

1100-1B015, rok akademicki 2019/20

OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA

dr hab. Rafał Kasztelanic

Wykład 10

Motywacja

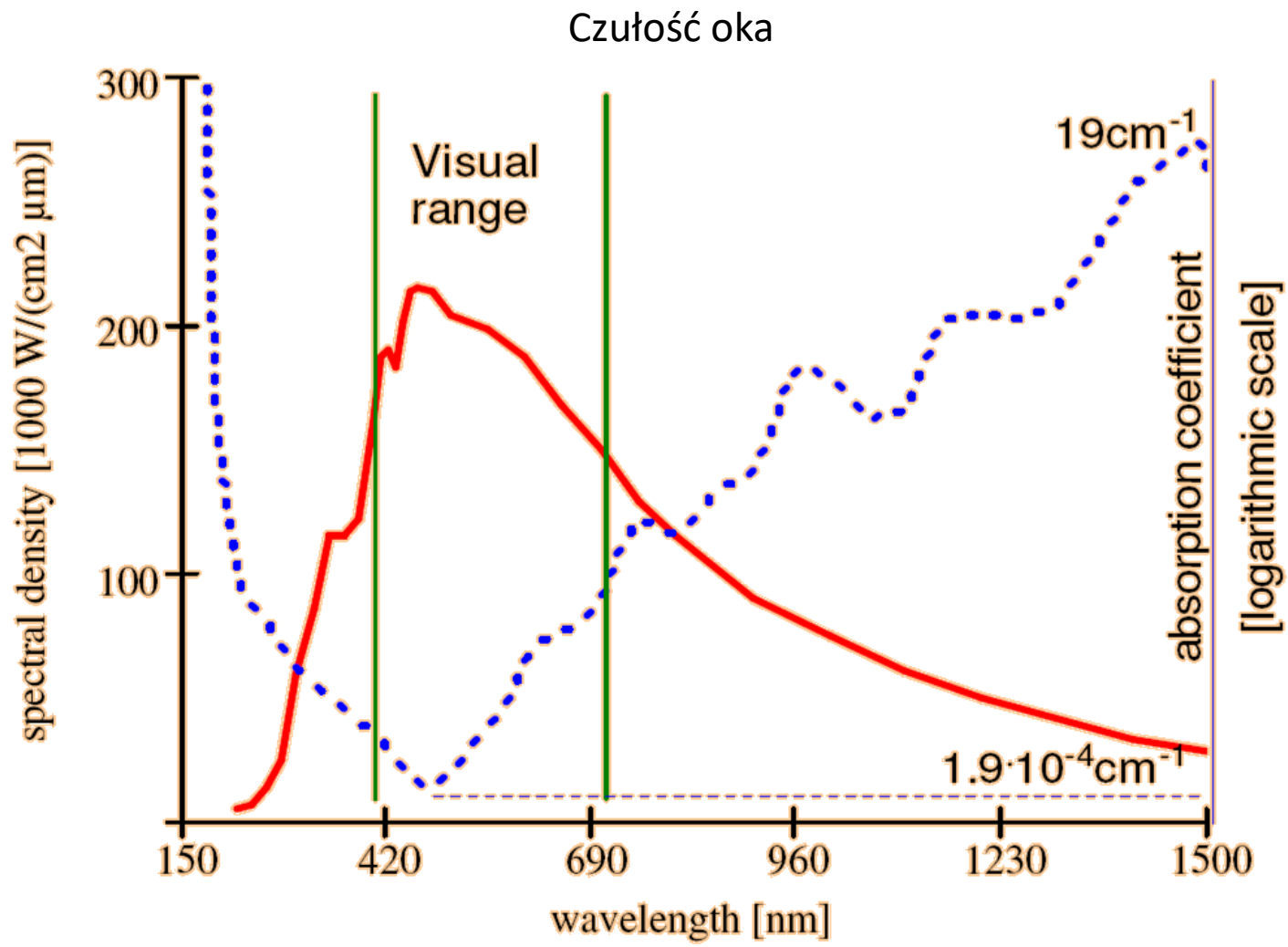
- **Oko ludzkie** jest przyrządem optycznym z określoną zdolnością rozdzielczą, która wskazuje jaka jest minimalna odległość dwóch punktów, które są rozróżniane.
- Zdolność rozdzielczą wyznacza się na ogół dla odległości dobrego widzenia, zwykle równej 25 cm. Wynosi ona ok. 1 minuty kątowej. Zdolność ta odpowiada zdolności rozdzielczej układu optycznego oka.
- Aby zobaczyć bardzo małe obiekty musimy użyć przyrządów optycznych, współpracujących z okiem.

Przyrządy optyczne

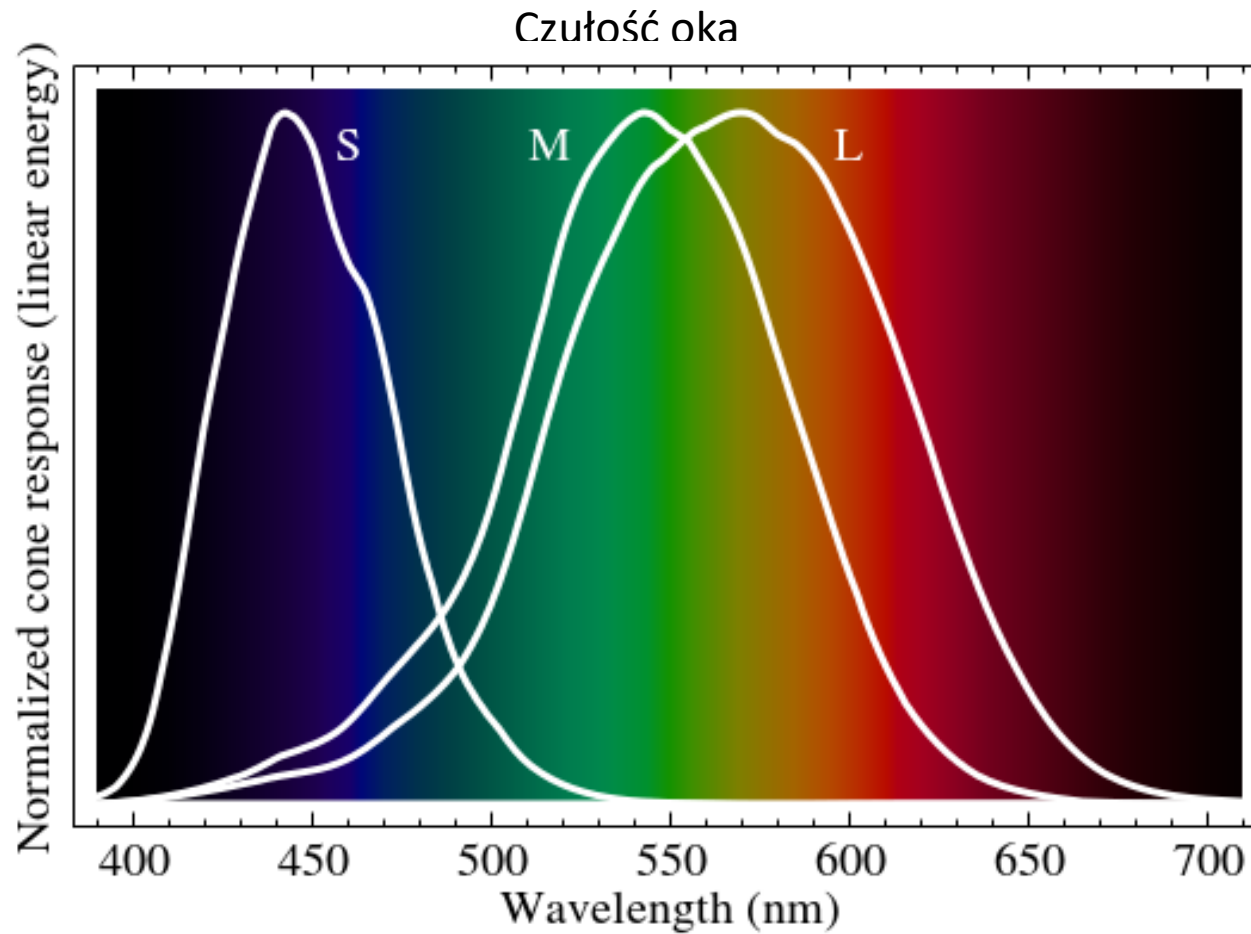
Podział przyrządów optycznych:

- Przyrządy wizualne – współpracujące z okiem i rozszerzające jego zdolności poznawcze
- Pozostałe przyrządy optyczne, w których detektorami są elementy światłoczułe
- Lupy
- Mikroskopy: biologiczne, metalograficzne, stereoskopowe, pomiarowe, konfokalne, fluorescencyjne, pracujące w podczerwieni
- Przyrządy lunetowe: lunety, teleskopy, teodolity, niwelatory, lornetki, celowniki, dalmierze, peryskopy
- Kolimatory, lunety autokolimacyjne
- Aparaty fotograficzne i projekcyjne: aparaty, powiększalniki, czytniki, projektory, diaskopy, episkopy, epidiaskopy,
- Przyrządy do analizy spektralnej: spektroskopy, spektrofotometry, monochromatory
- Fotometry, kalorymetry
- Przyrządy do pomiaru długości i kąta: goniometry, interferometry
- Polarymetry i polaryskopy
- Refraktometry
- Przyrządy medyczne i oftalmiczne: oftalmometry, cytoskopy, gastroskopy
- Reflektory

Motywacja

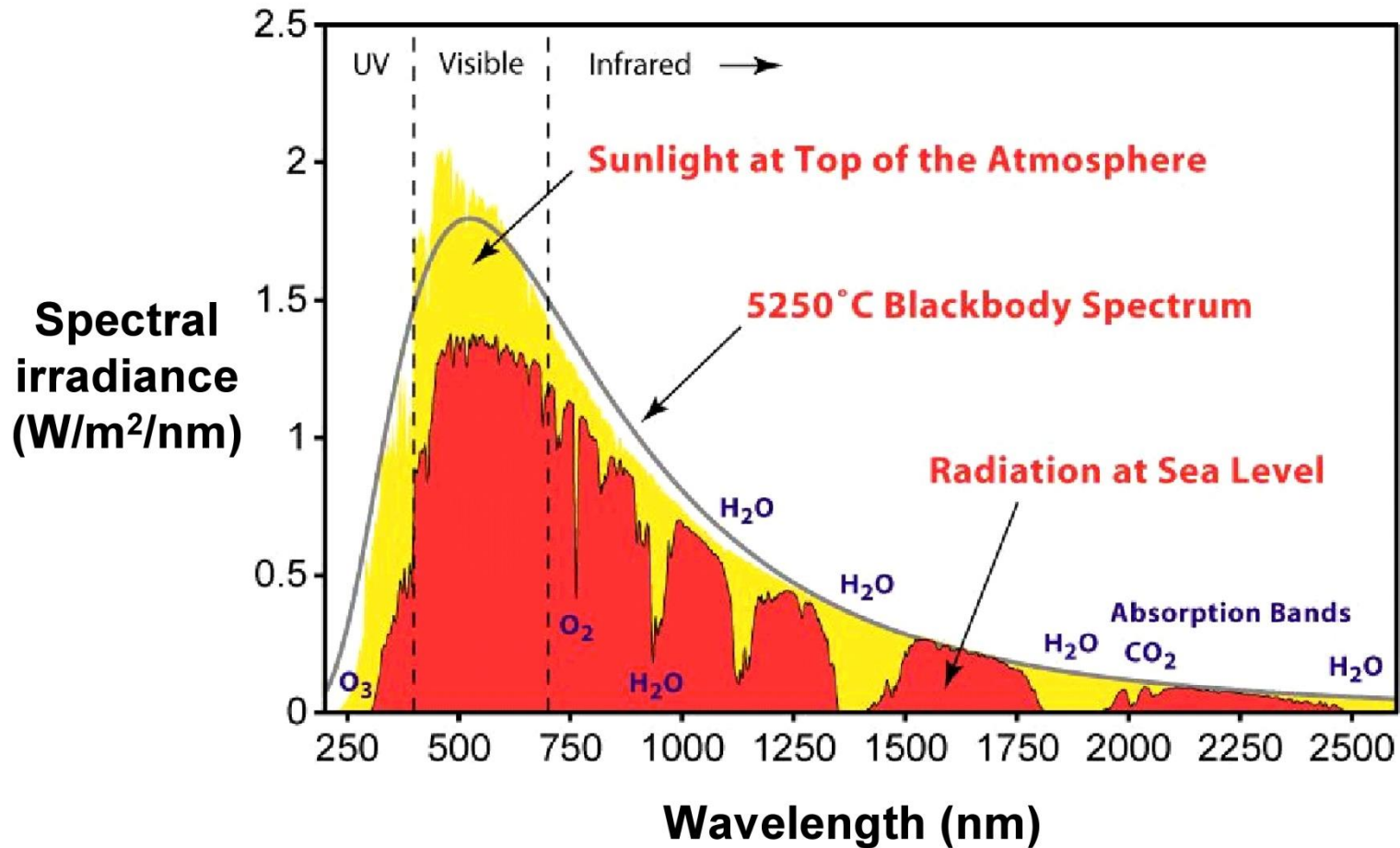


Motywacja



Motywacja

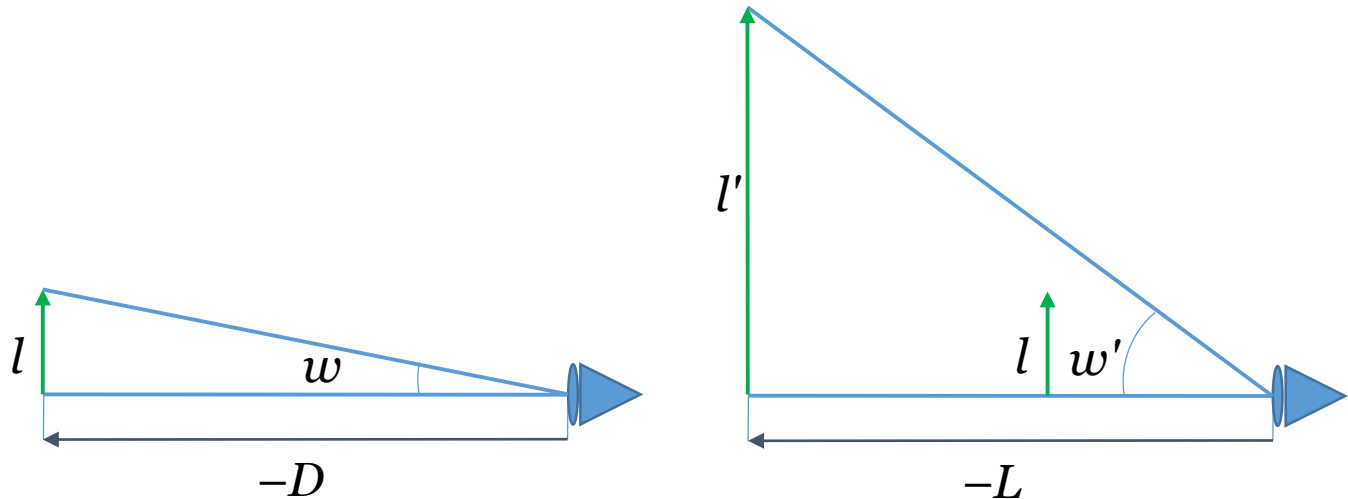
Promieniowanie słoneczne



Powiększenie wizualne

- [def] Powiększeniem wizualnym Γ nazywamy stosunek kąta w' pod jakim widać obraz przedmiotu przez przyrząd do kąta w pod jakim widać ten przedmiot okiem nieuzbrojonym.
- Powiększenie wizualne może być także definiowane za pomocą tangensów kątów, a nie samych kątów. Dla promieni przyosiowych nie wpływa to na wartość powiększenia.

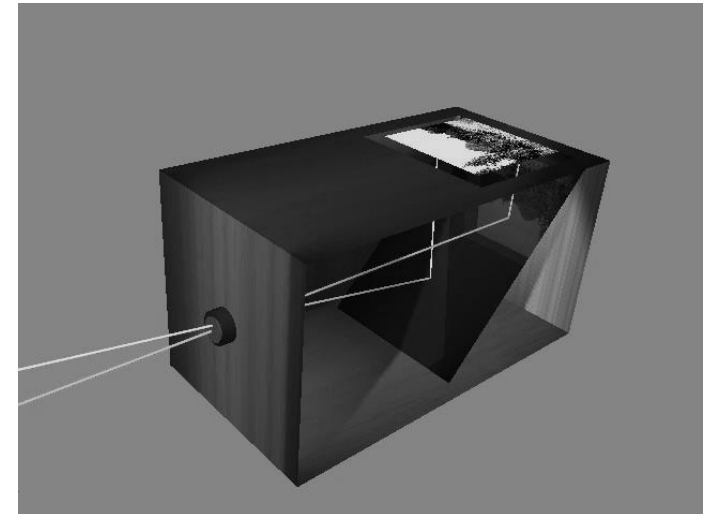
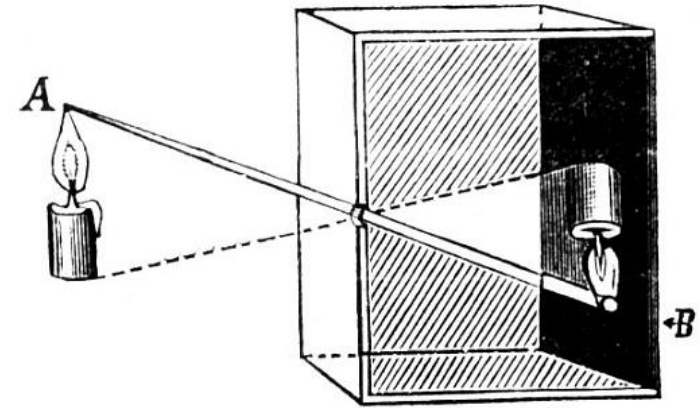
$$\Gamma = \frac{w'}{w}$$



- pole ostrego widzenia u człowieka wynosi ok. 1,5 stopnia, potem mamy strefę zmniejszonej ostrości która ma około 3~5 stopni, resztę ,generuje mózg'.
- Odległość między czopkami $\sim 5 \mu\text{m}$

Przyrządy optyczne – camera obscura

- Najprostszy optyczny układ obrazujący. Światło przechodzi przez mały otworek tworząc na ekranie obraz o jasności proporcjonalnej do jasności na zewnątrz oraz wielkości otworka.
- Jeśli otworek nie jest mały, światło utworzy na matówce koło o wielkości proporcjonalnej do wielkości otworka.
- Zwiększanie średnicy otworka zmniejsza ostrość obrazu. Zmniejszanie średnicy otworka poprawia ostrość, ale zmniejsza jasność.
- Dla otworka o wielkości porównywalnej z długością fali, na ekranie pojawia się rozmycie obrazu wywołane dyfrakcją światła na brzegach otworu.
- Obraz jest bardziej miękki.
- Powiększenie kątowe jest stałe dla przedmiotów znajdujących się w dowolnej odległości od kamery (głębina ostrości od zera do nieskończoności).



$$d = 1,9\sqrt{f\lambda}$$

Przyrządy optyczne – camera obscura



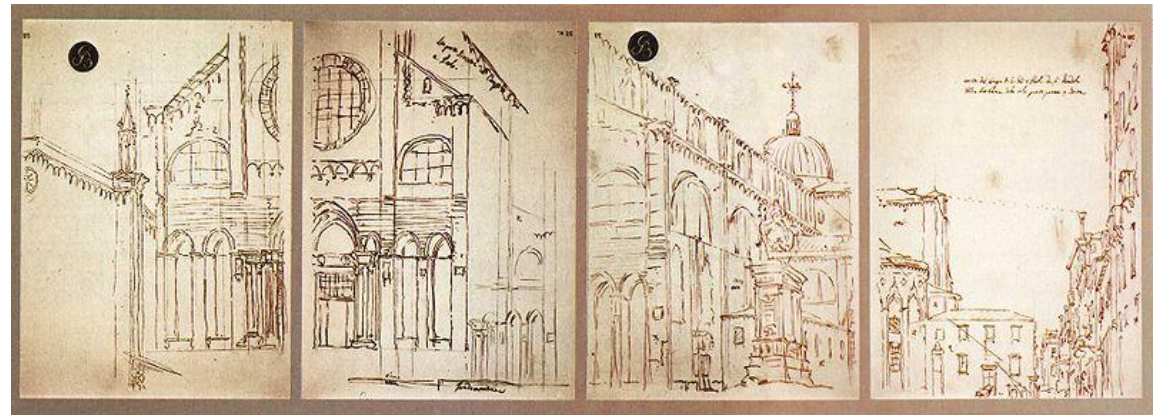
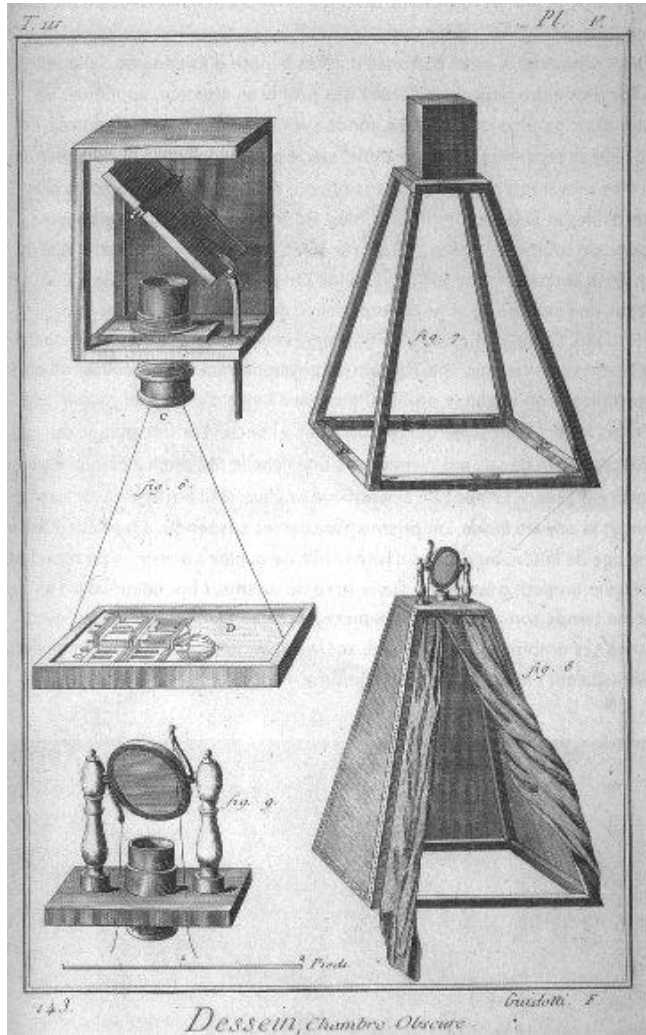
The effect of pinhole cameras can be observed at this wall opposite some balustrades in the Castelgrande of Bellinzona. You can see the red roofs of the houses and the green trees that lie behind the balustrades being projected onto the wall. (wikipedia.org)



Zdjęcie wykonane kamerą otworkową i aparatem z obiektywem soczewkowym.

Przyrządy optyczne – camera obscura

Canaletto i inni...

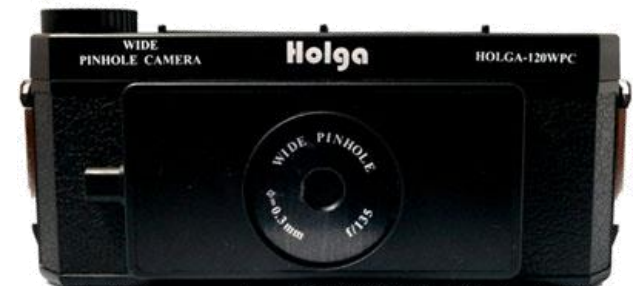


Przyrządy optyczne – camera obscura

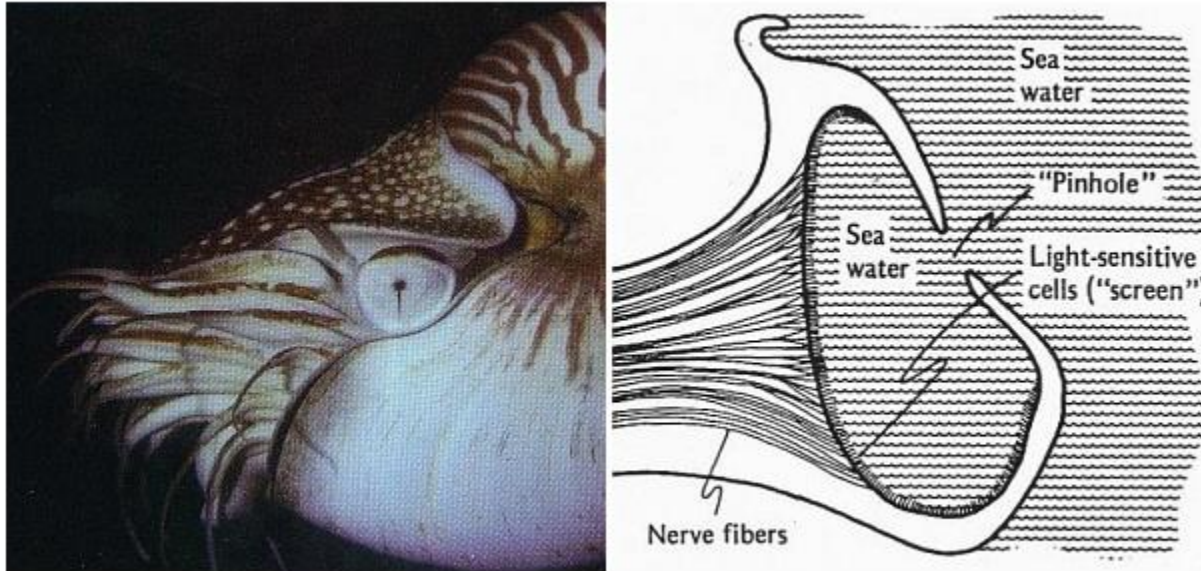
Pinhole Camera Holga 120 WPC



An example of a 20 minute pinhole exposure. (wikipedia.org)



Przyrządy optyczne – camera obscura



Łodzik (nautilus) - występujący w morzu mięczak, którego oko to przykład naturalnej camera obscura.

Przyrządy optyczne - lupa

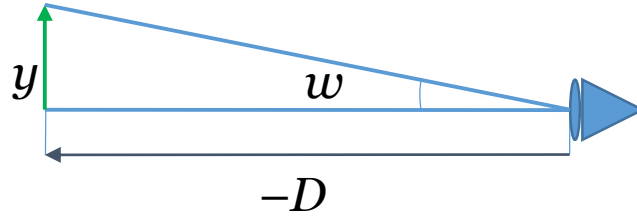
Lupa

- najprostszy przyrząd, często pojedyncza soczewka
- daje obraz prosty, pozorny, powiększony
- służy do bezpośredniej obserwacji małych, blisko położonych przedmiotów
- szkło powiększające – powiększenie nie większe niż 3 razy

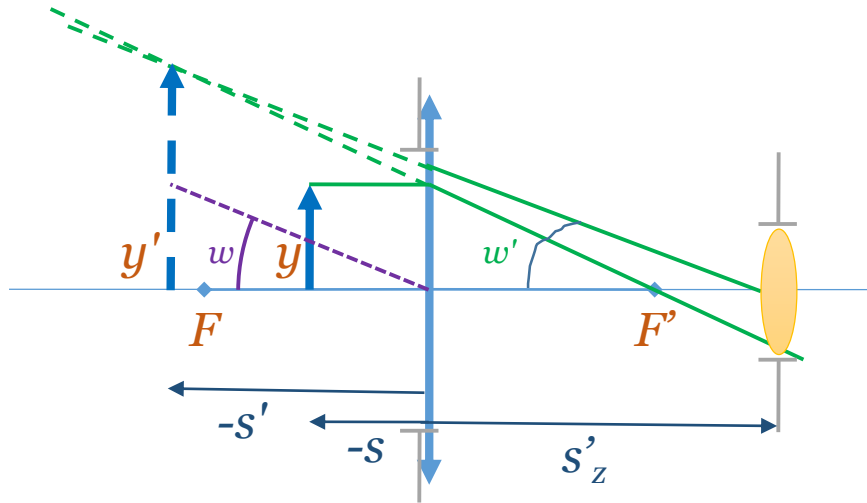


Przyrządy optyczne - lupa

Obserwujemy przedmiot z odległości dobrego widzenia $D = 25 \text{ cm}$



$$\operatorname{tg} w = \frac{y}{-D}$$



$$\operatorname{tg} w' = \frac{y'}{-s' + s'_z}$$

Powiększenie wizualne lupy:

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = -\frac{y'}{y} \left(\frac{D}{s'_z - s'} \right)$$

Uwzględniając wzór soczewkowy i zależności geometryczne:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \Rightarrow s = \frac{f' s'}{f' - s'}$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

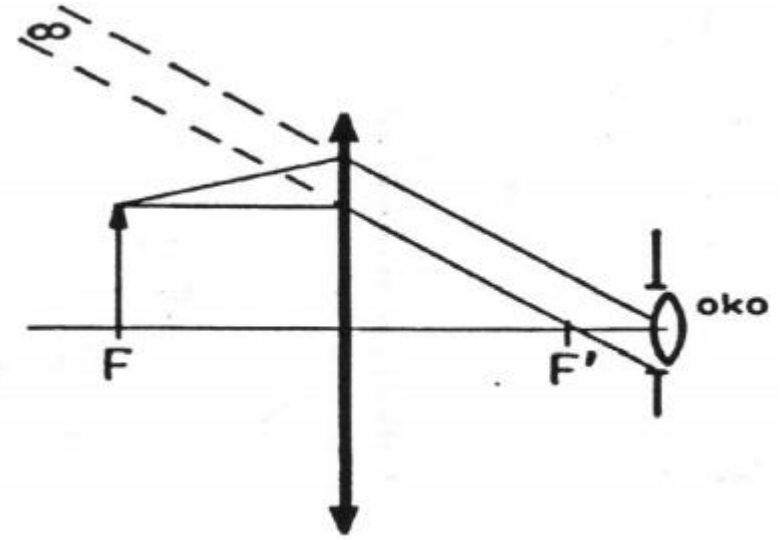
$$\Gamma = -\frac{f' - s'}{f'} \left(\frac{D}{s'_z - s'} \right)$$

Przyrządy optyczne - lupa

Możliwe 2 ustawienia: w ognisku, bliżej niż ognisko

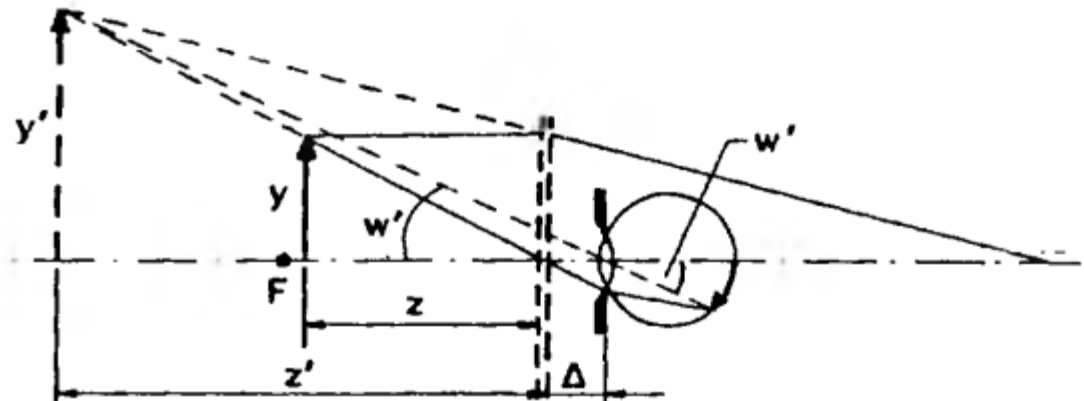
Jeśli przedmiot umieścimy w ognisku przedmiotowym lupy, a oko będzie pracować bez wysiłku akomodacyjnego:

$$\Gamma = \frac{D}{f'} = \frac{\Phi}{4}$$



Jeśli założymy, że obraz powstanie w odległości dobrego widzenia D , a oko będzie tuż za (Δ) lupą:

$$\Gamma = 1 + \frac{D}{f'} + \frac{\Delta}{f'} = \frac{\Phi}{4} + 1$$



Przyrządy optyczne - lupa

Aperturę lupy ogranicza źrenica oka.

Pole widzenia zależy od położenia oka względem lupy.

Ze względu na konstrukcję układu optycznego wyróżnia się rodzaje lup:

- Lupa prosta – składająca się z jednej soczewki – powiększenie do 7x;
- Lupa aplanatyczna – składająca się z dwóch identycznych płaskowypukłych soczewek, wypukłościami skierowanymi do siebie. Nieraz między soczewkami umieszczona jest specjalna przysłona. Koryguje aberrację sferyczną i komę – powiększenie do 12x;
- Lupa achromatyczna – składająca się z dwóch sklejonych ze sobą soczewek – dodatniej dwuwypukłej wykonanej ze szkła kron i ujemnej wykonanej ze szkła flint. Koryguje aberrację chromatyczną i sferyczną – powiększenie do 20x;
- Lupa achromatyczno-aplanatyczna – składająca się z trzech, lub większej liczby soczewek. Koryguje aberrację chromatyczną, sferyczną, dystorsję, oraz komę;
- Lupa ortoplanatyczna – składająca się z trzech soczewek, dwóch dwuwypukłych, oraz umieszczonej między nimi soczewki wklęsłej. Koryguje aberrację sferyczną, chromatyczną i dystorsję – powiększenie do 30x;
- Lupa astygmatyczna – składająca się przynajmniej z czterech soczewek. Koryguje aberrację sferyczną, chromatyczną, dystorsję, komę, oraz astygmatyzm – powiększenie do 35x

Przyrządy optyczne – lunety

Lunety służą do powiększania kąta widzenia odległych przedmiotów.

Obserwujemy przez nie przedmioty odległe, ale duże – luneta tworzy ich obraz pomniejszony, ale przybliżony, obserwowany pod większym kątem, niż „gołym” okiem.

Lunety to przyrządy obserwacyjne, ale mogą też stanowić podstawową część przyrządów pomiarowych:

- teleskopów astronomicznych
- niwelatorów
- teodolitów
- lunetcelowniczych
- lunetmontażowych
- innych.

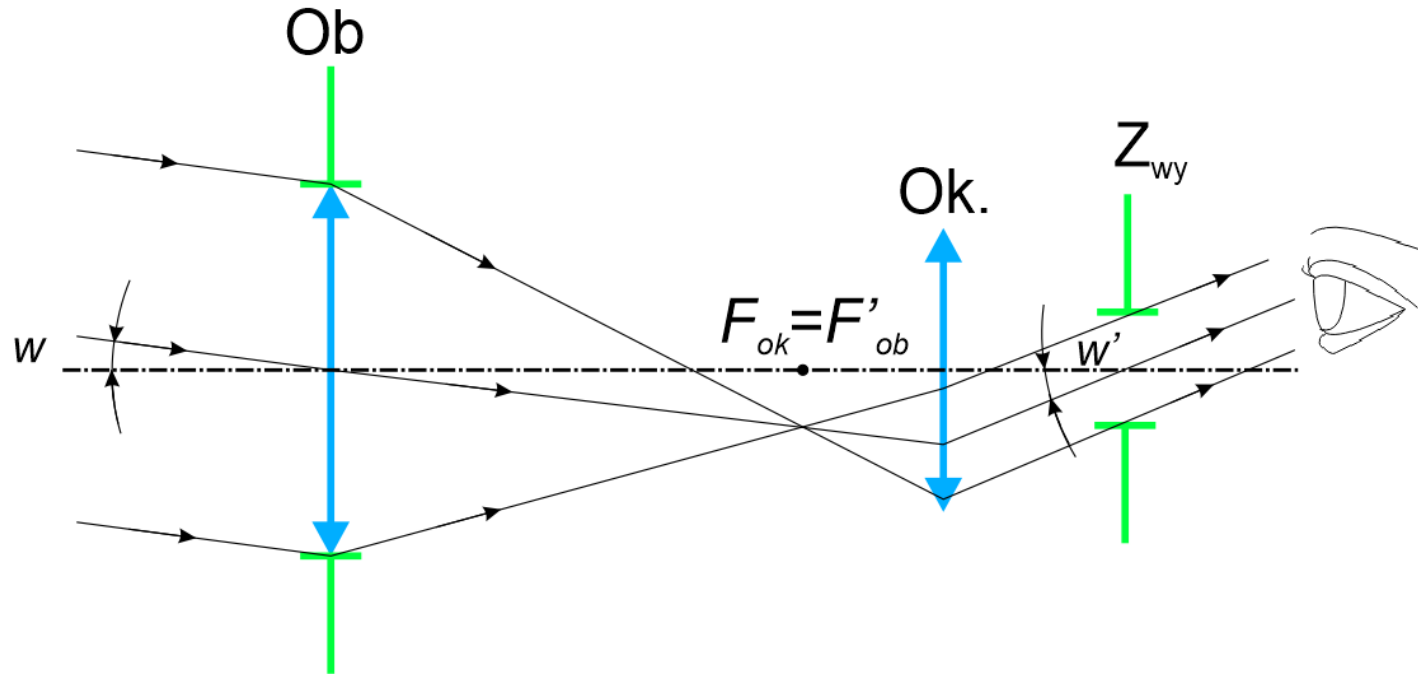
Pod względem konstrukcyjnym, lunety dzielimy na:

- soczewkowe typu Keplera i typu Galileusza (refraktery);
- soczewkowo-zwierciadlane i zwierciadlane (reflektory).



Przyrządy optyczne – luneta Keplera

2 soczewki skupiające (obiektyw i okular) o „wspólnym” ognisku



Żrenica wejściowa lunety pokrywa się z oprawą obiektywu.

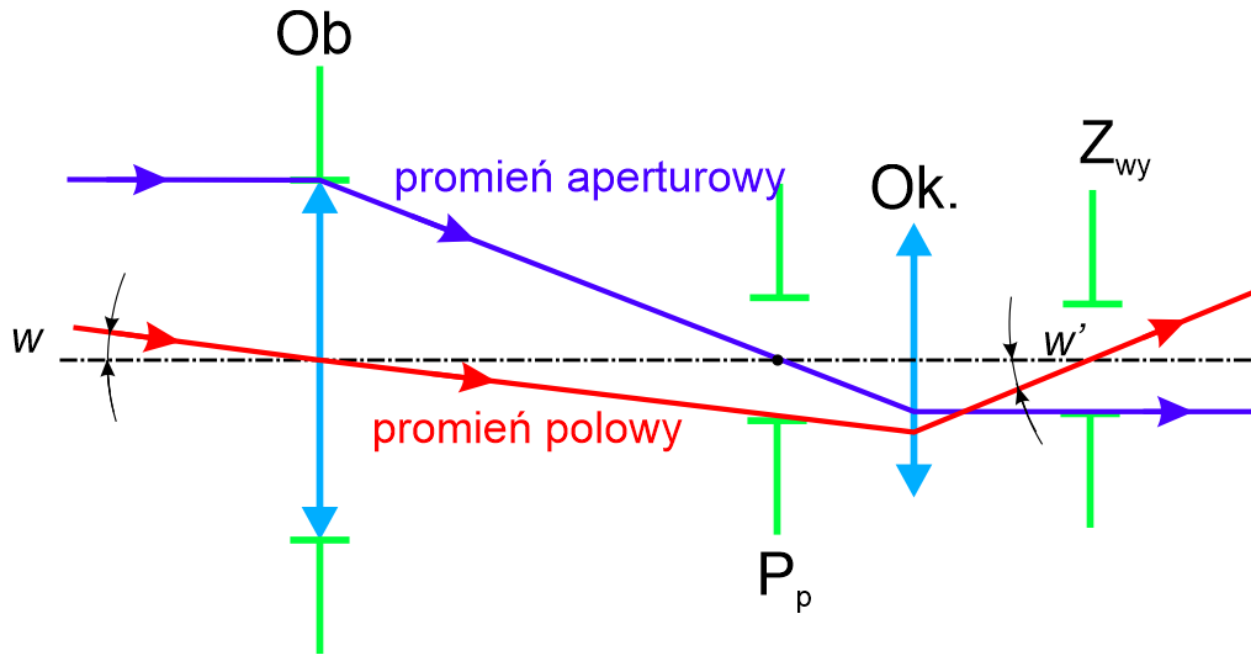
Żrenica wyjściowa znajduje się za okulem i tam właśnie umieszcza się oko obserwatora.

Żrenica oka, której średnica zmienia się od 2 do 8 mm, decyduje o aperturze lunety (jej jasności).

Przyrządy optyczne – luneta Keplera

Promień aperturowy przechodzi przez ognisko obrazowe obiektywu = ognisko przedmiotowe okularu, dalej przechodzi przez okular i wychodzi równoległe do osi optycznej i następnie pada na siatkówkę na osi oka spoczynkowego.

Promień polowy po przejściu przez okular przecina oś optyczną w środku źrenicy wyjściowej lunety = źrenicy oka. Promień ten określa wielkość obrazu na siatkówce



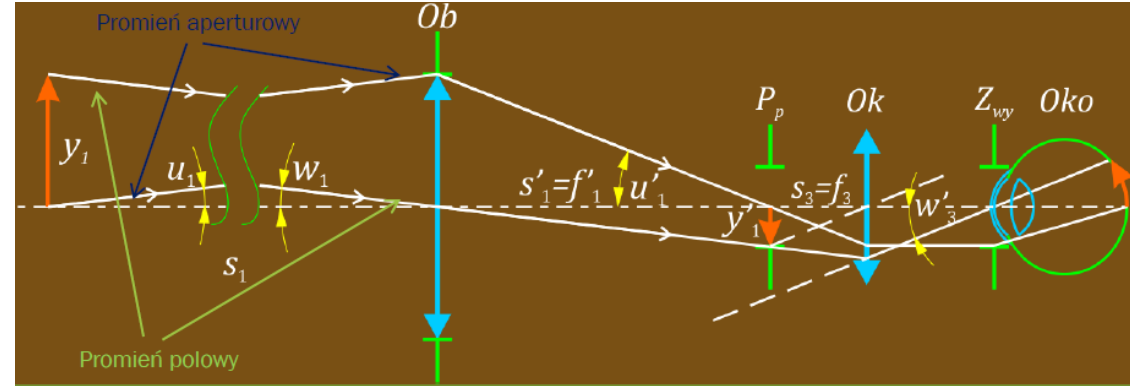
O wielkości pola widzenia decyduje przysłona polowa znajdująca się w płaszczyźnie ogniskowej przedmiotowej okularu (brak winietowania).

Przyrządy optyczne – luneta Keplera

Powiększenie wizualne lunety Keplera

$$\operatorname{tg} w_1 = \frac{y_1}{s_1} = \frac{y_1'}{s_1'} \quad \operatorname{tg} w_3' = \frac{y_1'}{s_3'}$$

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg} w_3'}{\operatorname{tg} w_1} = \frac{s_1'}{s_3'}$$



Dla przedmiotów w nieskończoności: $\Gamma = -\frac{f_1'}{f_3'}$

Dla przedmiotów w skończonej odległości: $\Gamma = \frac{\operatorname{tg} w_3'}{\operatorname{tg} w_1} = -\frac{f_1'}{f_3'} \left(\frac{s_1}{s_1 + f_1'} \right)$

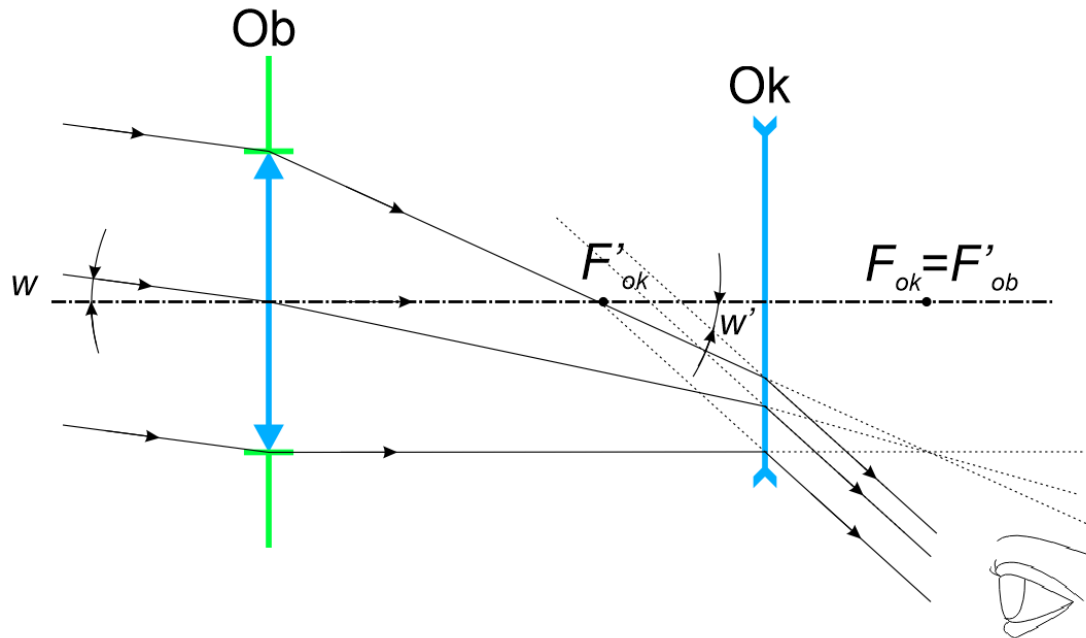
Powiększenie lunety Keplera nastawionej na nieskończoność można wyznaczyć również na podstawie średnic obu jej źrenic:

$$\Gamma = -\frac{f_1'}{f_3'} = \frac{D}{D'}$$

Przyrządy optyczne – luneta Galileusza

Obiektyw - soczewka skupiająca, okular – soczewka rozpraszająca.

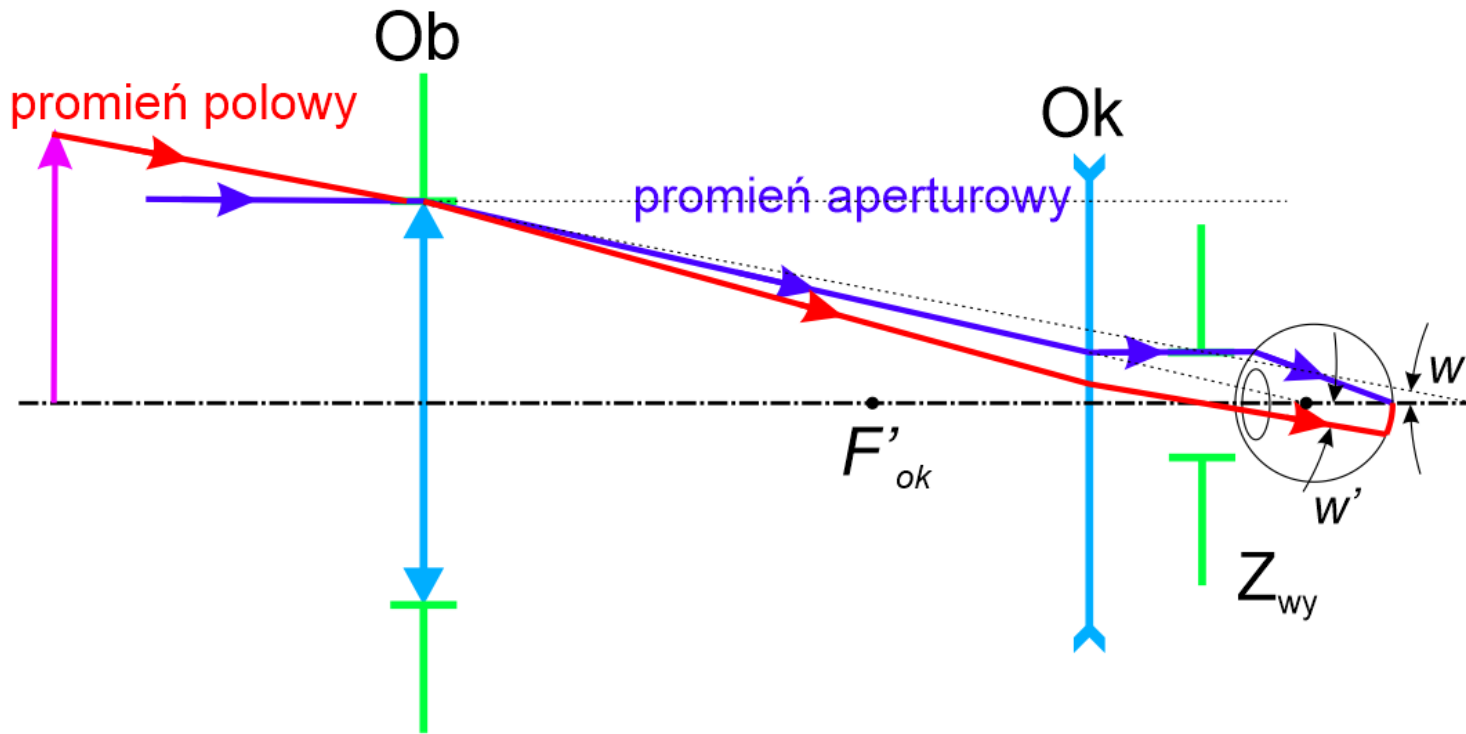
Ognisko obrazowe obiektywu pokrywa się z ogniskiem przedmiotowym okularu – ale ponieważ okular jest układem rozpraszającym, jego ognisko przedmiotowe jest „za” okulem = krótsza luneta!



Powiększenie lunety Galileusza – wzory identyczne, jak dla lunety Keplera!

Ze względu na trudności z korekcją aberracji ujemnych okularów, lunety Galileusza mają zwykle niewielkie powiększenie do 5x.

Przyrządy optyczne – luneta Galileusza

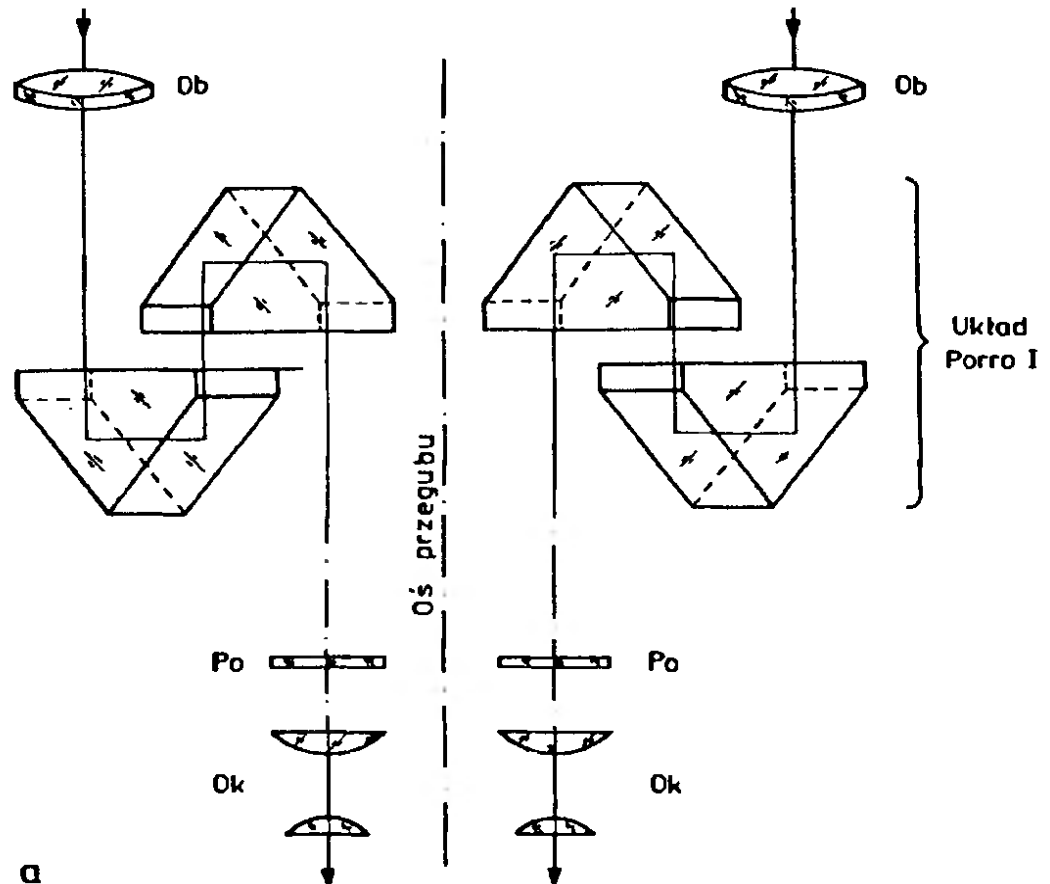


Przyrządy optyczne – lornetka

Lornetka = podwójna luneta

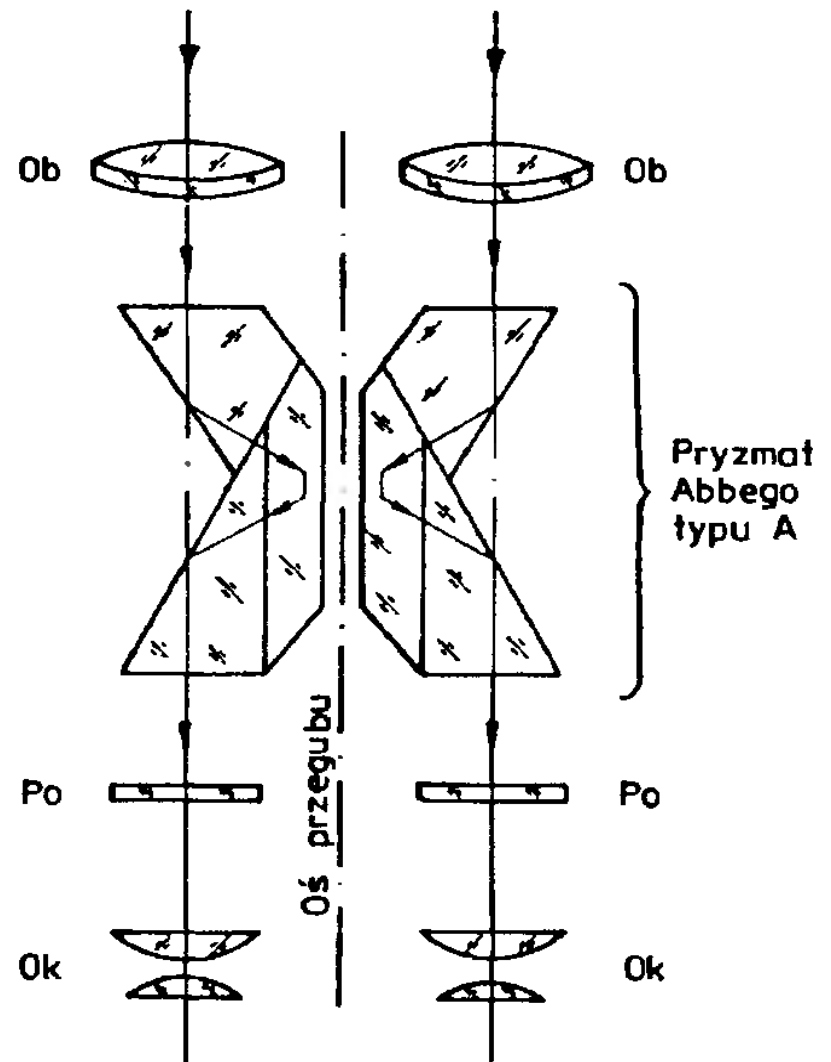
Dwie lunety Keplera lub Galileusza z odwróceniem obrazu i z możliwością zmiany rozstawu ich źrenic wyjściowych aby dopasować do rozstawu źrenic oczu.

Obiektywy obu lunet są zwykle bardziej oddalone od siebie niż okulary – zapewnia to lepsze widzenia stereoskopowe przedmiotów odległych i ewentualne pomiary.



a

Przyrządy optyczne – lornetka



Teleskop

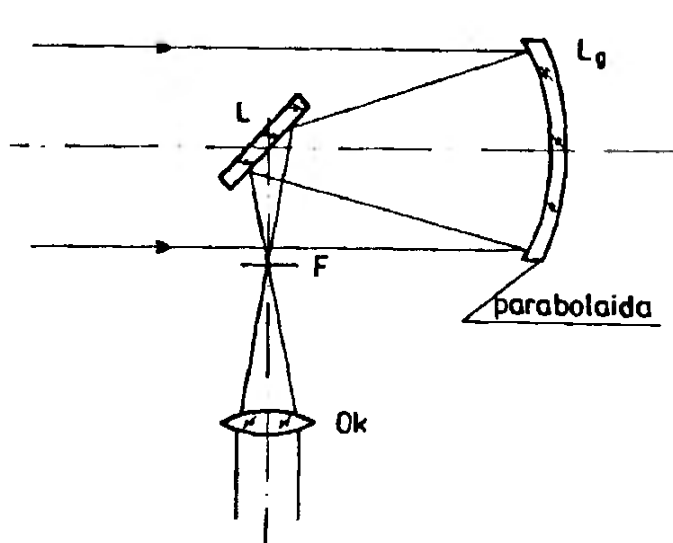
Teleskopami nazywa się lunety służące do obserwacji powiększonych wizualnie obrazów ciał niebieskich.

Teleskopy używane w astronomii dzielą się na:

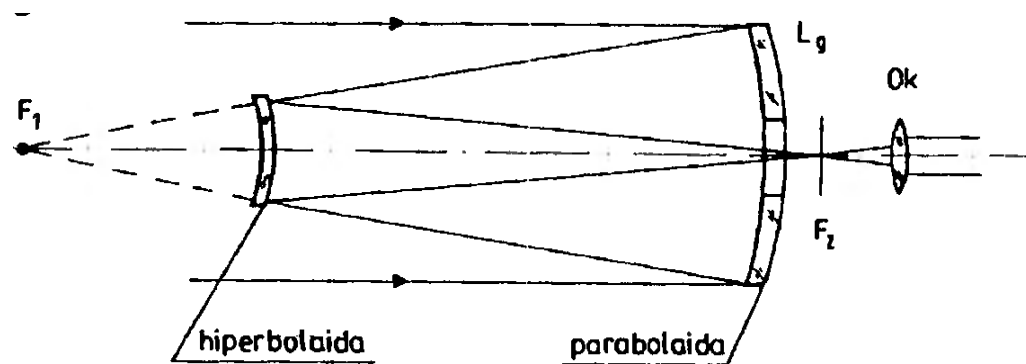
- soczewkowe (refraktery);
- zwierciadlane (reflektory);
- mieszane.

W astronomii wykorzystuje się przede wszystkim teleskopy zwierciadlane. Największy teleskop soczewkowy ma obiektyw o średnicy 102 cm.

Teleskop Newtona



Teleskop Cassegraina



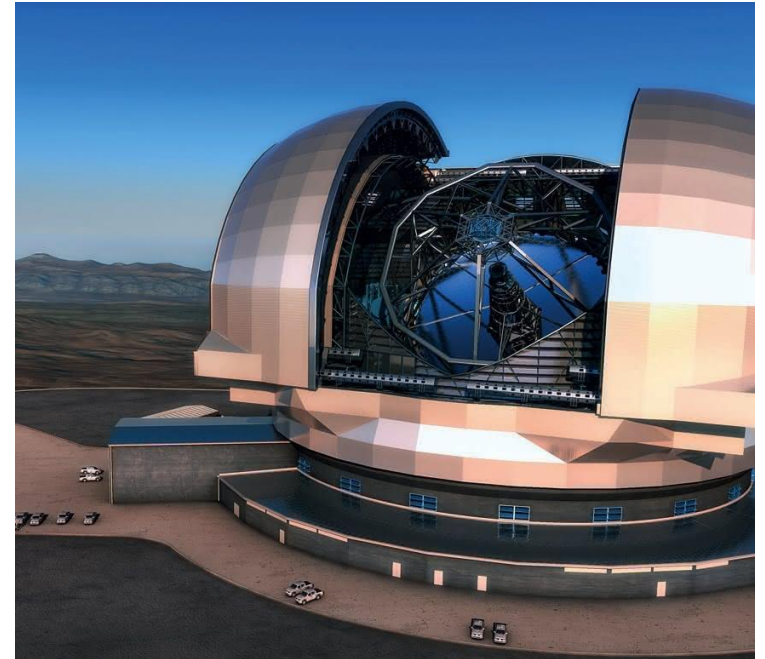
Teleskop

Teleskop Kecka: dwa wielkie teleskopy pracujące w zakresie światła widzialnego i podczerwieni na Mauna Keana na Hawajach.

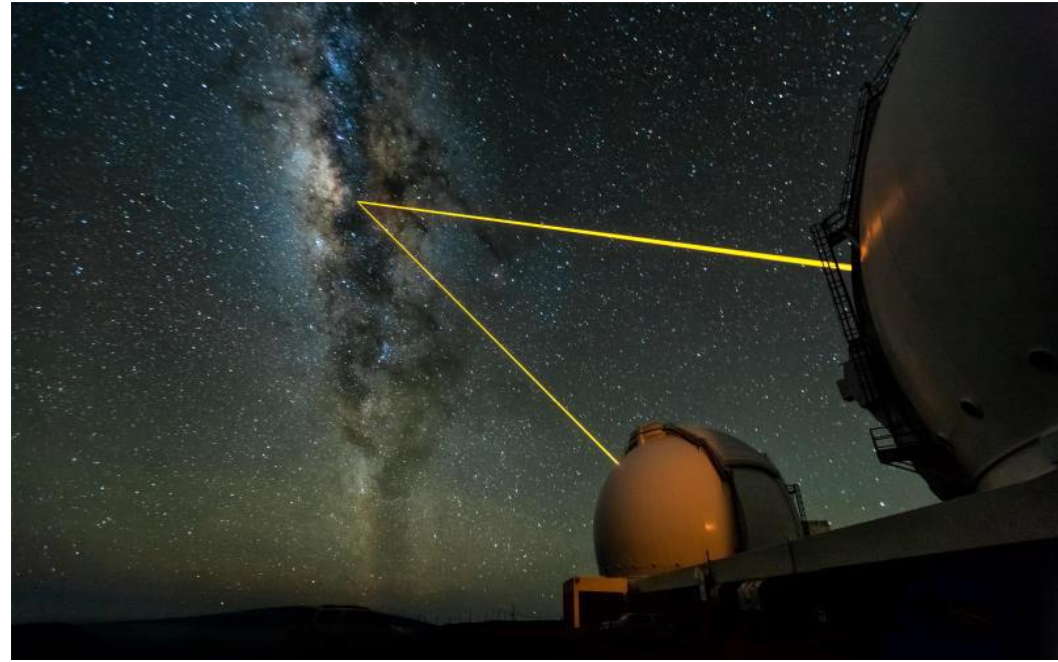
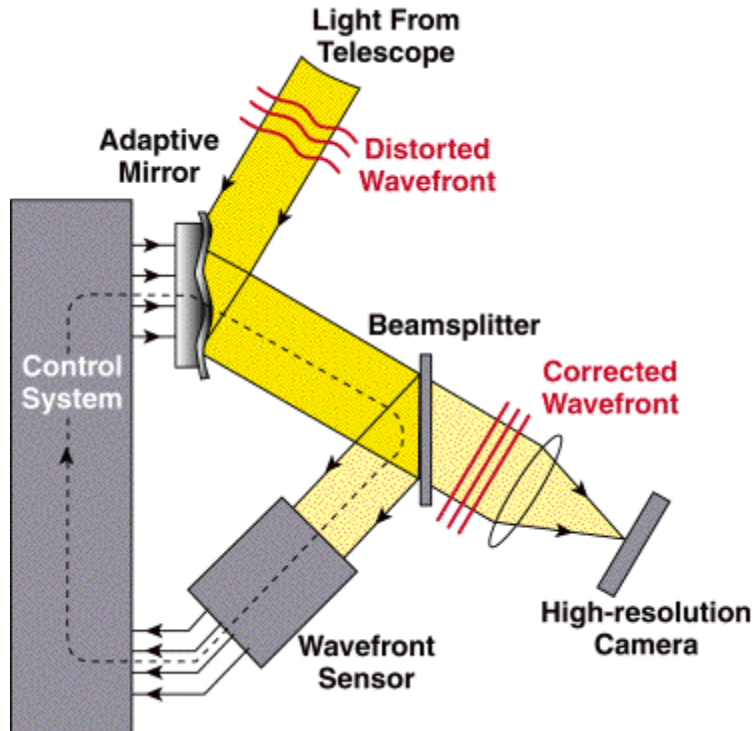
Zwierciadło główne składa się z 36 heksagonalnych segmentów tworzących zwierciadło o średnicy ok. 10 m.

Wyposażone są w optykę adaptatywną.

Rozdzielczość pozwalająca rozróżnić dwa punkty oddalone o 2 m z odległości 1600 km!.



Teleskop Kecka



Teleskop

Teleskop Hubble'a: to zespół instrumentów składający się z teleskopu o średnicy zwierciadła głównego 2,4 m, dwóch kamer, dwóch spektrografów i fotometru, umieszczonych na orbicie około ziemskiej.

Zdolność rozdzielcza porównywalna z teleskopem Kecka (ok. 0,1 sekundy).

