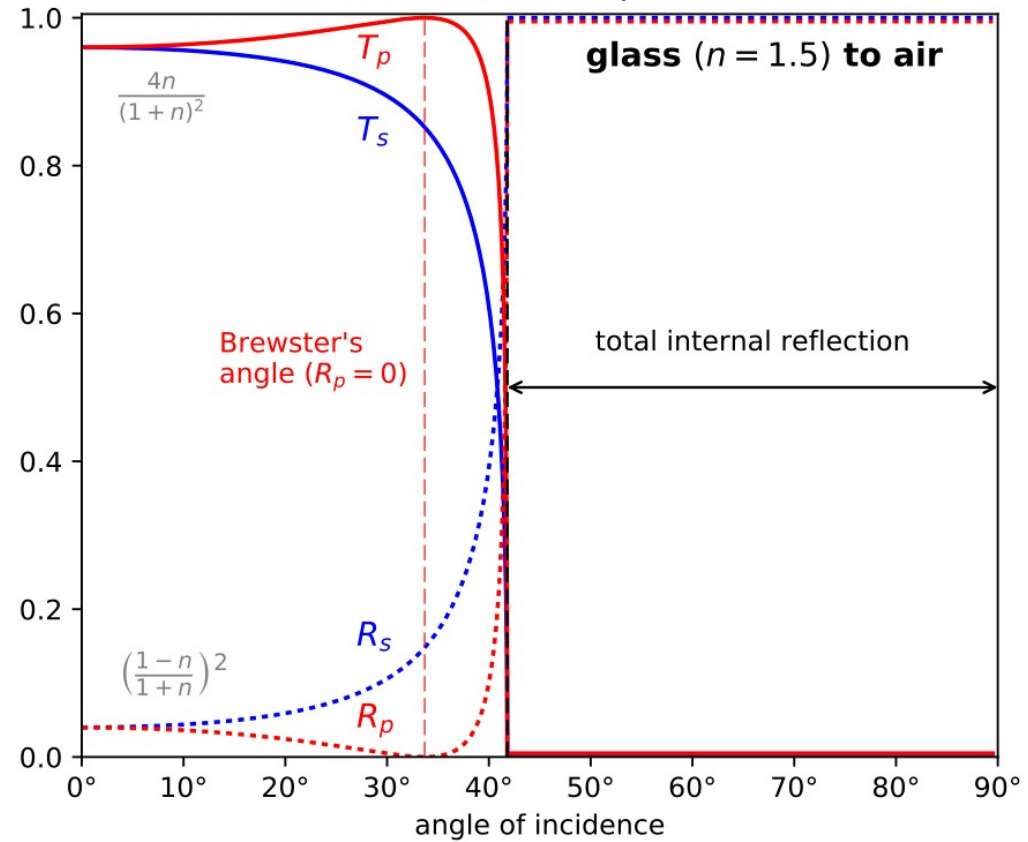
Inne wady teleskopów

Odblaski w optyce

Fresnel transmittances/reflectances



Fresnel transmittances/reflectances



Inne wady teleskopów

Odblaski w optyce

Zakładając przejście prostopadłego promienia z powietrza do szkła mamy:

$$R_P = R_S = \left| \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right|^2 = \left| \frac{1 - 1.5}{1 + 1.5} \right|^2 = 0.04$$

Zakładając przejście prostopadłego promienia ze szkła do powietrza mamy:

$$R_P = R_S = \left| \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right|^2 = \left| \frac{1.5 - 1}{1.5 + 1} \right|^2 = 0.04$$

Zakładając 1 soczewkę (2 powierzchnie graniczne) mamy:

$$T = 0.96^2 = 0.92$$

$$R = 1 - T = 0.08$$

Zakładając 10 soczewek (20 powierzchni granicznych) mamy:

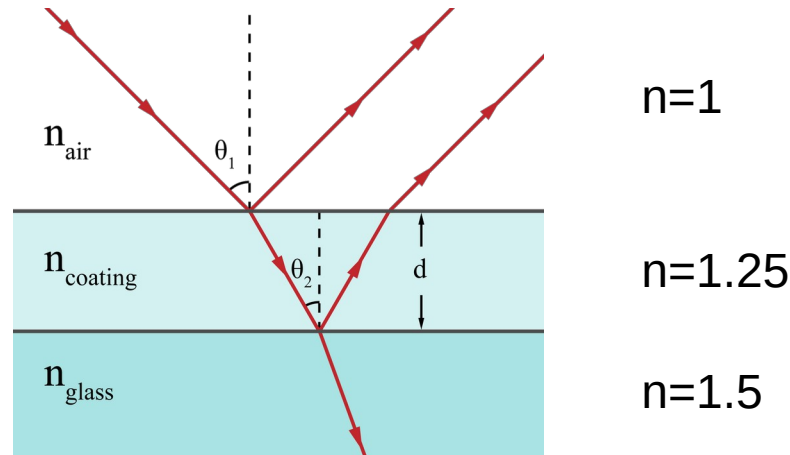
$$T = 0.96^{20} = 0.44$$

$$R = 1 - T = 0.56$$

Inne wady teleskopów

Warstwy antyodblaskowe

Lord Rayleigh zauważył, że stare soczewki pokryte nalotem (patyną) mają mniejsze odbłaski i większą transmisję światła niż nowe



Zakładając przejście prostopadłego promienia z powietrza do $n=1.25$:

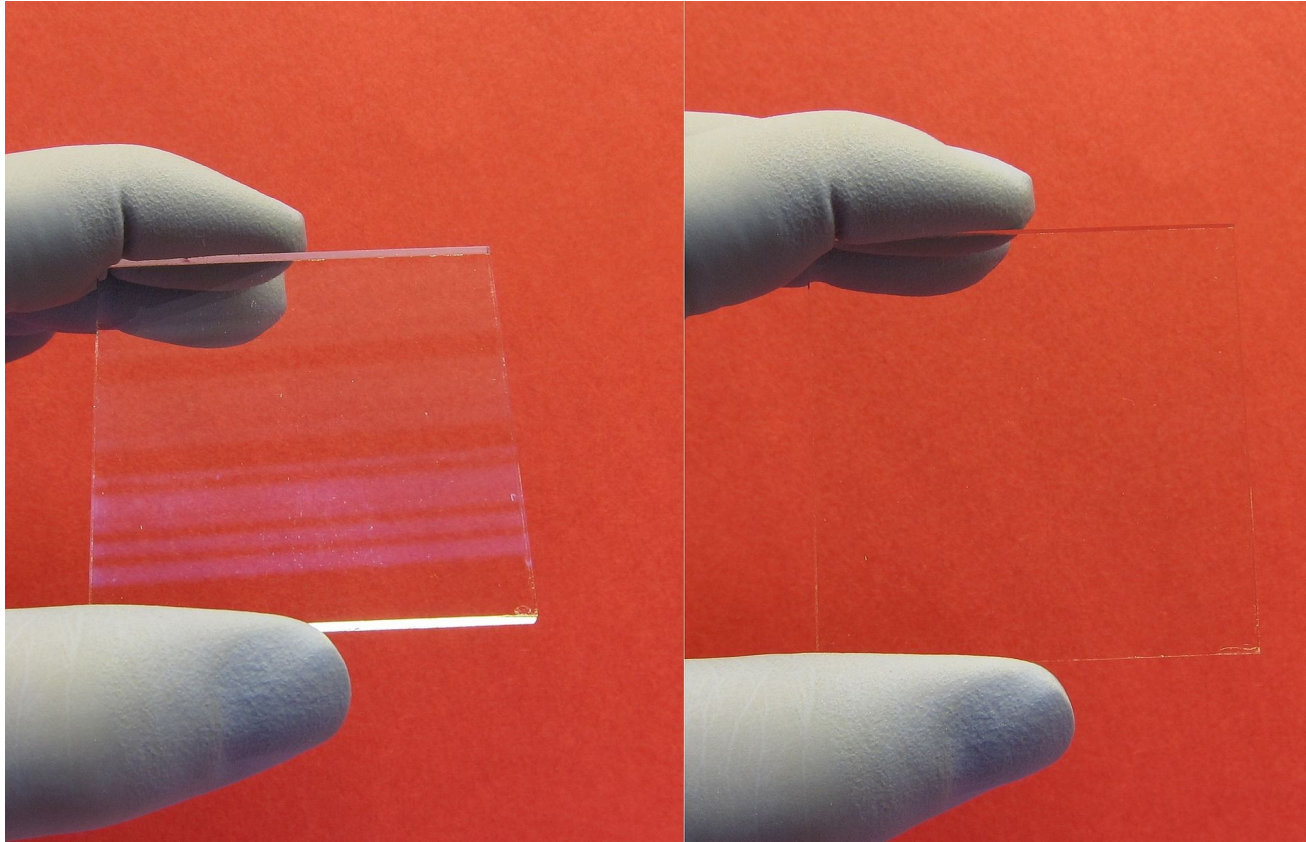
$$R_P = R_S = \left| \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right|^2 = \left| \frac{1 - 1.25}{1 + 1.25} \right|^2 = 0.012$$

W sumie więc odbicie na dwóch warstwach wyniesie:

$$R = 1 - T = 1 - 0.988^2 = 0.024$$

Inne wady teleskopów

Warstwy antyodblaskowe

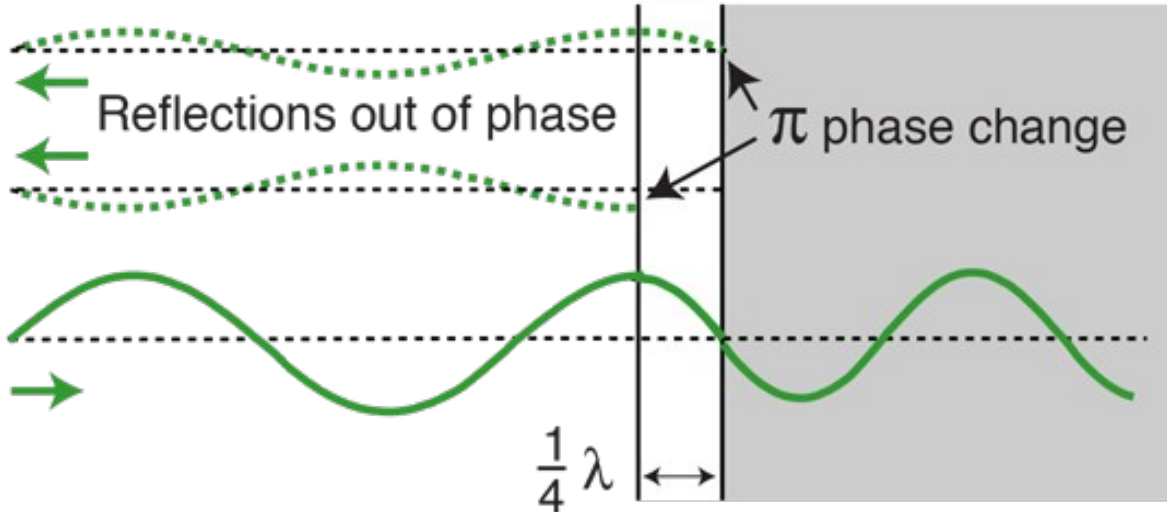


Przykład szyby pokrytej nie pokrytej warstwą antyodblaskową (en.wikipedia.org).

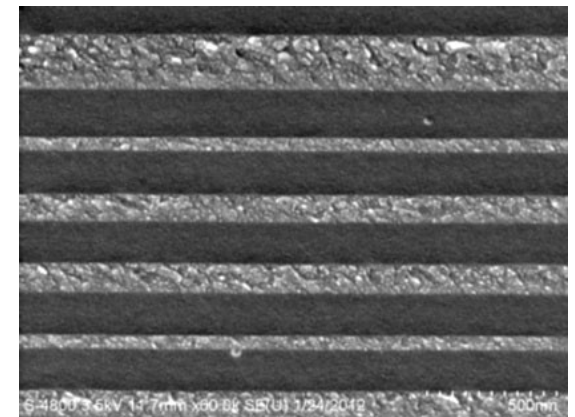
Inne wady teleskopów

Warstwy antyodblaskowe

Współcześnie stosuje się warstwy odblaskowe łączące działanie odkryte przez Rayleigha z interferencją światła.
Bardzo często stosuje się również wiele warstw jednocześnie.



Schemat działania warstwy o grubości $\frac{1}{4}$ (hyperphysics.phy-astr.gsu.edu).

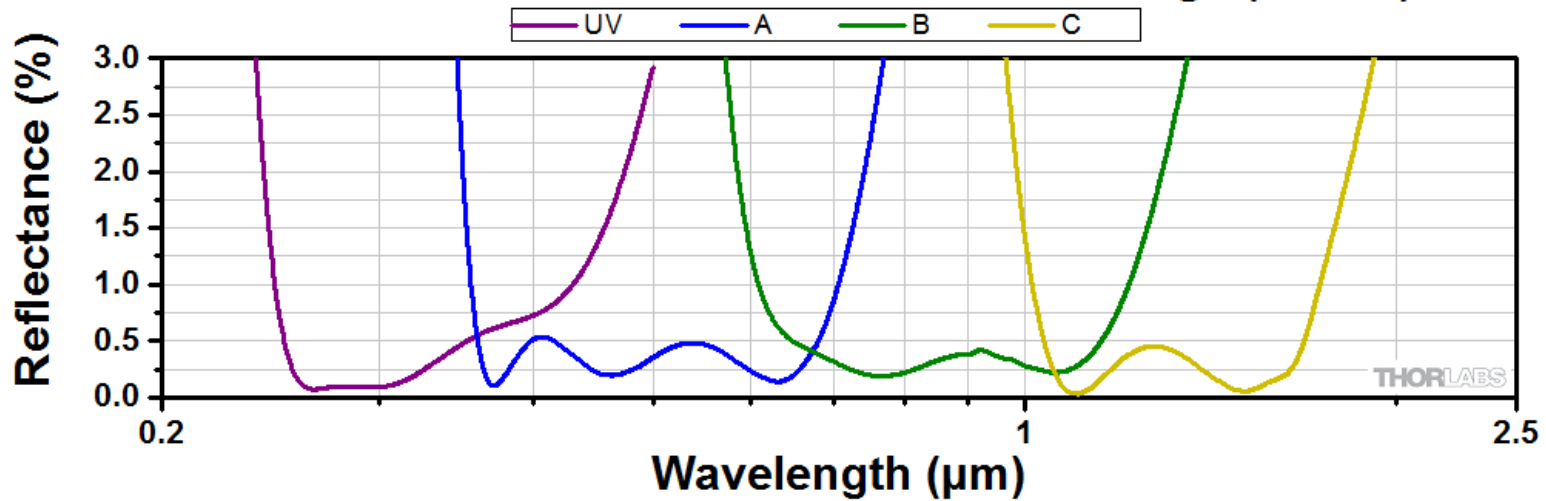


Zdjęcie mikroskopowe przekroju warstw antyodblaskowych (thorlabs.com).

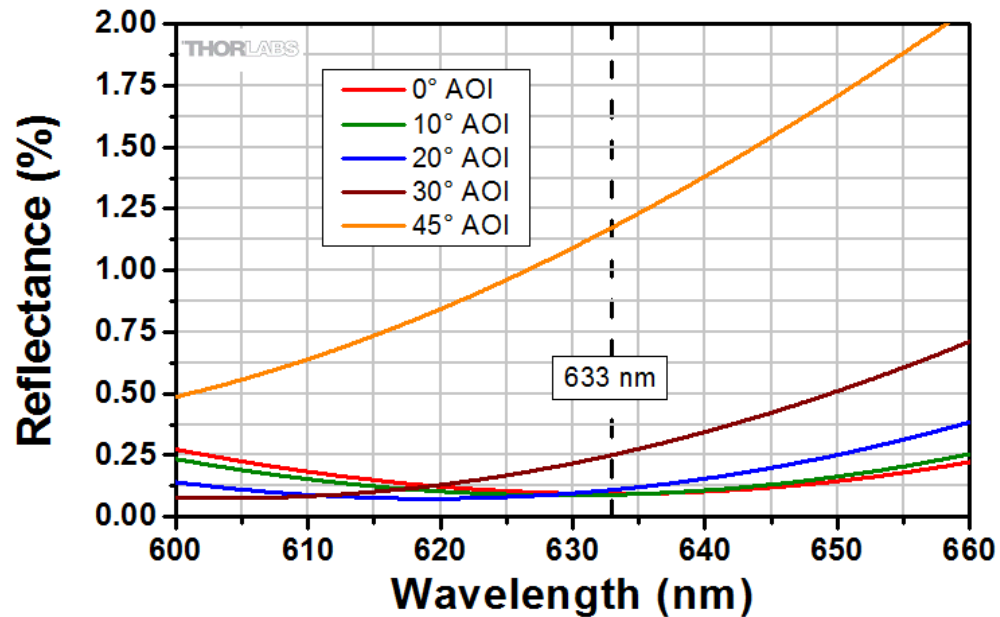
Inne wady teleskopów

Warstwy antyodblaskowe

Thorlabs' Standard Broadband AR Coatings (8° AOI)



633 nm V-Coat Angle of Incidence Dependence



Odbijalność światła powłoki wielowarstwowej (MC) w zależności od kąta padania światła (thorlabs.com).

Inne wady teleskopów

Czułość na błędy kolimacji

RMS błędu czoła fali ω w zależności od kąta pochylenia lustra τ w teleskopie Newtona:

$$\omega \propto \tau D / f^2$$

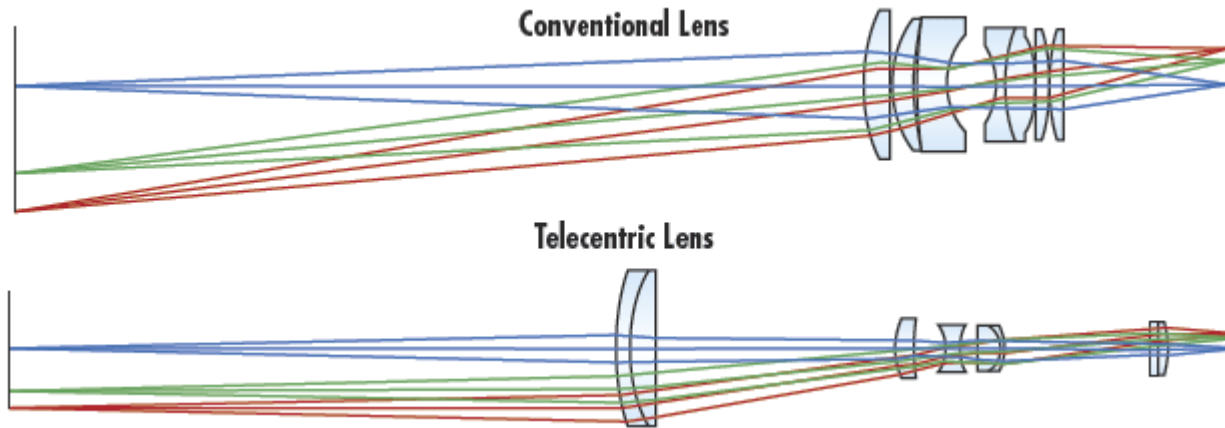
RMS błędu czoła fali ω w zależności od przesunięcia lustra δ prostopadle w stosunku do osi optycznej w teleskopie Newtona:

$$\omega \propto \delta / f^3$$

Wysoka czułość na błędy kolimacji oznacza częstą konieczność poprawiania kolimacji, niską odporność na drgania (wiatr, trzęsienia ziemi), transport (samochód, rakieta).

Inne cechy obiektywów

Telecentryczność



FIXED FOCAL LENGTH LENS



TELECENTRIC LENS



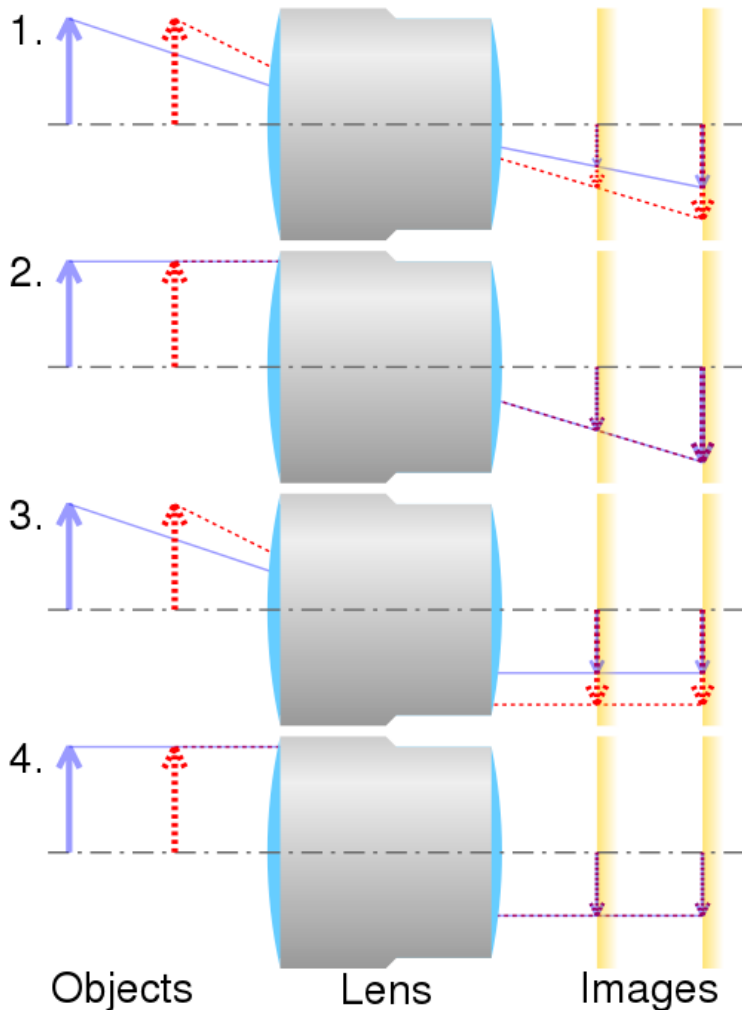
SETUP



(www.edmundoptics.eu)

Inne cechy obiektywów

Telecentryczność



W soczewkach telecentrycznych rozmiar obiektu i/lub obrazu nie zależy od odległości od obiektywu.

Rozróżnia się obiektywy jednostronnie i dwustronnie telecentryczne.

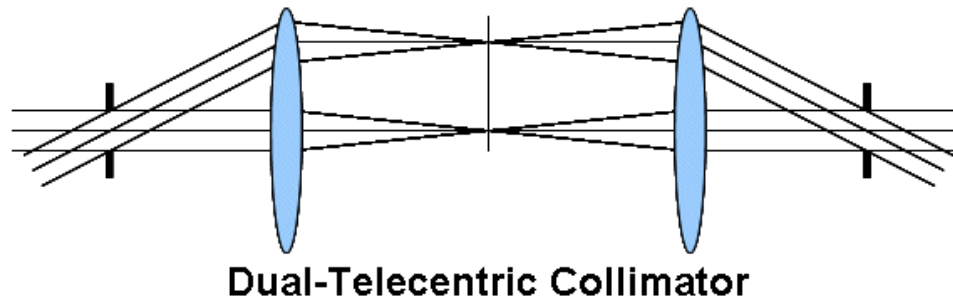
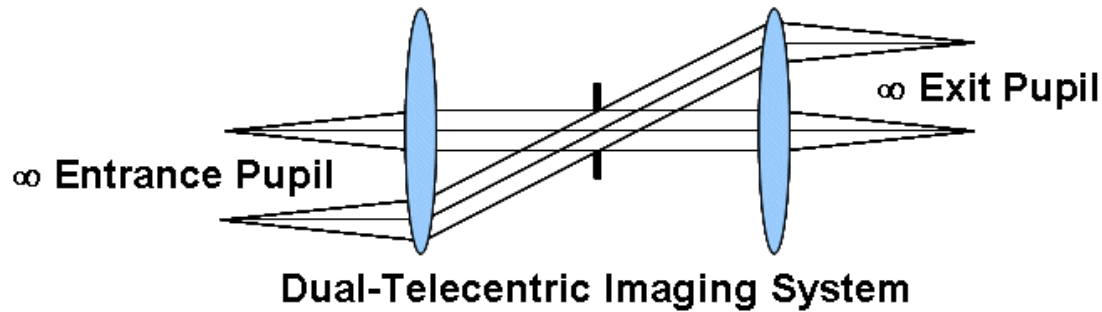
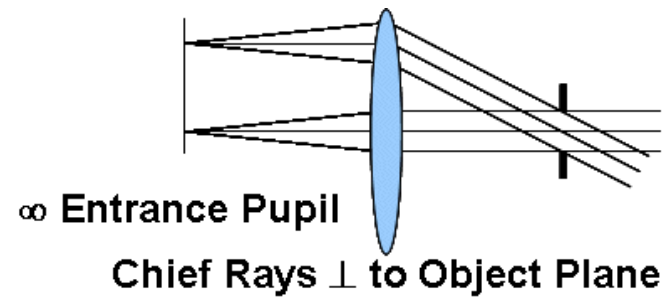
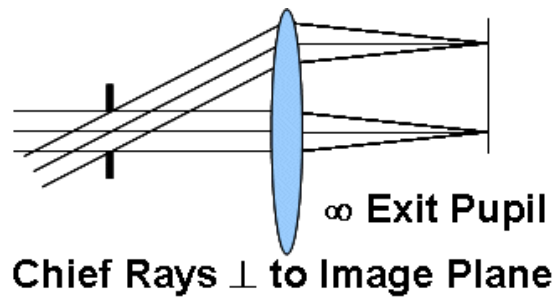
Zwykły obiektyw jest entocentryczny i rozmiar obrazu rośnie gdy obiekt się zbliża. W układach perycentrycznych rozmiar obrazu maleje gdy obiekt się zbliża. W układach telecentrycznych jest stały.

Wykorzystywane powszechnie w litografii optycznej procesorów komputerowych.

Obiektyw zwykły, jednostronnie telecentryczny i dwustronnie telecentryczny (en.wikipedia.org).

Inne cechy obiektywów

Telecentryczność



Obiektywy jednostronnie telecentryczne, dwustronnie telecentryczny i kolimator telecentryczny (en.wikipedia.org).

Promienie główne są równoległe, a źrenice nieskończenie daleko (a nie nieskończenie wielkie).

Promień główny (ang. principal ray, chief ray, b ray) to promień biegnący w środku stożkowej wiązki światła.

(www.edmindoptics.com)

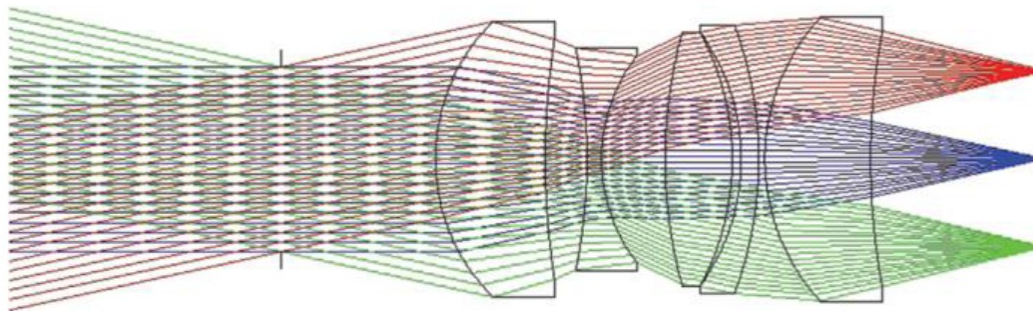
Inne cechy obiektywów

Telecentryczność

Wady i zalety telecentryczności w astronomii i spektroskopii.

Obiekty w astronomii w praktyce zawsze są w tej samej odległości (nieskończonej), więc zachowanie rozmiaru obrazu nie ma znaczenia.

Istotne jest to, że promienie świetlne są zawsze prostopadłe do matrycy CCD. Wówczas mamy gwarancję, że mikrostruktura piksela matrycy nie ma wpływu na fotometrię. Szczególnie kamery FSI (oświetlone od przodu) mogą mieć silną zależność ilości rejestrowanego światła (czułości) od kąta padania. Taki obiektyw mają np. satelity BRITE.



Obiektyw satelity BRITE (Weiss i in. 2014)

Inne cechy obiektywów

Anamorficzność

Obiektyw anamorficzny charakteryzuje się inną skalą odwzorowania w pionie i w poziomie, produkując obraz ściśnięty lub rozciągnięty w jednej osi oraz posiadając eliptyczną źrenicę wejściową.



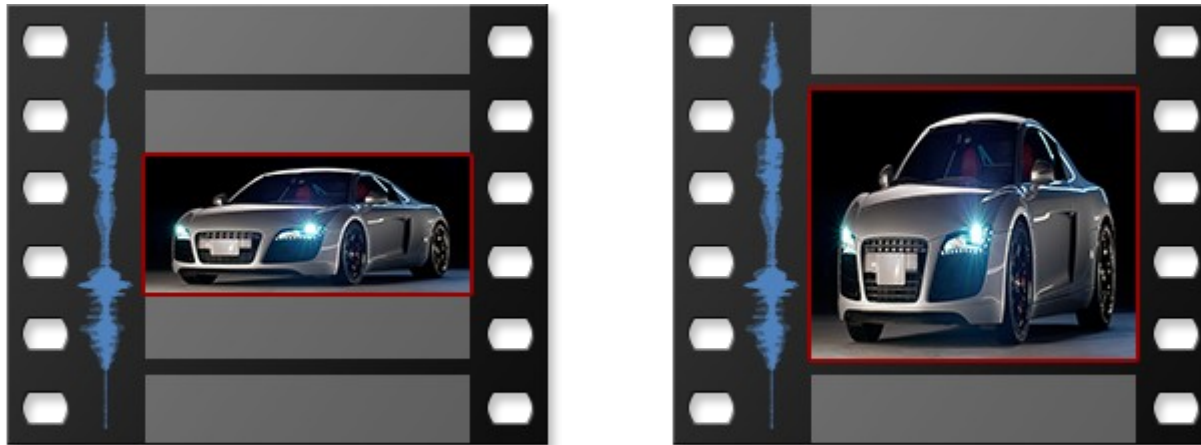
Obiektywy takie mają zwykle co najmniej jedną soczewkę cylindryczną. Mają również inną ogniskową w płaszczyźnie pionowej i poziomej choć ogniska te są w tym samym miejscu i powstaje jeden obraz.

Inne cechy obiektywów

Anamorficzność

Obraz w obiektywie anamorficznym jest ściśnięty lub rozciągnięty w jednej osi.

Optykę anamorficzną wynaleziono do obserwacji pola walki w czołgach podczas pierwszej wojny św. przez Henriego Chretien. W 1952r technologia zakupiona przez studio 20th Century Fox do projekcji filmów panoramicznych.



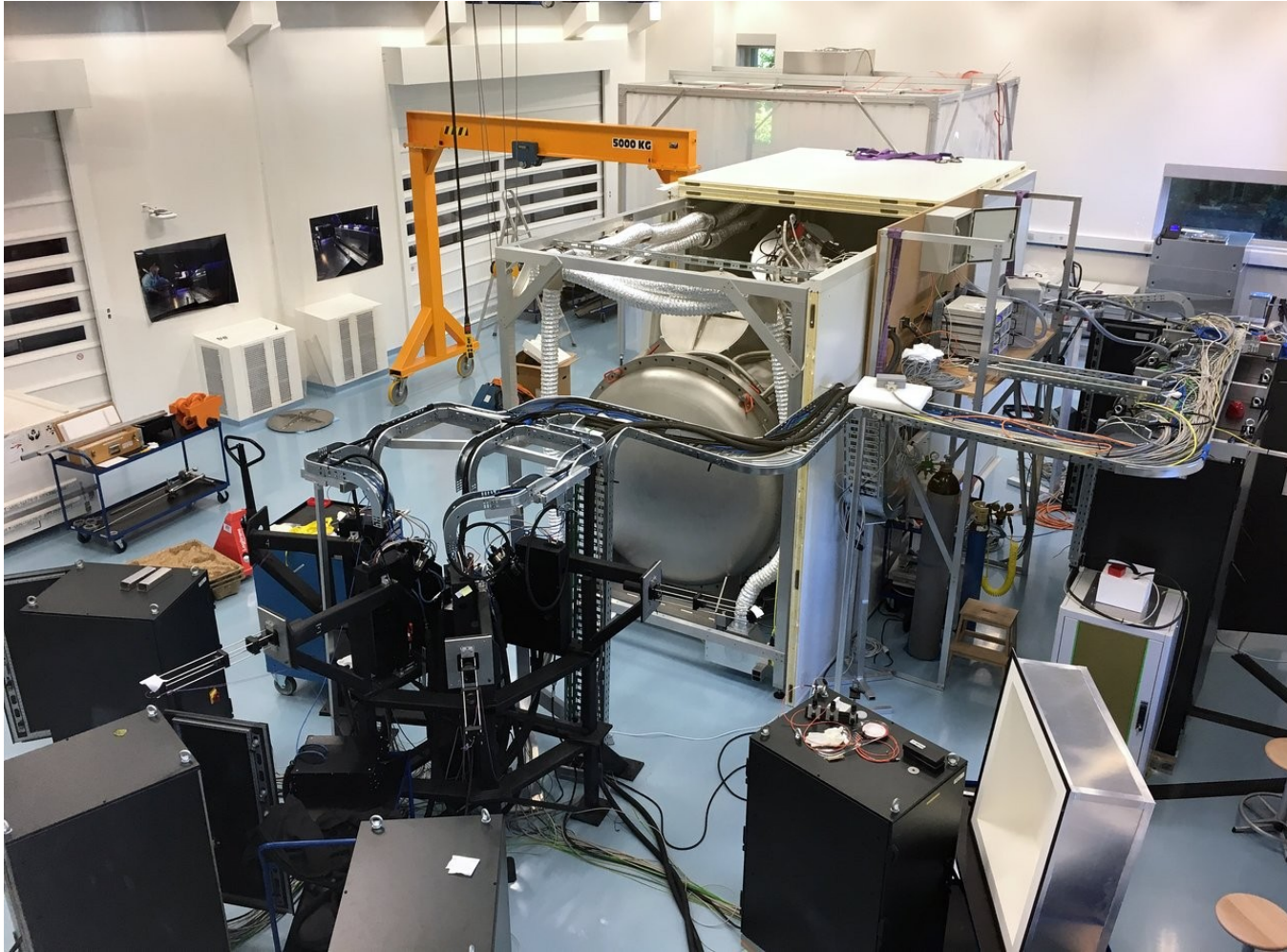
Po lewej obraz panoramiczny, po prawej obraz panoramiczny zarejestrowany za pomocą obiektywu anamorficznego (www.red.com).

Optyka anamorficzna jest wykorzystywana w spektrografie ESPRESSO.

Inne cechy obiektywów

Anamorficzność

Optyka anamorficzna jest wykorzystywana w spektrografie ESPRESSO (Echelle Spectrograph for Rocky Exoplanet- and Stable Spectroscopic Observations)

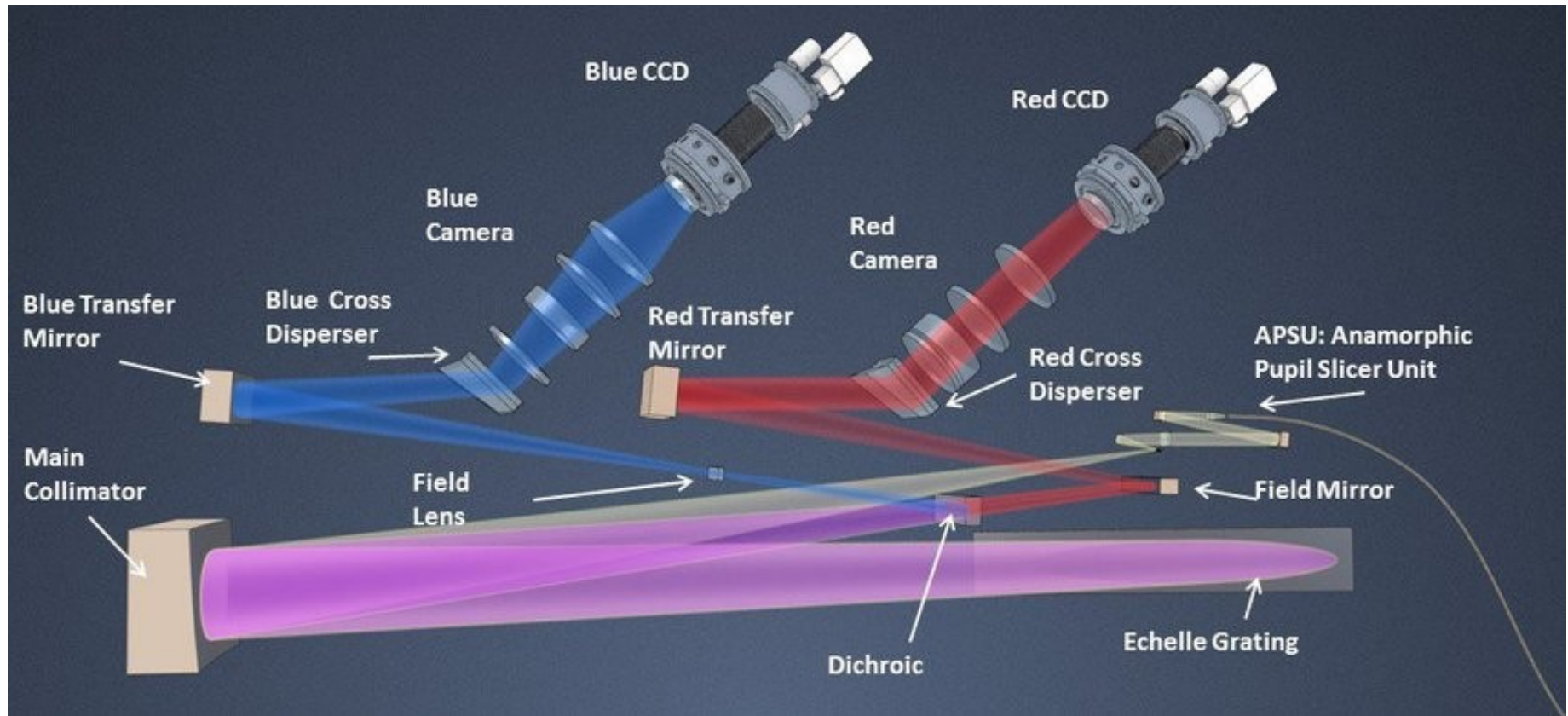


(www.eso.org)

Inne cechy obiektywów

Anamorficzność

Optyka anamorficzna jest wykorzystywana w spektrografie ESPRESSO.



Inne cechy obiektywów

Anamorficzność

Optyka anamorficzna jest wykorzystywana w spektrografie ESPRESSO.

