

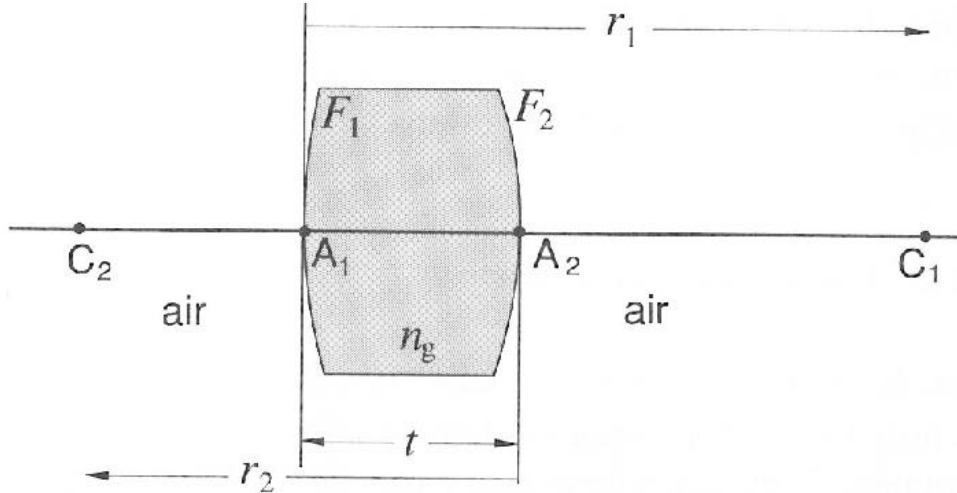
1100-1BO15, rok akademicki 2021/22

# **OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA**

dr hab. Rafał Kasztelanic

Wykład 7

# Soczewka gruba



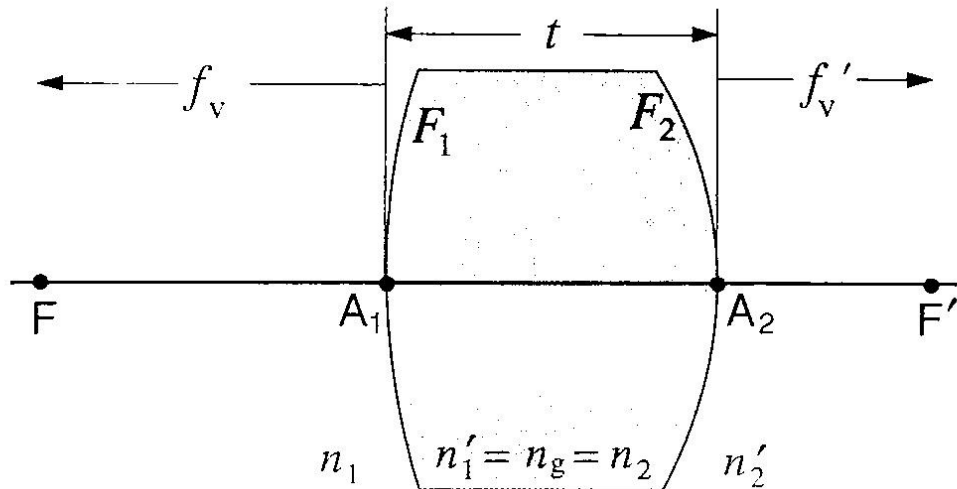
Soczewkę grubą możemy traktować jako układ 2 soczewek cienkich gdzie przestrzeń między nimi jest wypełniona ośrodkiem o współczynniku załamania materiału, z którego jest wykonana.

Wygodnie jest wprowadzić grubość zredukowaną (grubość optyczną):

$$\bar{t} = \frac{t}{n_g}$$

Analiza układu jest w tym przypadku taka sama jak układu z 2 soczewkami cienkimi z tą różnicą, że zamiast odległość  $d$  między soczewkami wstawiamy grubość zredukowaną.

# Soczewka gruba



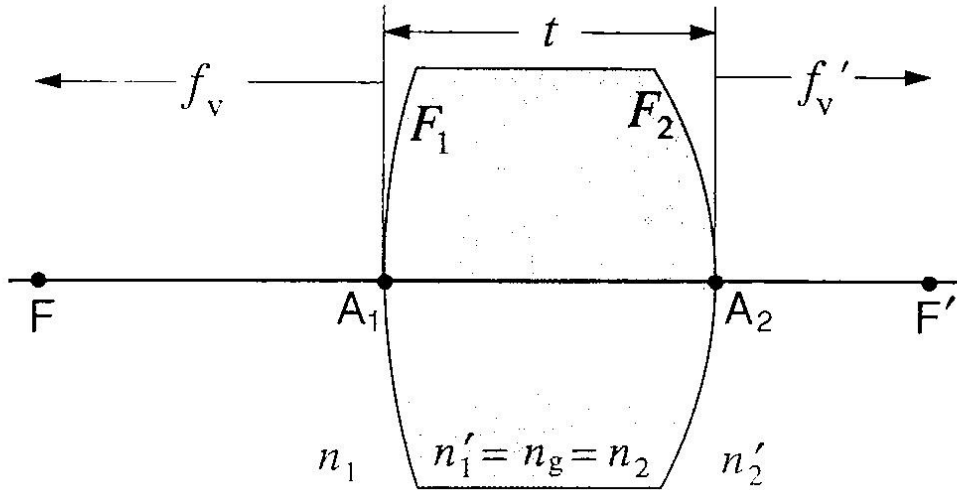
Moc pierwszej powierzchni:  $F_1 = \frac{n_g - n_1}{r_1}$

Moc drugiej powierzchni:  $F_2 = \frac{n_2' - n_g}{r_2}$

Moc całkowita:  $F_E = F_1 + F_2 - \bar{t}F_1F_2$

Ogniskowe:  $f_E = -\frac{n_1}{F_E}$ ;  $f_E' = \frac{n_2'}{F_E}$ ;  $\frac{f_E'}{f_E} = -\frac{n_2'}{n_1}$

# Soczewka gruba

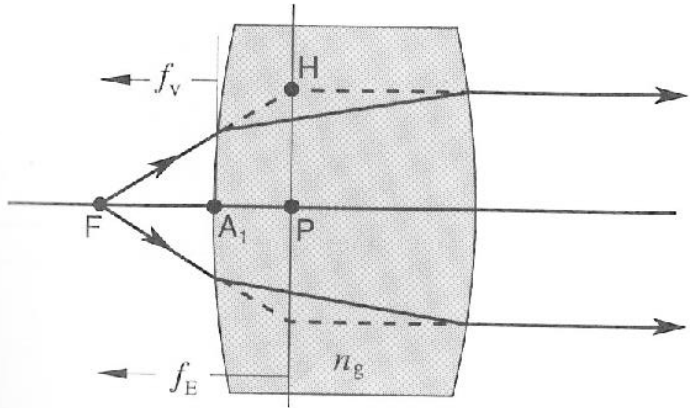


Punkty główne: 
$$e = n_1 \bar{t} \frac{F_2}{F_E}; e' = -n_2 \bar{t} \frac{F_1}{F_E}; e = f_v - f_E$$

Czołowe: 
$$F_v = \frac{F_E}{1 - \bar{t} F_2}; f_v = -\frac{n_1}{F_v}$$

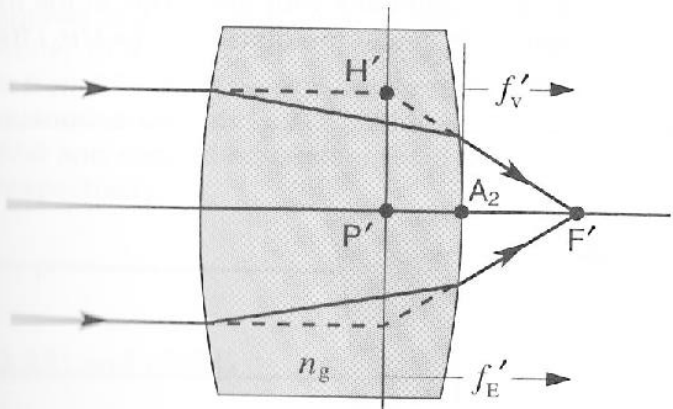
$$F'_v = \frac{F_E}{1 - \bar{t} F_1}; f'_v = \frac{n'_2}{F'_v}$$

# Soczewka gruba – w powietrzu



$$F_E = F_1 + F_2 - \bar{t}F_1F_2$$

$$f'_E = \frac{1}{F_E} \quad f_E = -\frac{1}{F_E}$$

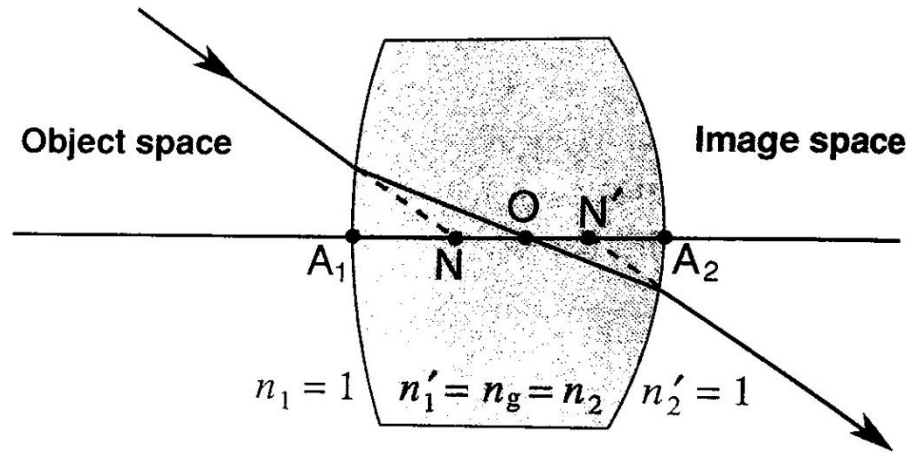


$$F'_v = \frac{F_1 + F_2 - \bar{t}F_1F_2}{1 - \bar{t}F_1} \quad f'_v = \frac{1}{F'_v}$$

$$F_v \frac{F_1 + F_2 - \bar{t}F_1F_2}{1 - \bar{t}F_2} \quad f_v = -\frac{1}{F_v}$$

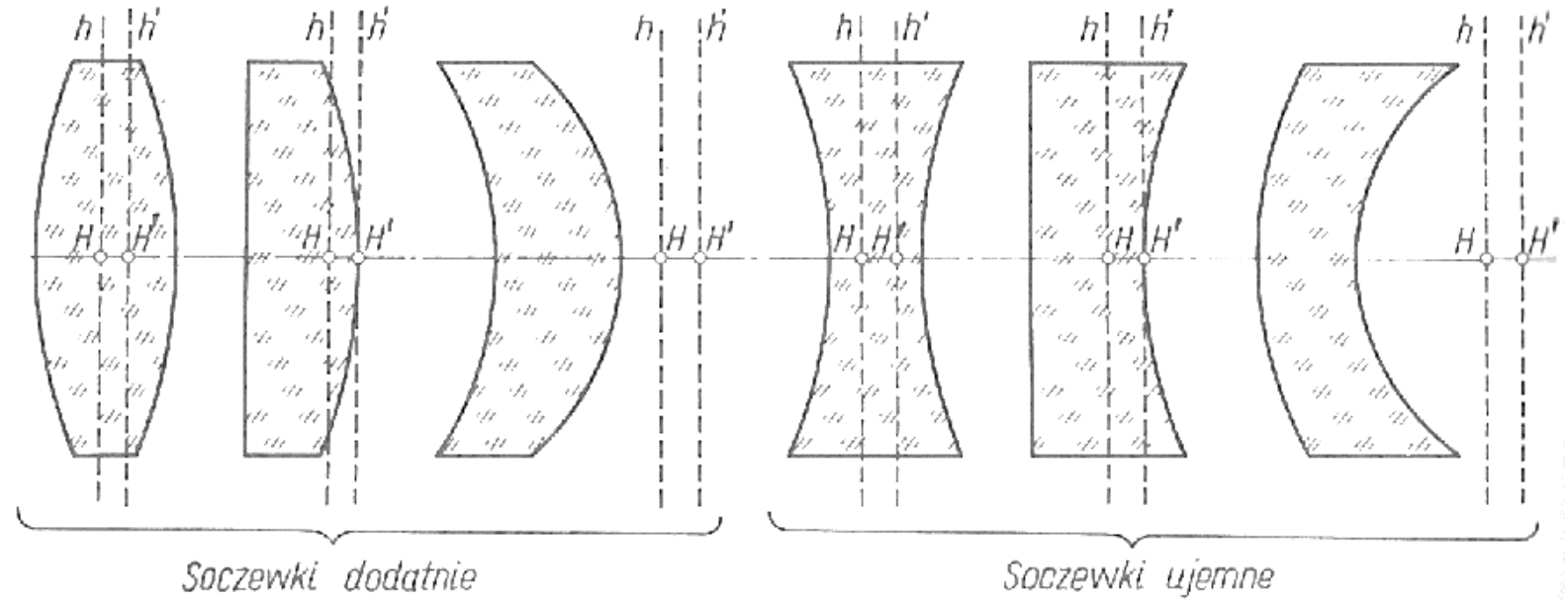
$$e = \bar{t} \frac{F_2}{F_E} \quad e' = -\bar{t} \frac{F_1}{F_E}$$

# Soczewka gruba – punkty główne

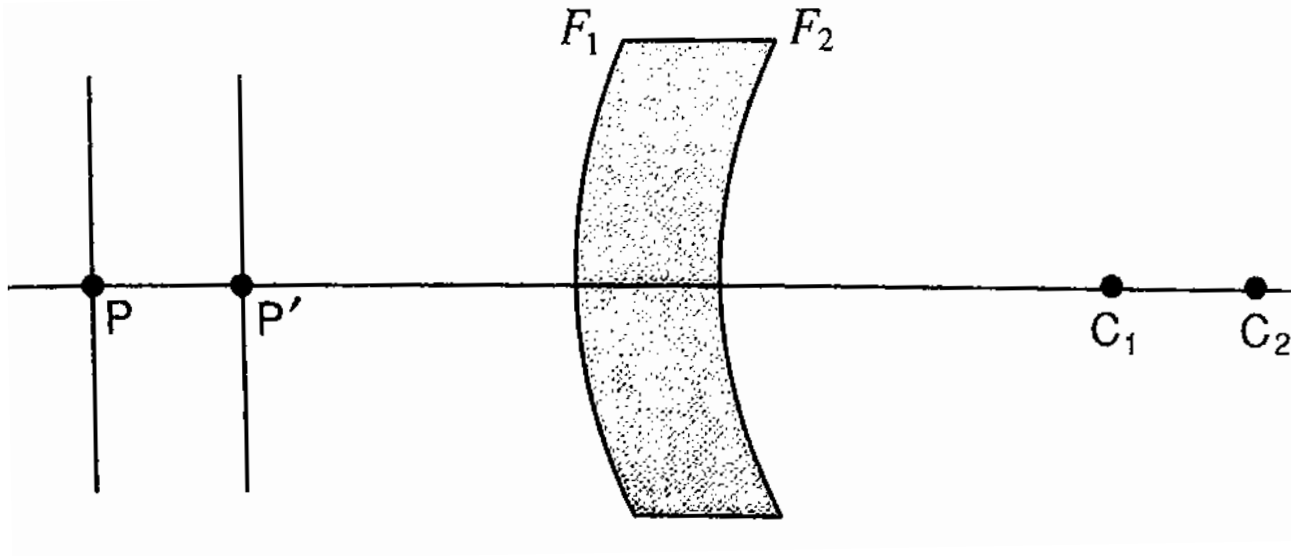


$$A_1 O = t \frac{F_2}{F_1 + F_2}$$

# Soczewka gruba



# Soczewka gruba – przypadki szczególne



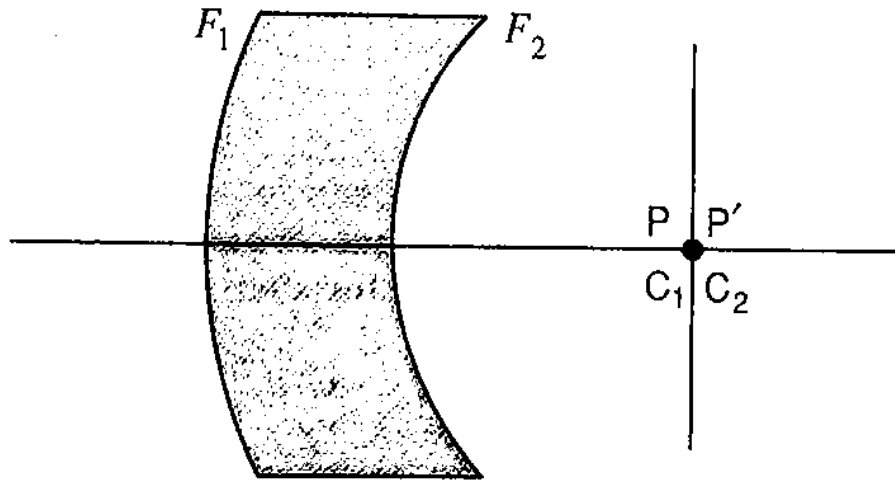
Soczewka gruba wypukło-wklęsła. Promienie krzywizny obu powierzchni są równe.

Soczewka ma małą dodatnią moc optyczną.

Oba punkty główne są przed soczewką i odległość między nimi równa jest grubość soczewki.



# Soczewka gruba – przypadki szczególne

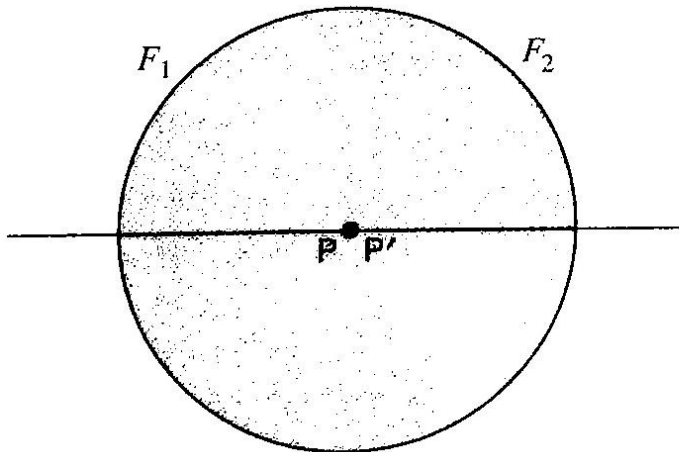


Soczewka gruba wypukło-wklęsła, koncentryczna. Promienie krzywizny obu powierzchni mają wspólny środek.

Soczewka ma małą ujemną moc optyczną.

Oba punkty główne są za soczewką w tym samym punkcie – w środku krzywizny.

# Soczewka gruba – przypadki szczególne

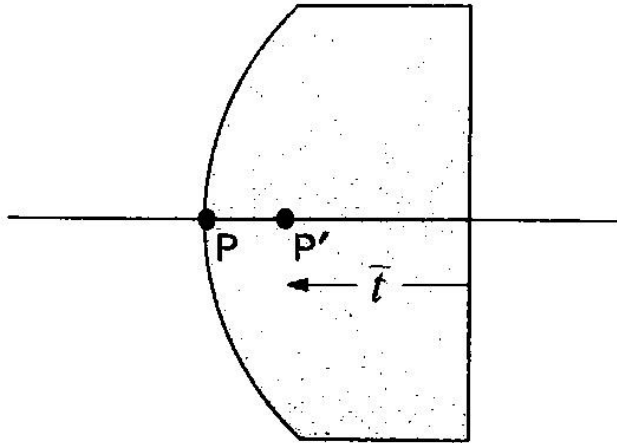


Soczewka gruba, kulista. Promienie krzywizny obu powierzchni są takie same i mają wspólny środek. Grubość soczewki  $2r$ .

Soczewka ma dodatnią moc optyczną. Położenie ogniska zależy od  $n$ . Może leżeć za soczewką lub w jej środku.

Oba punkty główne leżą w tym samym miejscu – w środku soczewki.

# Soczewka gruba – przypadki szczególne

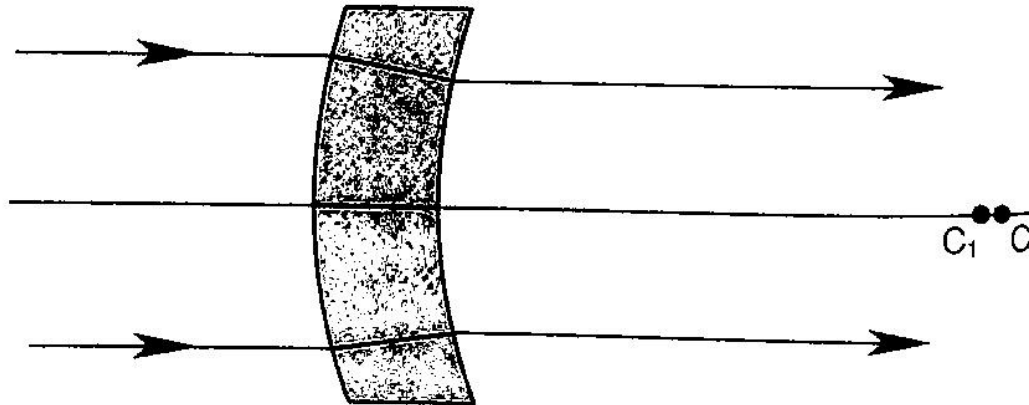


Soczewka gruba, płasko-wypukła.

Soczewka ma dodatnią moc optyczną.

Punkt główny P leży na czole powierzchni wypukłej. Punkt P' leży wewnątrz soczewki w odległości  $\bar{t} = t/n_g$  od powierzchni płaskiej.

# Soczewka gruba – przypadki szczególne

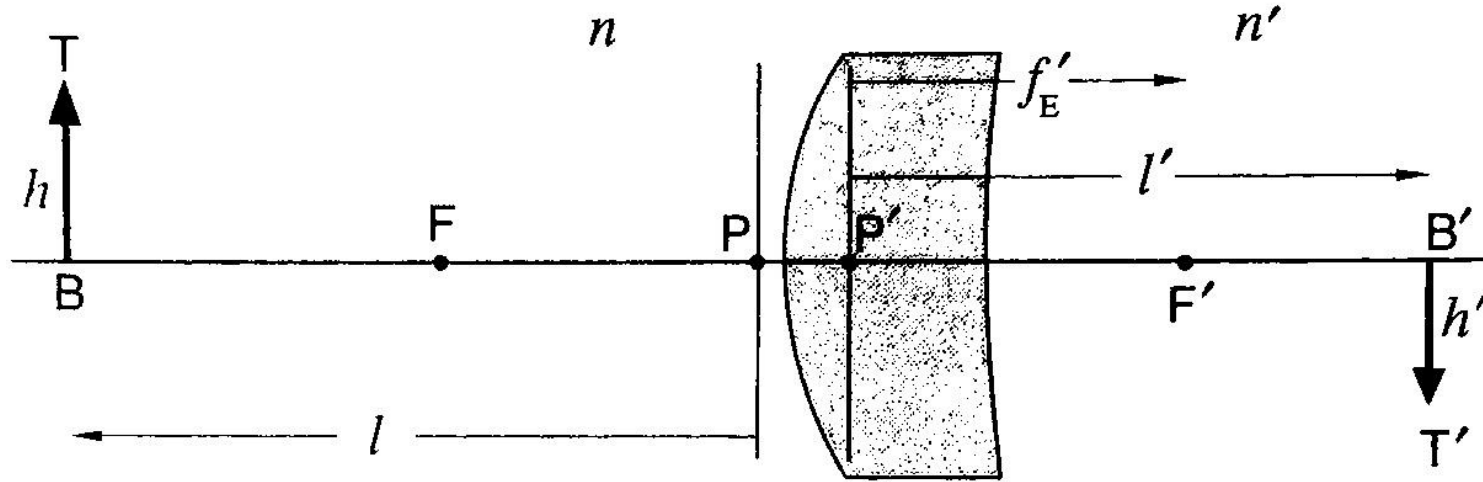


Soczewka afocalna – moc optyczna = 0.

Soczewka ma ogniska w nieskończoności.

Punkty główne leżą w nieskończoności.

# Soczewka gruba – zbieżność (wergencja)



$$L' = L + F_E$$

$$F_E = F_1 + F_2 - \bar{t} F_1 F_2$$

$$L' = \frac{n'}{l'} \quad L = \frac{n}{l}$$

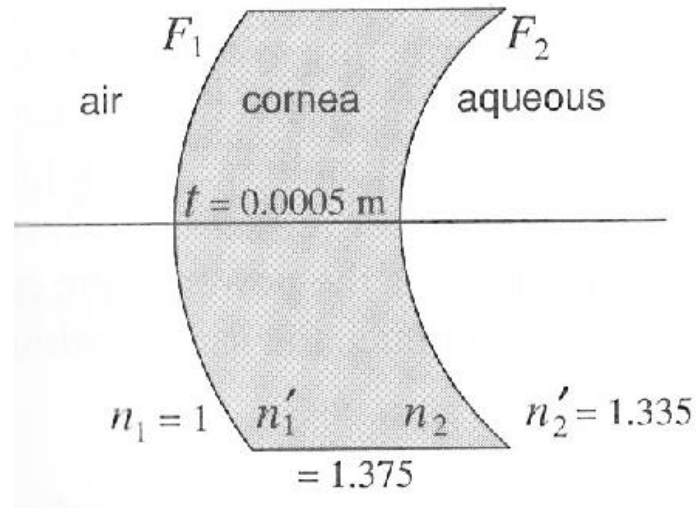
$$m = \frac{L}{L'} \quad h' = h * \frac{L}{L'}$$

# Soczewka gruba

## Przykład 3

Dana jest soczewka o danych parametrach:

- grubość  $t = 0,5$  mm
- Promień krzywizny pierwszej powierzchni  $r_1 = 7,8$  mm
- Promień krzywizny drugiej powierzchni  $r_2 = 6,8$  mm
- Współczynnik załamania materiału przed soczewką  $n_1 = 1$
- Współczynnik załamania materiału soczewki  $n'_1 = n_2 = 1,375$
- Współczynnik załamania materiału za soczewką  $n'_2 = 1,335$



# Soczewka gruba

Moc pierwszej powierzchni:  $F_1 = \frac{n'_1 - n_1}{r_1} = \frac{1,375 - 1}{0,0078} = +48,08D$

Moc drugiej powierzchni:  $F_2 = \frac{n'_2 - n_2}{r_2} = \frac{1,335 - 1,375}{0,0068} = -5,88D$

Moc wypadkowa:  $F_E = F_1 + F_2 - \bar{t} F_1 F_2 =$   
 $= (+48,08) + (-5,88) - \frac{0,0005}{1,375} * (+48,08) * (-5,88) = +42,3D$

Ogniskowa przedmiotowa:  $f_E = -\frac{n_1}{F_E} = -\frac{1}{+42,3} = -0,0236m = -23,6mm$

Ogniskowa obrazowa:  $f'_E = -\frac{n'_2}{F_E} = -\frac{1,335}{+42,3} = +0,0316m = +31,6mm$

Powiększenie:

$$m = \frac{v_{we}}{v_{wy}} \equiv \frac{v}{v'}$$

$$m = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n$$

$$m = \frac{v_1}{v'_1} \cdot \frac{v_2}{v'_2} \cdot \dots \cdot \frac{v_n}{v'_n}$$



# Układy soczewek

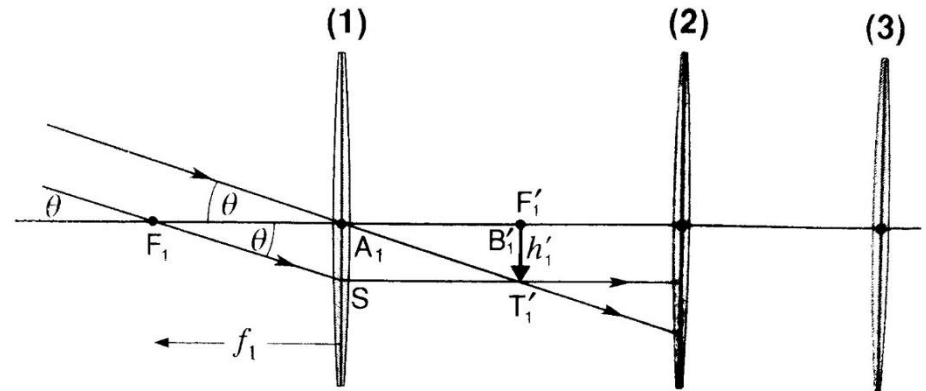
Powiększenie:

$$m = \frac{v_{we}}{v_{wy}} \equiv \frac{v}{v'}$$

$$m = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n$$

$$m = \frac{v_1}{v'_1} \cdot \frac{v_2}{v'_2} \cdot \dots \cdot \frac{v_n}{v'_n}$$

Powiększenie dla przedmiotu w nieskończoności:



$$m = \frac{v_1}{v'_1} \cdot \frac{v_2}{v'_2} \cdot \dots \cdot \frac{v_n}{v'_n}$$

$$h'_n = h_1 \cdot m$$

$$h'_n = f_1 \tan \vartheta \cdot \frac{v_2}{v'_2} \cdot \dots \cdot \frac{v_n}{v'_n}$$

przedmiot w  
nieskończoności:

# Układy soczewek

Wielkość obrazu dla płaskiej soczewki równoważnej:

$$h'_n = f_E \tan \mathcal{G}$$

$$f_E \tan \mathcal{G} = h'_n = f_1 \tan \mathcal{G} \cdot \frac{v_2}{v'_2} \cdot \dots \cdot \frac{v_n}{v'_n}$$

$$f_E = f_1 \cdot \frac{v_2}{v'_2} \cdot \dots \cdot \frac{v_n}{v'_n}$$

Dla soczewek w powietrzu:

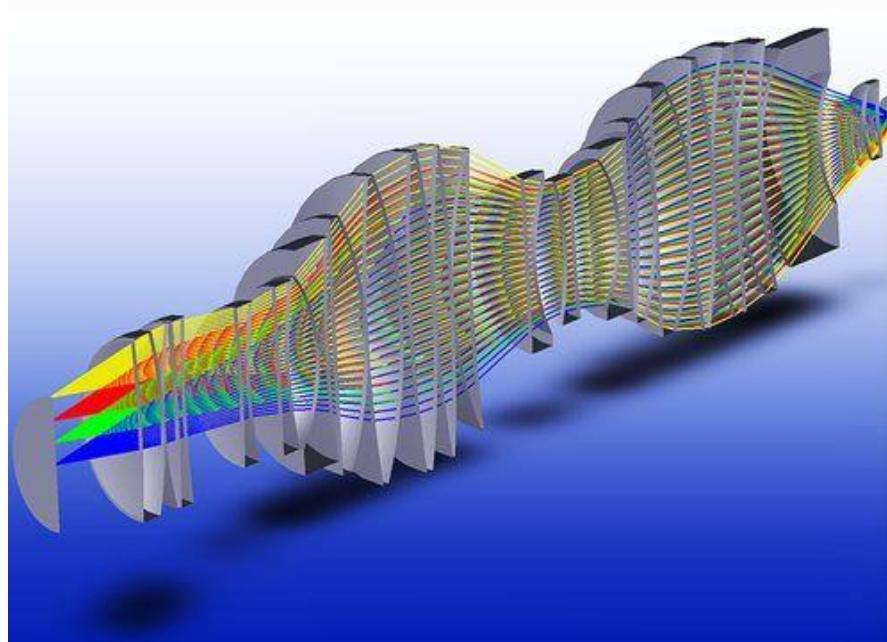
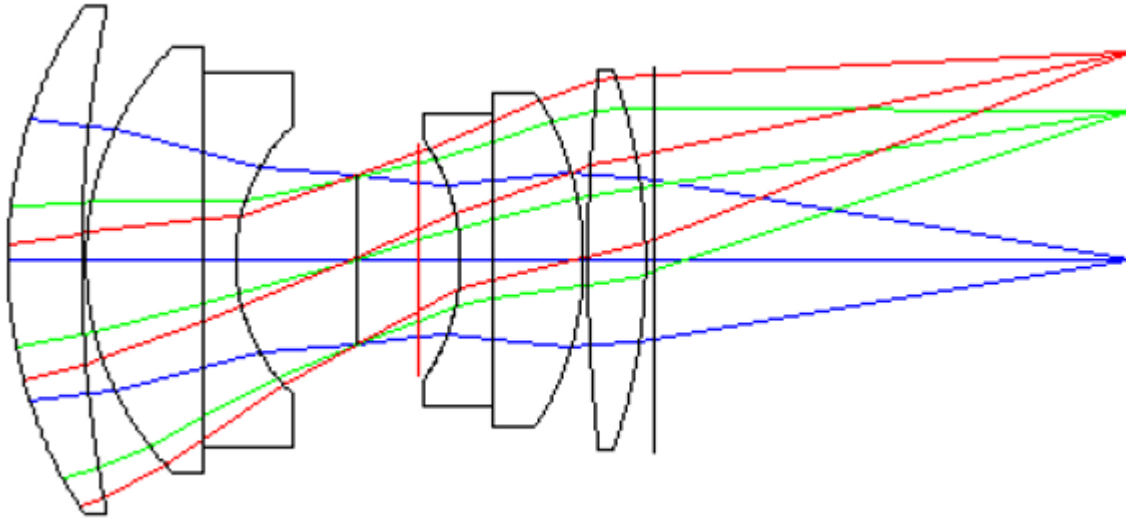
$$-\frac{1}{f_E} = -\frac{1}{f_1} \cdot \frac{v'_2}{v_2} \cdot \dots \cdot \frac{v'_n}{v_n}$$

$$F_E = F_1 \cdot \frac{v'_2}{v_2} \cdot \dots \cdot \frac{v'_n}{v_n}$$

W ogólnym przypadku:

$$F_E = -\frac{n_1}{f_E} = \frac{n'_x}{f'_E}$$

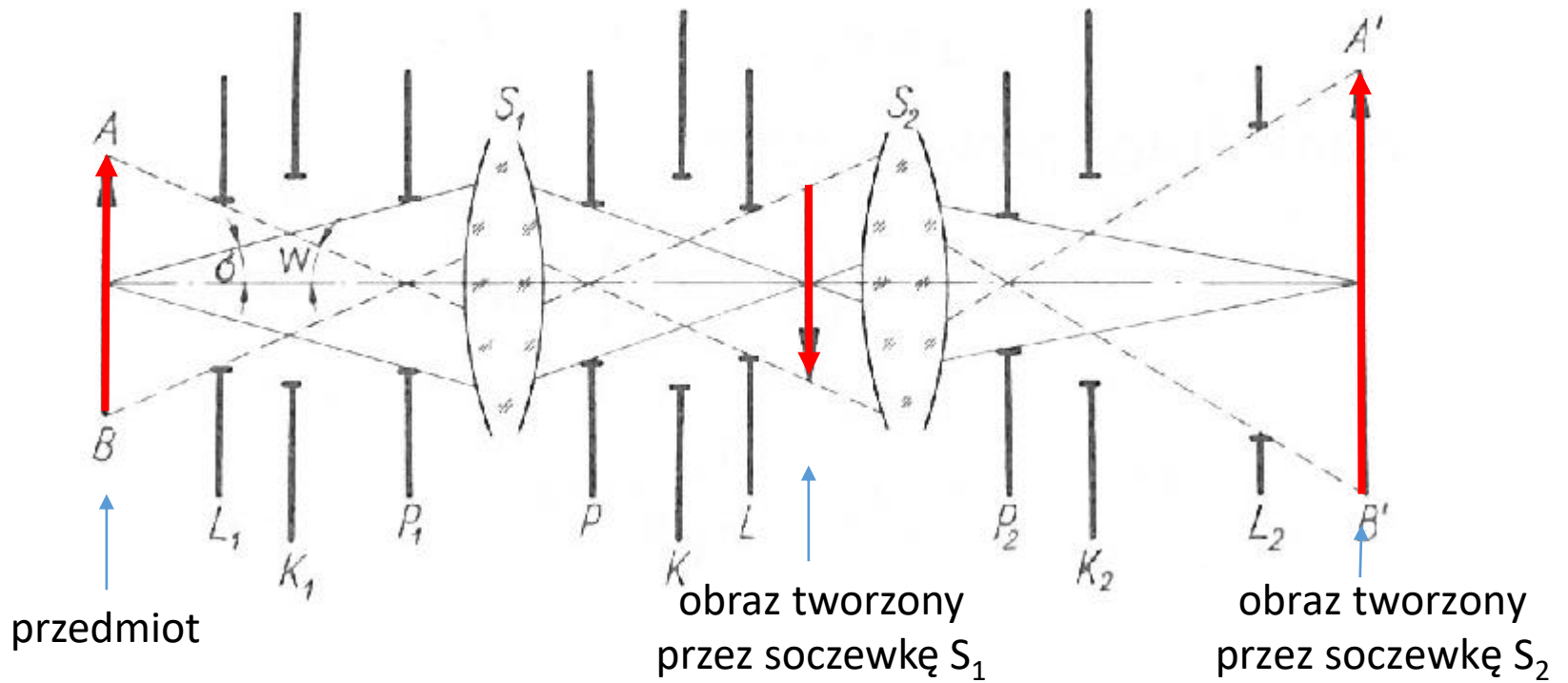
# Optyka promieni



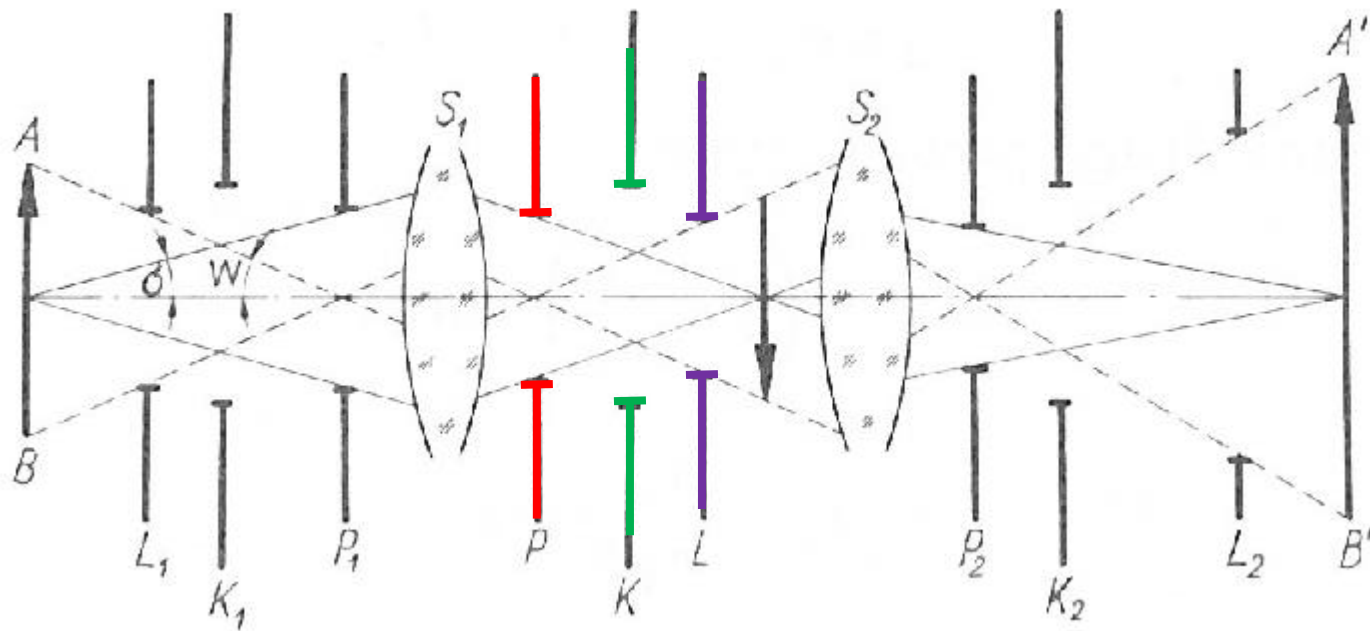
# Diafragmy

- Pęk promieni świetlnych, przechodzący przez układ optyczny jest ograniczony przez przysłony (diafragmy) o dowolnym kształcie i symetrii, aczkolwiek staramy się, by miały kształt kołowy ze względu na typową symetrię układów optycznych.
- Przysłony mogą być wynikiem budowy układu optycznego (np. oprawa soczewki), intencjonalnego ograniczenia pęku promieni (np. otwór o regulowanej średnicy) lub warunków obserwacji (np. źrenica oka).
- Przysłony określają kształt pęku promieni wychodzących z punktowego źródła (punkt przedmiotu) oraz tworzących obraz tego źródła.
- Przysłony określają strumień świetlny przechodzący przez układ, a co za tym idzie jasność obrazu.
- Przysłony określają wpływ aberracji układu optycznego na tworzony obraz, bowiem pozwalają na uwzględnienie (bądź nie) promieni położonych daleko od osi optycznej.

# Diafragmy

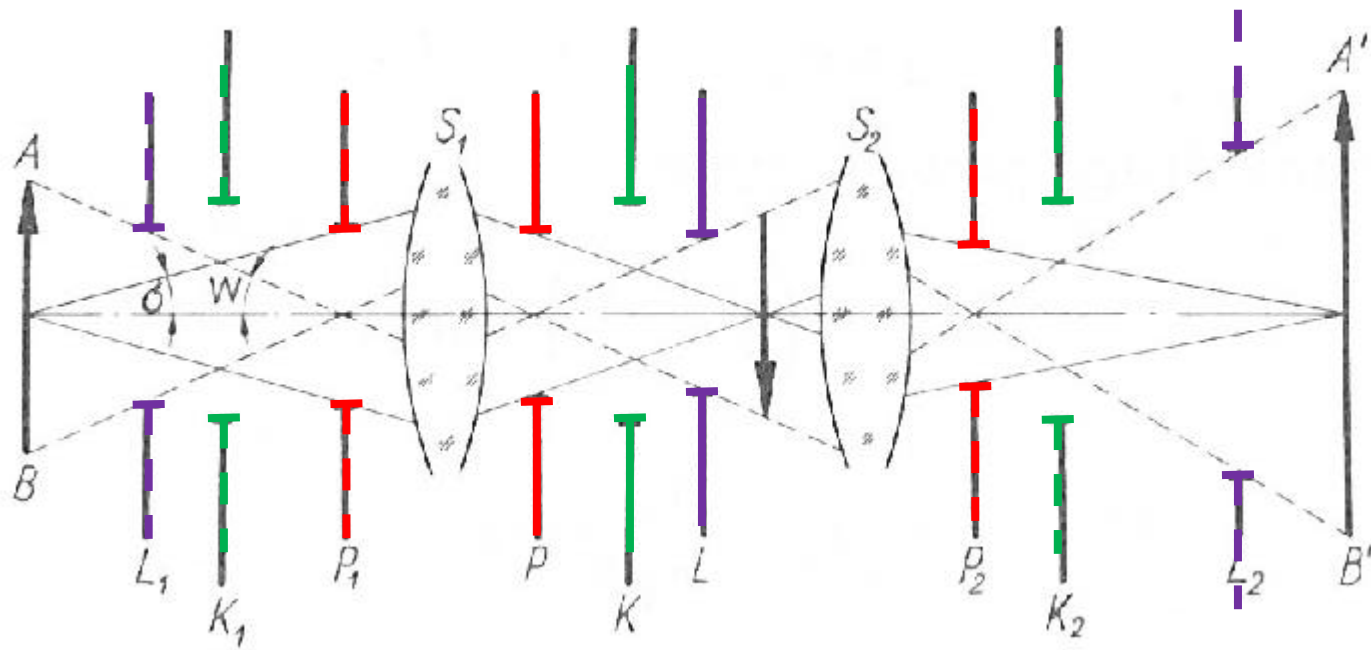


# Diafragmy



3 diafragmy wewnątrz  
układu optycznego

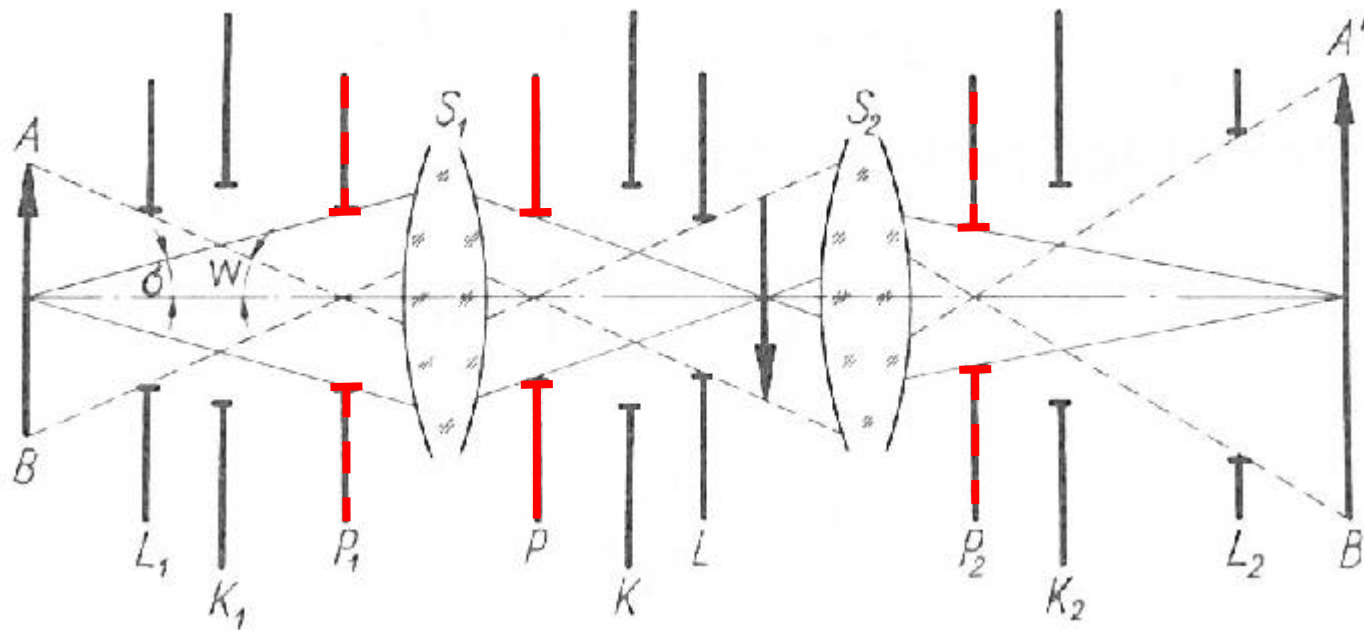
# Diafragmy



obrazy diafragm w  
przestrzeni przedmiotowej

obrazy diafragm w  
przestrzeni obrazowej

# Diafragmy



## Diafragma aperturowa

Diafragma  $P$ , której obraz w przestrzeni przedmiotowej widać ze środka przedmiotu  $AB$  pod najmniejszym kątem  $\delta$  i najbardziej ogranicza wiązkę światła padającego na układ.

## Żrenica wejściowa

Obraz diafragmy aperturowej po stronie przedmiotu  $P_1$ .

## Żrenica wyjściowa

Obraz diafragmy aperturowej po stronie obrazowej  $P_2$ .

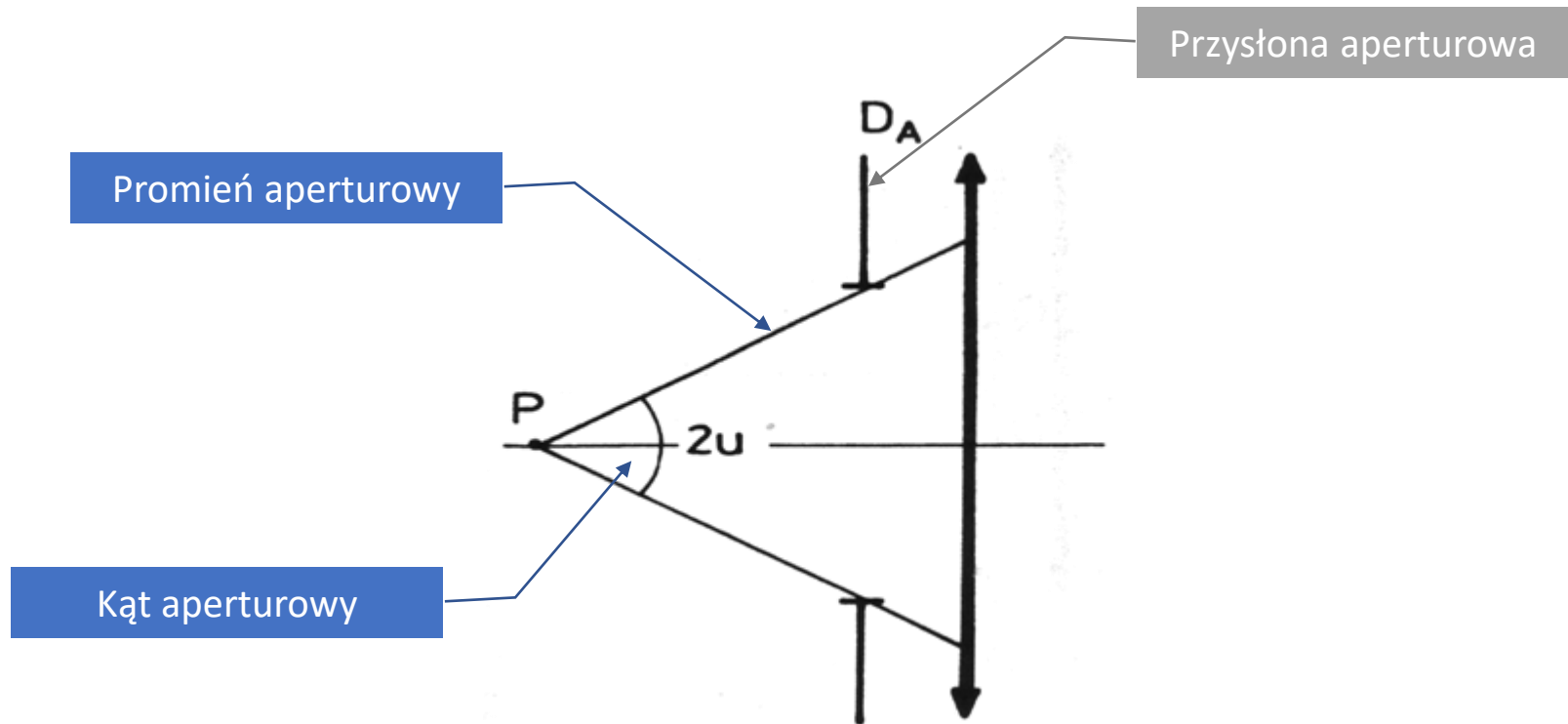
Diafragma aperturowa wpływa na:

- Jasność obrazu
- Zdolność rozdzielczą
- Głębnię ostrości



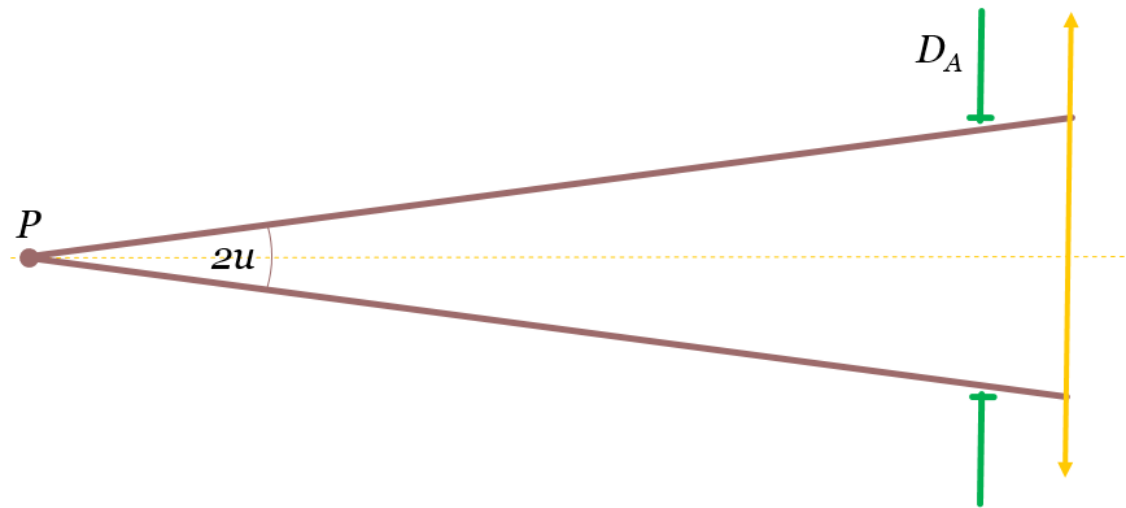
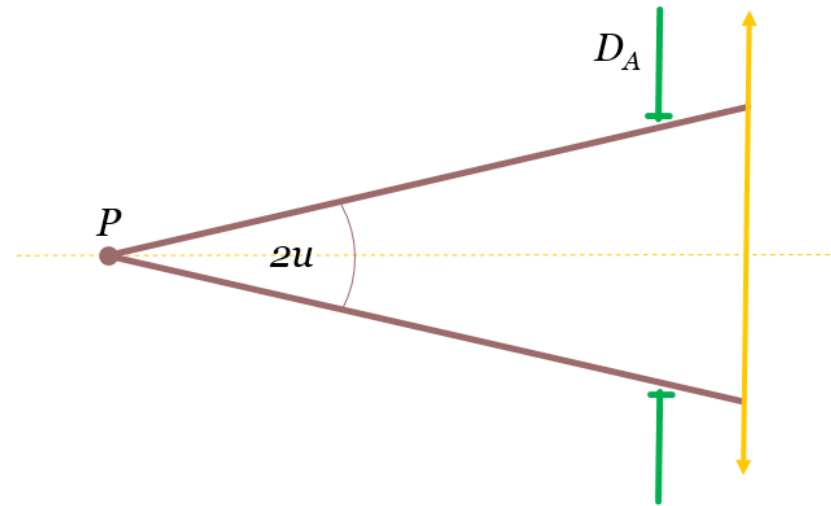
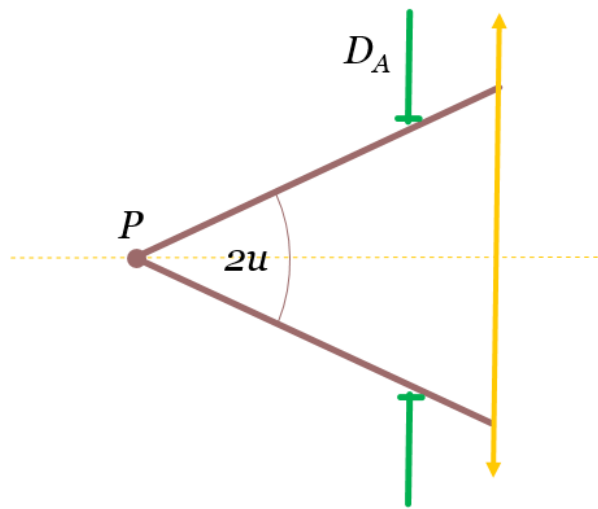
# Diafragmy

## Diafragma aperturowa

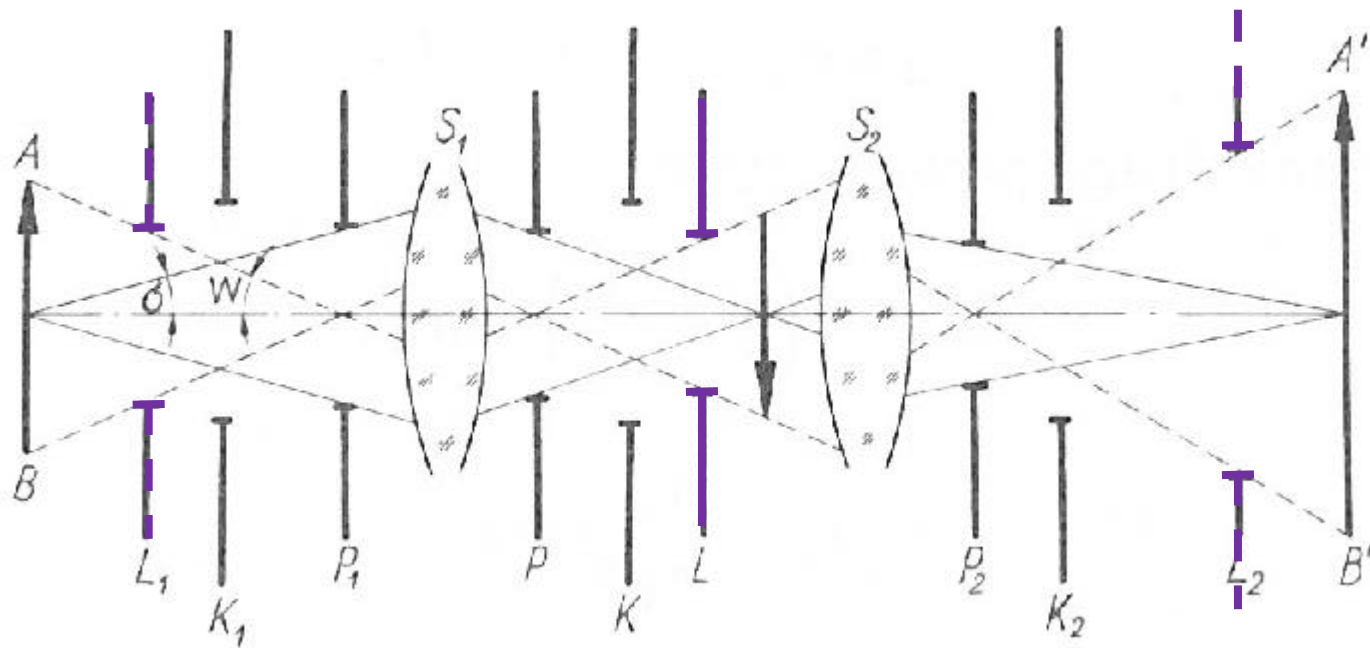


# Diafragmy

## Diafragma aperturowa



# Diafragmy



## Diafragma pola

Diafragma  $L$ , której obraz w przestrzeni przedmiotowej widać ze środka źrenicy wejściowej pod najmniejszym kątem  $w$  (kąt pola). Diafragma pola ogranicza pole widzenia.

## Luka wejściowa

Obraz diafragmy pola po stronie przedmiotu  $L_1$ .

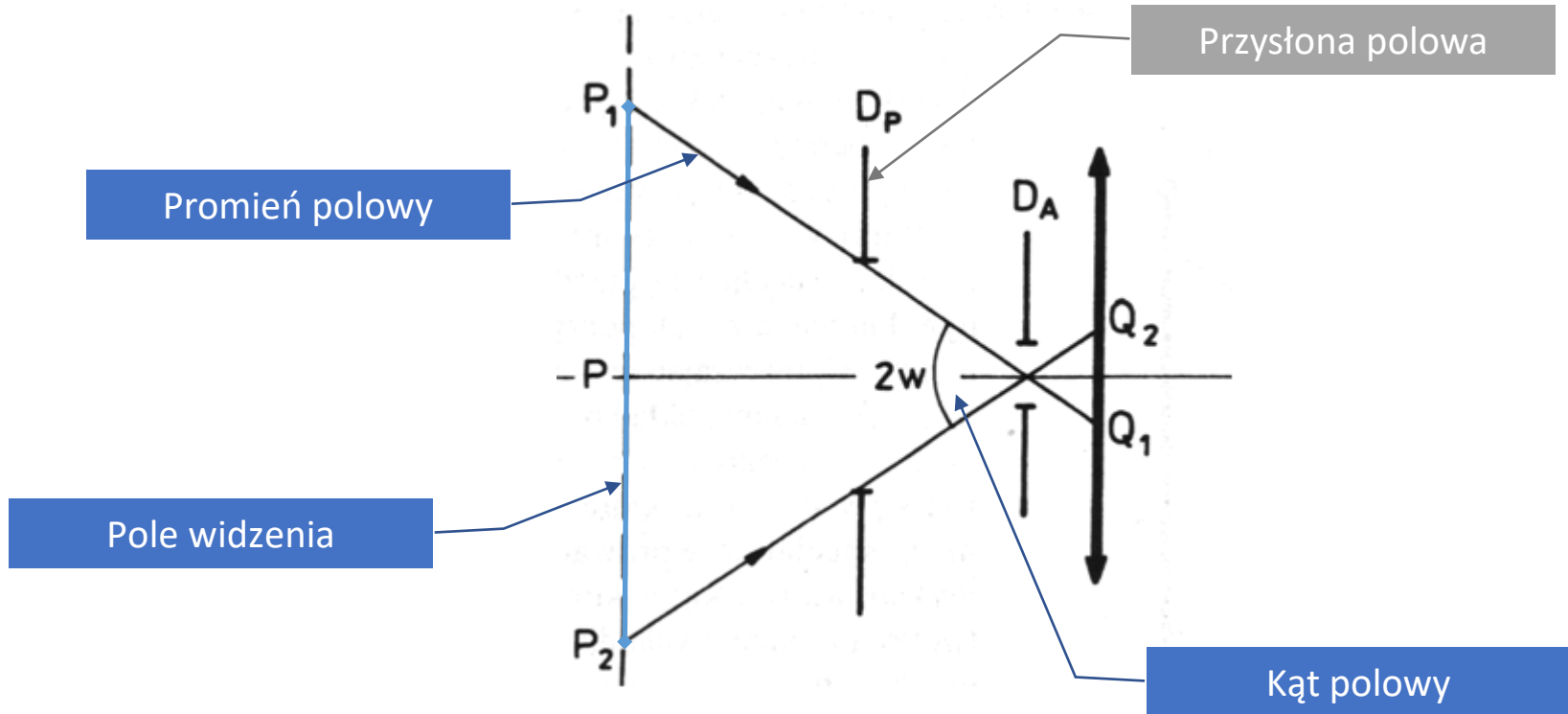
## Luka wyjściowa

Obraz diafragmy pola po stronie obrazowej  $L_2$ .

Luka wejściowa leży przeważnie w płaszczyźnie przedmiotu. Pole widzenia jest wtedy ostro ograniczone.

# Diafragmy

## Diafragma pola



## Liczba otworowa, Liczba przysłony

- Dla przedmiotu w nieskończoności promienie aperturowe biegną równoległe do osi optycznej.
- Liczba otworowa  $N$  to stosunek ogniskowej obrazowej do średnicy przysłony aperturowej  $D$ :

$$N = \frac{f'}{D}$$

- Otwór względny obiektywu definiuje się jako  $1:N$ .
- Oznaczenia na obiektywach:  $f/\# = N$

Liczba przysłony	$f/1$	$f/1.4$	$f/2$	$f/2.8$	$f/4$	$f/5.6$	$f/8$	$f/11$	$f/16$	$f/22$	$f/32$	$f/45$	$f/64$	$f/90$	$f/128$	...
------------------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	-----

w przybliżeniu kolejne potęgi  $\sqrt{2}$

Wartość przysłony  $f/1$  oznacza, że ogniskowa obiektywu jest równa średnicy otworu przysłony. Każda następna pozycja oznacza ustawienie przysłony, przy którym do wnętrza obiektywu przepuszczana jest dwa razy mniejsza ilość światła.