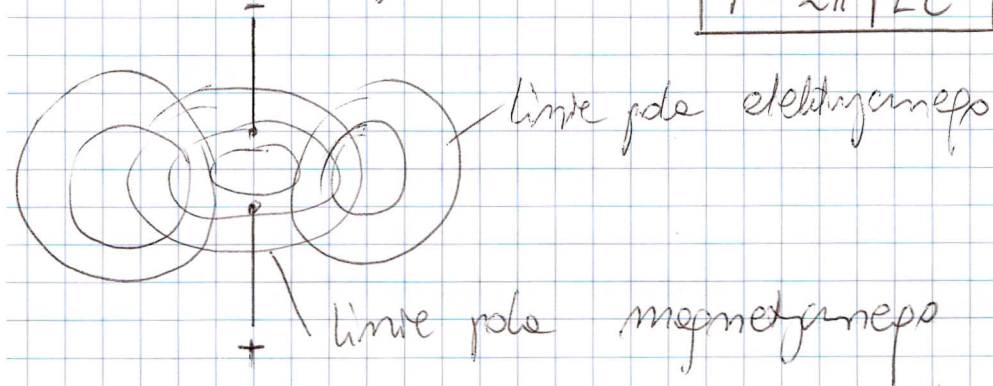


Fale elektromagnetyczne ułożone są w drążym obwodzie LC.

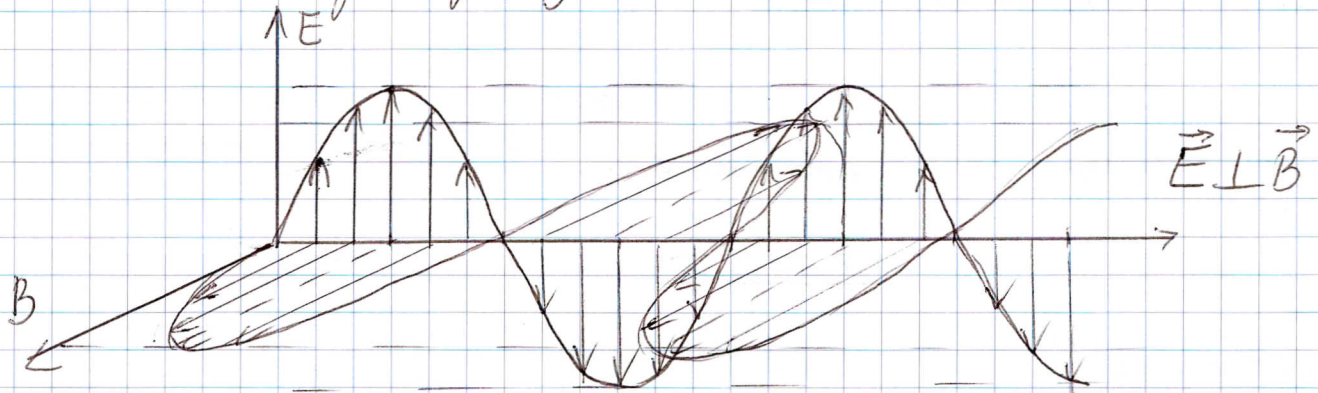
$$T = 2\pi \sqrt{LC}$$



Zgodnie z prawami Maxwella:

- 1) zmienne pole elektryczne wytwarza wraze pole magnetyczne
- 2) zmienne pole magnetyczne wytwarza wraze pole elektryczne.

Pole magnetyczne i elektryczne leżą w płaszczyźnie do siebie prostopadłych.



Fale elektromagnetyczne to przenikające się wzajemnie i rozchodzące się w przestrzeni zmienne pole elektryczne i magnetyczne.

Fala elektro-magn. jest falą poprzeczną, czyli wektor natężenia pola elektrycznego  $\vec{E}$ , indukcji magnetycznej  $\vec{B}$  są prostopadłe do siebie i prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali.

Prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej obliczamy ze wzoru:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r}}$$

dla powietrza i próżni  
 $\epsilon_r = 1$   $\mu_r = 1$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

— powietrze i próżnia



# Własności fal elektromagnetycznych:

- 1) ulegają odbiciu od powierzchni metalowych zgodnie z prawem odbicia
- 2) ulegają ~~refrakcji~~ załamaniu przy przechodzeniu przez ośrodki
- 3) ulegają interferencji, a w odpowiednich warunkach może się wytworzyć fala stojąca

## Niedługo promieniowanie elektromagnetyczne

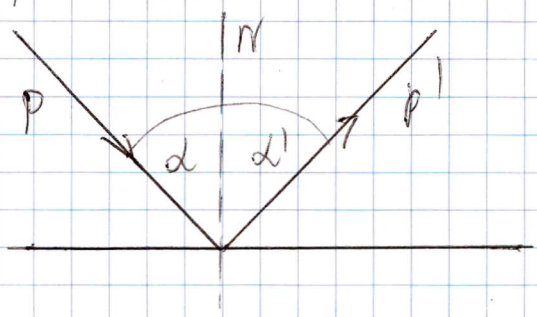
$\lambda_{max}$	fale radio mikrofale podczerwone (promieniowanie ciepłe) światło widzialne fiolet (ultrafiolet) promienie X (Roentgen) promienie gamma promieniowanie kosmiczne	$f_{min}$
$f_{min}$		$\lambda_{max}$

Fale o danym obrotu rozchodzą się ruchem jednostajnym prostoliniowym z prędkością:

$$v = \lambda \cdot f$$

Światło jest falą elektromagnetyczną o zakresie długości od ok. 400 nm do 800 nm, na które jest wrażliwe ludzkie oko.

### Zjawisko odbicia światła



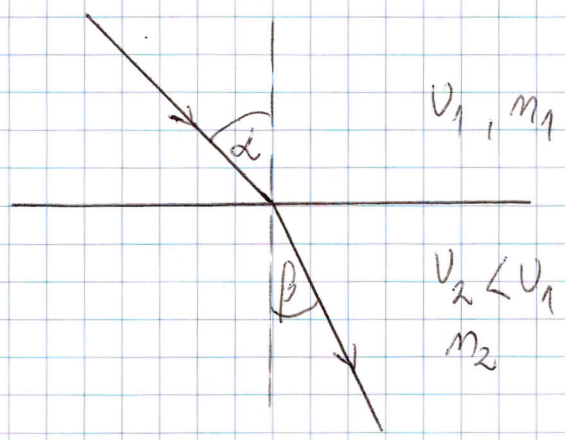
$$\alpha' = \alpha$$

Kąt odbicia jest równy kątowi padania; promień padający, promień odbity i normalna  $N$  leżą w jednej płaszczyźnie

$P$  - promień świetlny padający na powierzchnię ośrodków  
 $P'$  - " " " " odbity



# Zjawisko załamania światła



Bezpośredni współczynnik załamania światła:

$$n = \frac{c}{v}$$

$n = 1$  - próżnia i powietrze  
 $n > 1$  - pozostałe ośrodki, w których  $v < c$

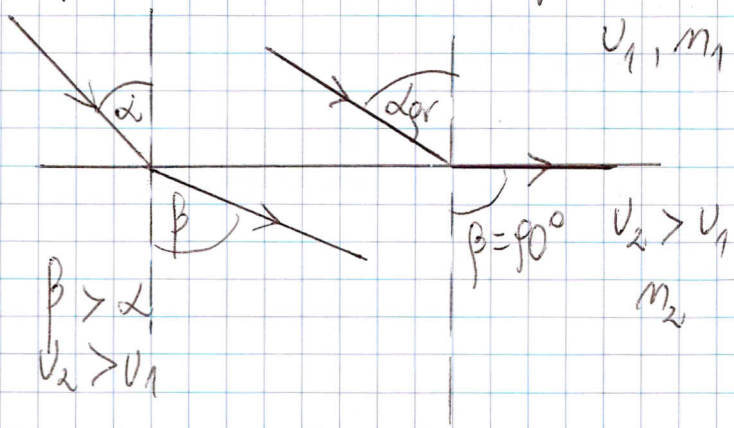
## Wzór Snella (Snelliusa)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2/1}$$

$n_{2/1}$  - współczynnik załamania ośrodka 2 względem ośrodka 1.

## Cathowite wewnętrzne odbicie

Zjawisko to zachodzi, gdy promień świetlny przechodzi z ośrodka optycznie gęstszego do optycznie rzadszego np. ze szkła do powietrza.



$\alpha_{pr}$  - kąt próżniowy:  
 jest to kąt padania, dla którego kąt załamania  $\beta = 90^\circ$

$$\frac{\sin \alpha_{pr}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

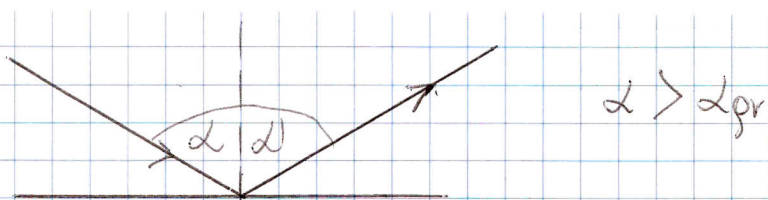
$$\sin \alpha_{pr} = \frac{n_2}{n_1}$$

Gdy drugim ośrodkiem jest powietrze to  $n_2 = 1$

$$\sin \alpha_{pr} = \frac{1}{n}$$

Dla kątów padania większych od  $\alpha_{pr}$  na granicy ośrodków następuje tylko odbicie - światło nie przechodzi do drugiego ośrodka. Zjawisko to nazywamy cathowitem wewnętrznym odbiciem.

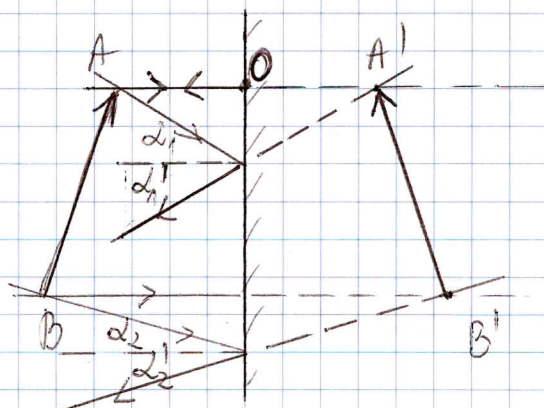




Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia wykorzystuje się w:

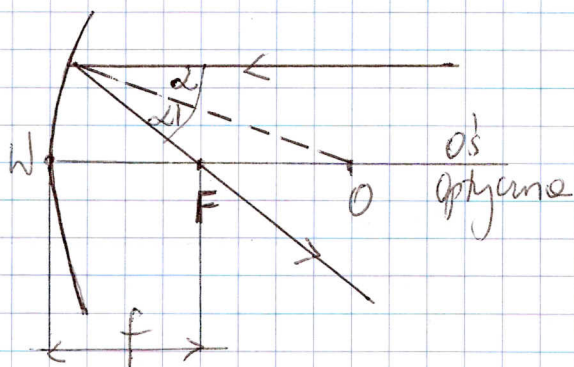
- 1) światłowodach - telekomunikacja, medycyna
- 2) do podświetlenia strumyków wody w fontannach.

### Zwierciadła płaskie



$A'B'$  - obraz pozorny  
tej samej wielkości  
prosty  
 $OA' = OA$

### Zwierciadła kuliste wklęsłe



O - środek krzywizny zwierciadła  
W - wierzchołek zwierciadła  
 $OW = R$  - promień krzywizny  
F - ognisko  
f - ogniskowa  $\boxed{f = \frac{1}{2} R}$

Równanie zwierciadła:

$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}}$$

x - odlegość przedmiotu od zwierciadła  
y - odlegość obrazu od zwierciadła

Dla zwierciadła kulistego wklęsłego

$$\boxed{f > 0}$$

Powiększenie obrazu

$$\boxed{p = \frac{|y|}{x}}$$

$$\boxed{p = \frac{h_{ob}}{H}}$$

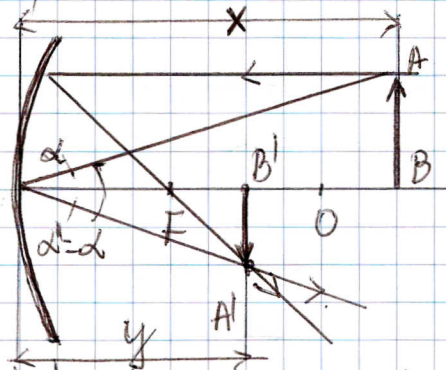
$h_{ob}$  - wysokość obrazu  
H - wysokość przedmiotu



# Obramy w zwierciadle kulistym wklęsłym

(5)

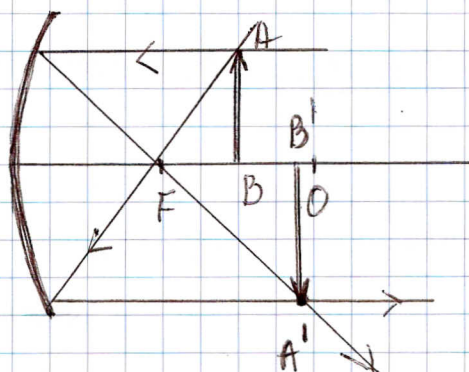
1)  $x > R$



$A'B'$  - obraz rzeczywisty, pomniejszony, odwrócony

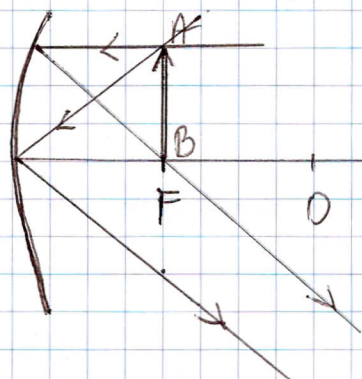
$$p = \frac{y}{x} \quad p < 1$$

2)  $f < x < R$

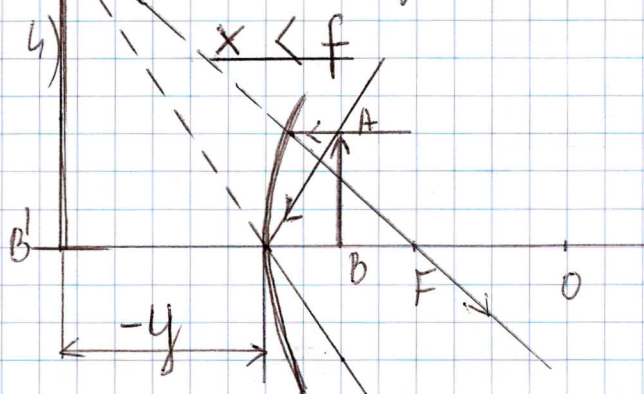


$A'B'$  - obraz rzeczywisty powiększony, odwrócony  $p > 1$

3)  $x = f$



obraz nie powstaje



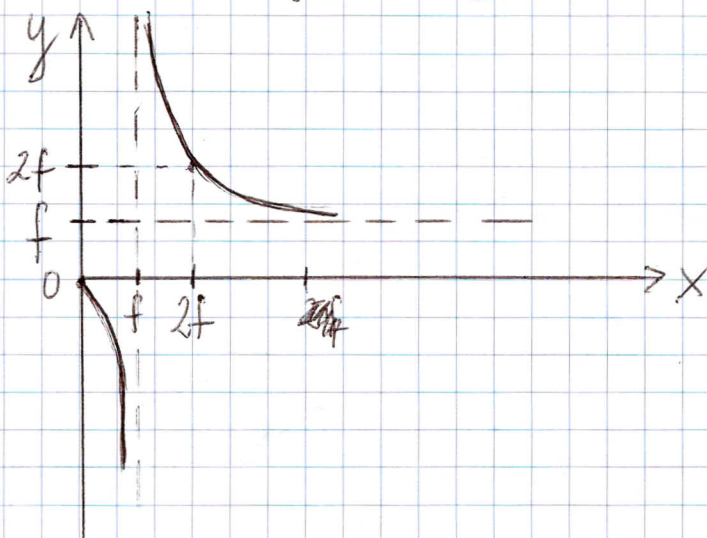
$A'B'$  - obraz pozorny powiększony prosty  $p = \frac{|y|}{x} > 1$

Wykres zależności  $y = f(x)$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$$

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{f} - \frac{1}{x}$$

$$\frac{1}{y} = \frac{x - f}{fx} \quad \boxed{y = \frac{fx}{x - f}}$$



1)  $x < f$  -  $y < 0$  - obraz pozorny  $|y| > x$  - obraz powiększony

2)  $x = f$  - obraz nie powstaje

3)  $f < x < 2f$  -  $y > 0$  obraz rzeczywisty  $y > x$  obraz powiększony

4)  $x = 2f$  -  $y = 2f$  - obraz rzeczywisty  $p$  samej wielkości

5)  $x > 2f$  -  $y > 0$  obraz rzeczywisty  $y < x$  obraz pomniejszony



## Soczewki

⑥

ze względu na kształt powierzchni opromienionych soczewki:

1) wypukłe: dwuwypukłe, płaskowypukłe; wklęsłowypukłe

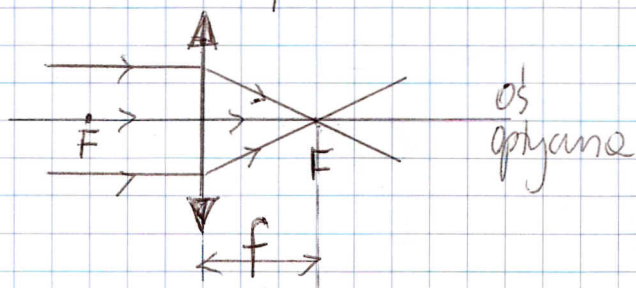


2) wklęsłe: dwuwklęsłe, płaskowklęsłe i wypukłowklęsłe



ze względu na działanie rozdzielną soczewki

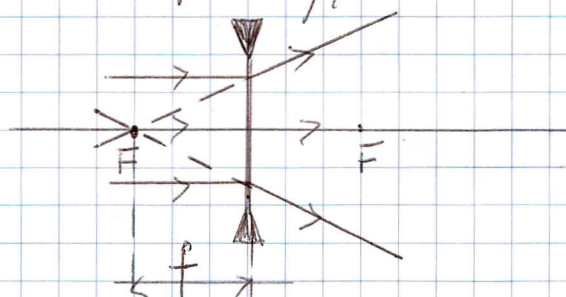
1) skupiające:



F - ognisko

f - ogniskowa  $f > 0$  - w powietrzu

2) rozpraszające



F - ognisko pozorne

$f < 0$  - w powietrzu

Przebieg się przedłużenie promieni wychodzących z soczewki

Ogniskowe soczewki zależą od:

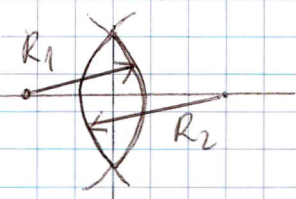
- materiału soczewki
- rodzaju ośrodka
- kształtu soczewki

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{socz}}}{n_{\text{otoc}} - 1} \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

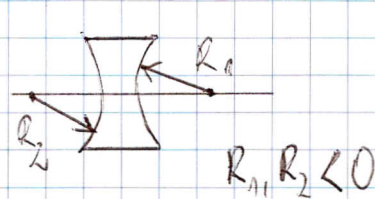
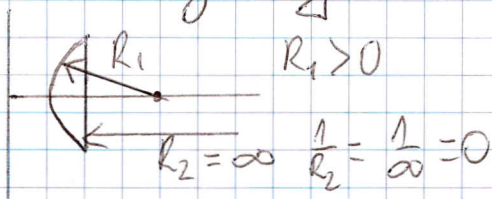
$n_{\text{otoc}}$  - współczynnik załamania ośrodka, w którym znajduje się soczewka;  $n_{\text{otoc}} = 1$  - powietrze i próżnia

$n_{\text{socz}}$  - współczynnik załamania materiału soczewki

$R_1, R_2$  - promienie krzywizny



$R_1, R_2 > 0$





Jeżeli soczewkę umieszcimy w ośrodku o współczynniku załamania  $n_{\text{obn}} > n_{\text{son}}$ :

$$\text{I} \quad R_1, R_2 > 0 \quad \frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{son}}}{n_{\text{obn}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{n_{\text{son}}}{n_{\text{obn}}} - 1 < 0 \quad \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} > 0$$

to  $f < 0$  - soczewka rozpraszająca

$$\text{II} \quad R_1, R_2 < 0 \quad \frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{son}}}{n_{\text{obn}}} - 1 \right) \left( -\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{n_{\text{son}}}{n_{\text{obn}}} - 1 < 0 \quad -\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} < 0$$

to  $f > 0$  - soczewka skupiająca

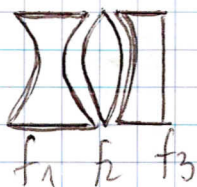
Zdolność skupiająca soczewki - Z

$$\boxed{Z = \frac{1}{f}} \quad \text{jednostka } [Z] = \frac{1}{\text{m}} = \text{D} - \text{dioptrie}$$

$Z > 0$  - soczewka skupiająca

$Z < 0$  - soczewka rozpraszająca

Wzrost soczewek cienkich ustawionych blisko siebie



$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots + \frac{1}{f_n}}$$

$$\boxed{Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n}$$

Równoważenie soczewki:

$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}}$$

Powiększenie obrazu:

$$\boxed{p = \frac{|y|}{x}}$$

$$\boxed{p = \frac{h_{\text{obr.}}}{h_{\text{przedm.}}}}$$

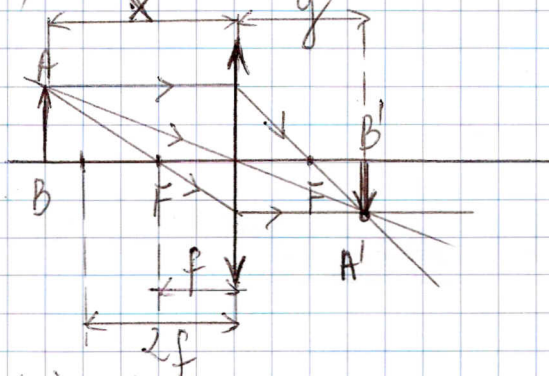
$h_{\text{obr.}}$  - wysokość obrazu

$h_{\text{przedm.}}$  - " - przedmiotu



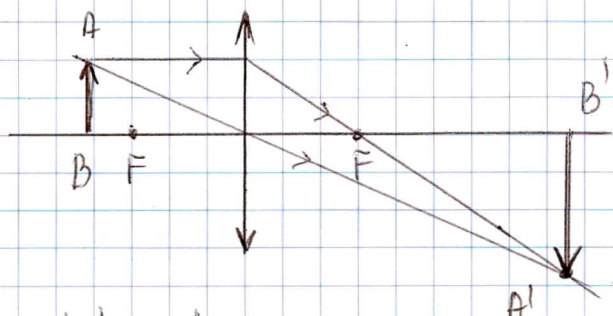
# Obrazy w soczewkach skupiających:

1)  $x > 2f$



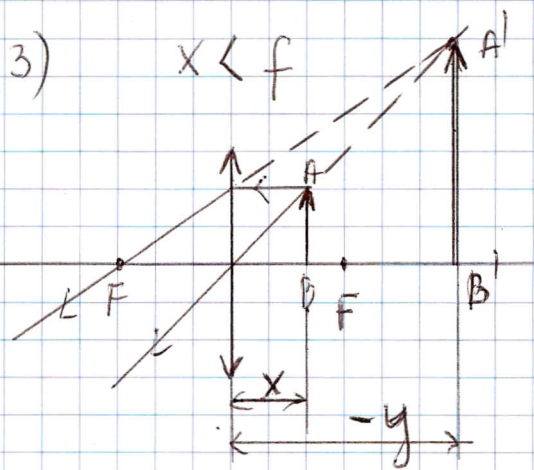
$A'B'$  - obraz rzeczywisty, pomniejszony, odwrócony

2)  $f < x < 2f$



$A'B'$  - obraz rzeczywisty, powiększony, odwrócony

3)  $x < f$



$A'B'$  - obraz pozorny ( $y < 0$ )  
powiększony, prosty

Obraz pozorny powstaje, gdy przebiega się przedłużenie promieni zbieżnych w soczewce

Obraz rzeczywisty ( $y > 0$ ) - gdy przebiega się promienie zbieżne po przejściu przez soczewkę

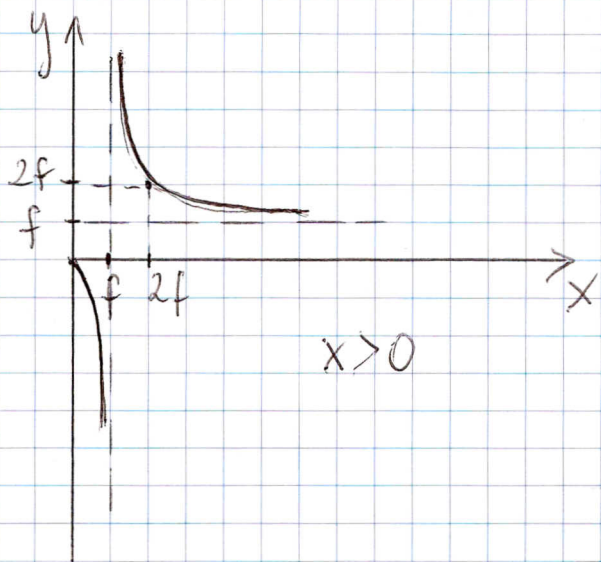
Wzłoses zależności  $y = f(x)$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$$

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{f} - \frac{1}{x}$$

$$\frac{1}{y} = \frac{x-f}{fx}$$

$$y = \frac{fx}{x-f}$$



$x < f$ :  $y < 0$  - obraz pozorny, powiększony, prosty

$x = f$  - obraz nie powstaje

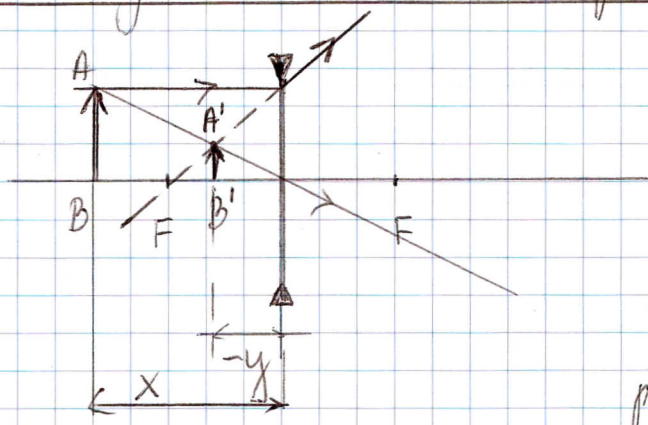
$f < x < 2f$ :  $y > 0$  - obraz rzeczywisty, powiększony, odwrócony

$x = 2f$ :  $y = x$  - obraz rzeczywisty, tej samej wielkości, odwrócony

$x > 2f$ : obraz rzeczywisty, pomniejszony, odwrócony



# Obrazy w soczewkach rozpraszających



$A'B'$  - obraz powroty, pomniejszony, prosty

Obraz powstaje po tej samej stronie soczewki, co przedmiot, przebiega stąd przedziwnie promieni zbieżności.

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{x} - \frac{1}{y}$$

W soczewkach tylko powstaje obraz tylko jednego rodzaju.

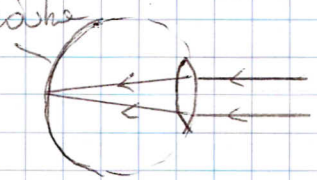
## Oko

Dla zdrowego oka obraz powstaje na siatkówce. Obraz jest rzeczywisty, pomniejszony i odwrócony (nieodwróconej). Odległość przedmiotu od soczewki, zwane odległością dobrego widzenia wynosi ok. 25 cm ( $x = 25$  cm).

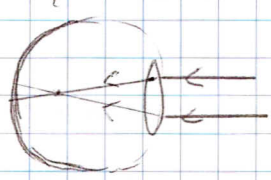
Dla krótkowidza obraz powstaje przed siatkówką. Należy użyć okularów z soczewką rozpraszającą ( $Z < 0$  np.  $Z = -120$ ).

Dla dalekowidza obraz powstaje za siatkówką. Okulary dla dalekowidza muszą mieć soczewki skupiające ( $Z > 0$ ).

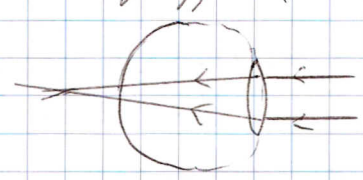
siatkówka



zdrowe oko



krótkowidz



dalekowidz

## Lupa

jest to soczewka skupiająca, która umieszczamy między okiem i przedmiotem tak, aby jej odległość od przedmiotu  $x < f$ . Powstaje obraz powroty, powiększony i prosty

Powiększenie linowe otrzymujemy obrotu:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$$

$y < 0$  - obraz powroty

$$p = \frac{|y|}{x} \Rightarrow x = \frac{|y|}{p}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{y}{p}} - \frac{1}{y}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{p}{y} - \frac{1}{y}$$

$$p = \frac{y}{f} + 1$$

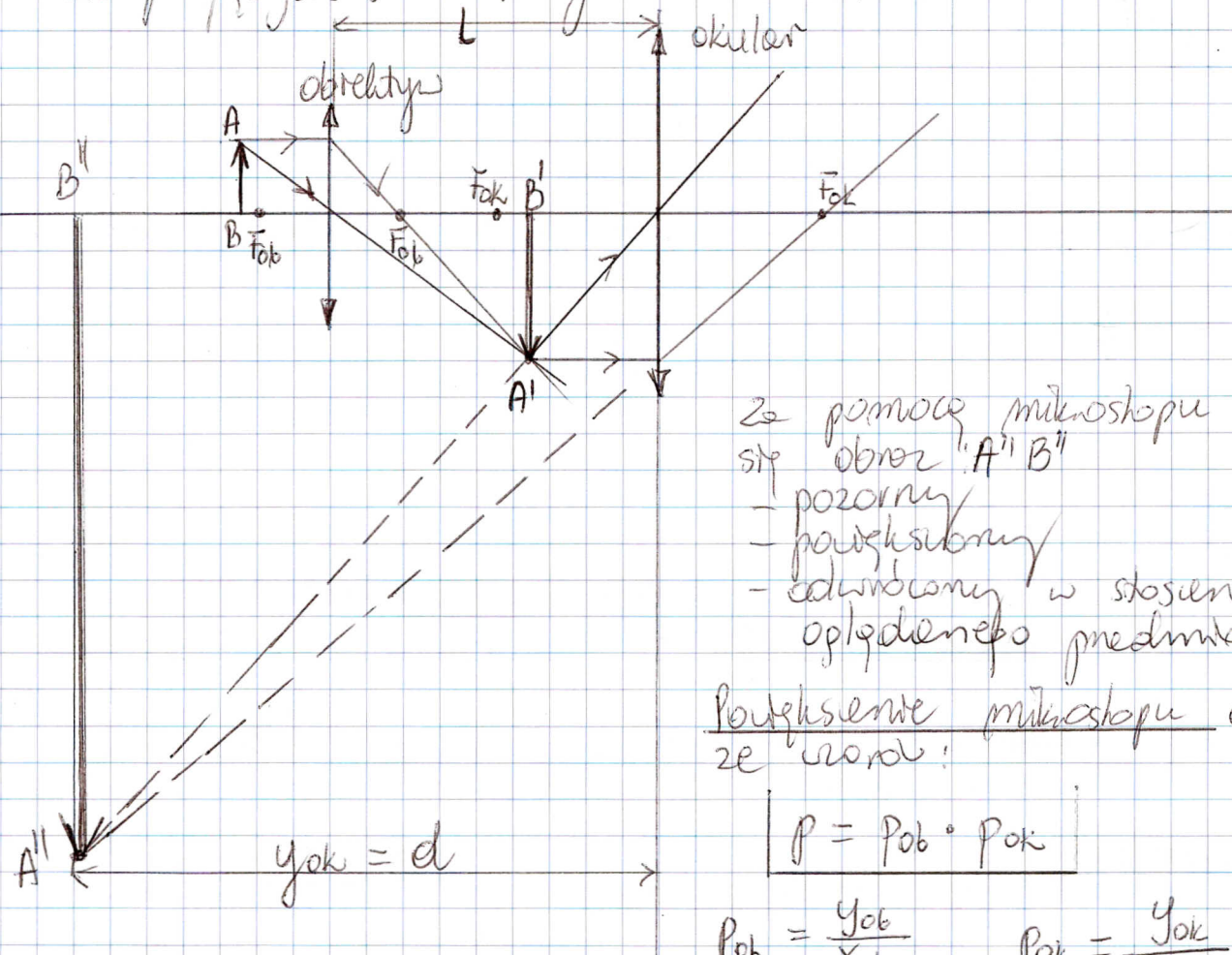
$y = d$  - odległość dobrego widzenia

$$p = \frac{d}{f} + 1$$



# Mikroskop

Układ optyczny mikroskopu składa się z dwóch soczewek skupiających - obiektywu i okularu.



Za pomocą mikroskopu otrzymuje się obraz  $A''B''$

- pozorny
- powiększony
- odwrócony w stosunku do oglądanego przedmiotu  $AB$

Powiększenie mikroskopu obliczamy ze wzoru:

$$P = P_{ob} \cdot P_{ok}$$

$$P_{ob} = \frac{y_{ob}}{x_{ob}}$$

$$P_{ok} = \frac{y_{ok}}{x_{ok}} = \frac{d}{x_{ok}}$$

Prybliżony wzór:

$$P = \frac{L \cdot d}{f_{ob} \cdot f_{ok}}$$

$L$  - odległość między obiektywem a okularu - długość tubusa

$d$  - odległość dobrego widzenia

$f_{ob}$  - ogniskowa obiektywu

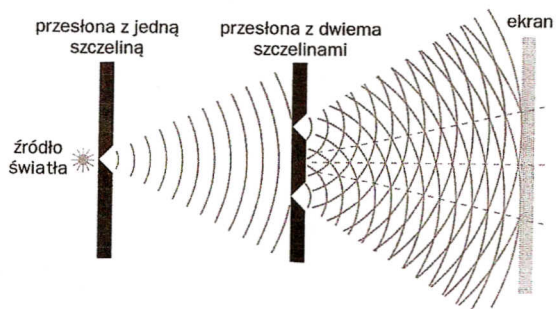
$f_{ok}$  - ogniskowa okularu



# Dyfrakcja i interferencja światła

(11)

Doświadczenie Younga, które świadczyło o faliowej naturze światła.



Na drodze monochromatycznej wiązki światła ustawia się dwa przeprody:

- 1) w pierwszej znajduje się jedna szczelina
- 2) w drugiej znajduje się dwie szczeliny w bardzo małej odległości.

Zgodnie z zasadą Huygensa każde światło staje się źródłem fali kulistej. Po przejściu światła przez drugą przesłonę powstaje dwie fale kuliste, które interferują ze sobą (mają one tę samą długość fali). Fale te są spójne. Interferencja fal powoduje, że na ekranie ustawionym za przeprodami powstają stałe, równoległe do siebie jasne i ciemne prążki, tzw. prążki interferencyjne.

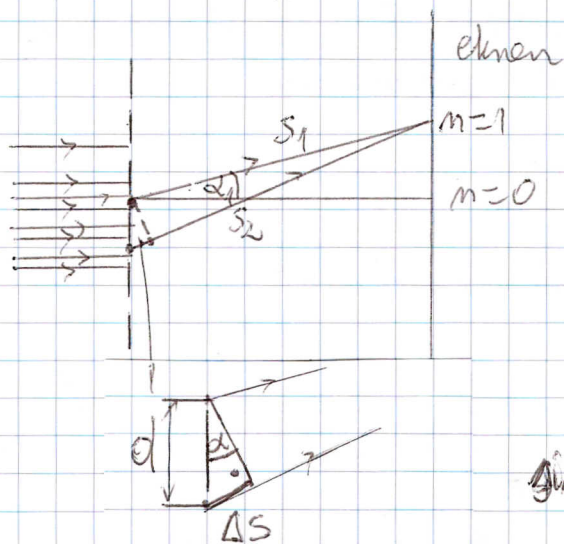
Jasne prążki powstają, gdy mają one tę samą długość fali o tej samej fazie - następuje wzmocnienie. Ciemne prążki na ekranie powstają, gdy spotykają się fale o przeciwnych fazach - następuje wygaszenie fali.

## Interferencja za pomocą siatki dyfrakcyjnej

jest to płytka z przerzynkami materiału, na której wykonano w równych odstępach rysy, stanowiące przeprody między prążkami światła.

stała siatki:  $d = \frac{1 \text{ mm}}{\text{ilość rys}}$  np. gdy jest 500 rys na 1 mm

$$d = \frac{1 \text{ mm}}{500} = \frac{10^{-3} \text{ m}}{500}$$



Dla interferujących fal maksymalne wzmocnienie występuje o punktach, dla których różnica odległości od szczelin jest całkowitą wielokrotnością długości fali:

$$\Delta S = |S_1 - S_2| = m \cdot \lambda$$

$$\sin \alpha = \frac{\Delta S}{d}$$

$$\sin \alpha = \frac{m \cdot \lambda}{d}$$

$$m \cdot \lambda = d \sin \alpha$$



Warunek umocnienia dla siatki dyfrakcyjnej:

$$m \cdot \lambda = d \sin \alpha$$

$m = 0, 1, 2, 3, \dots$  - nr prążka, rząd ugięcia

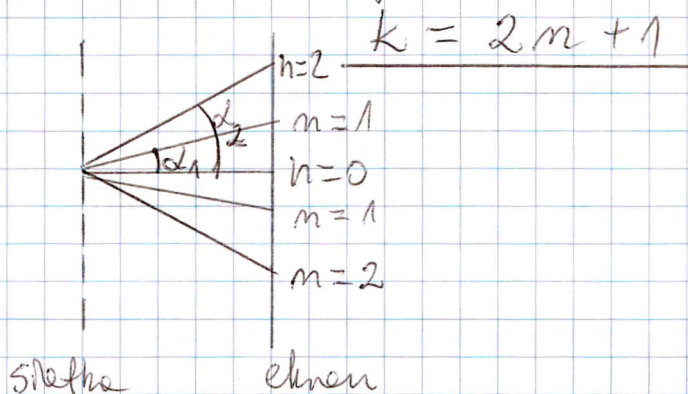
$\lambda$  - długość fali światła

$d$  - stała siatki dyfrakcyjnej

$\alpha$  - kąt ugięcia prążka

Maksymalny rząd ugięcia -  $m_{\max}$  gdy  $\sin \alpha = 1$   $\alpha = 90^\circ$

Wzrost ilości prążków widocznych na ekranie:



Zjawisko polaryzacji światła:

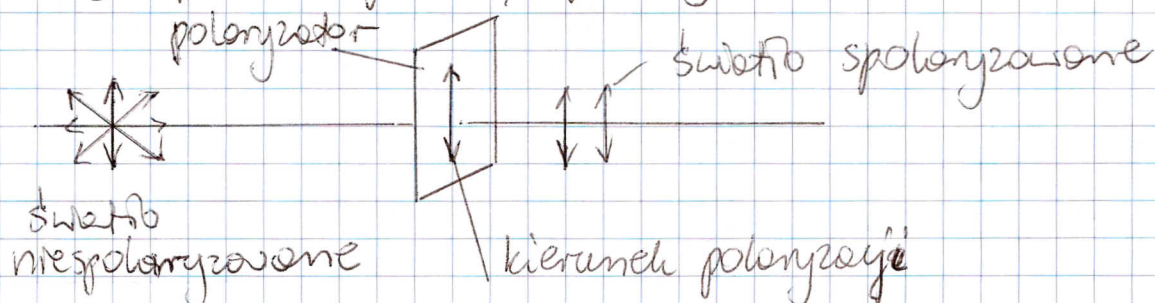
Światło emitowane przez źródło makroskopowe jest mieszaniną fal, których kierunki drgań wektorów natężenia pola elektrycznego  $\vec{E}$  i wektorów indukcji  $\vec{B}$  są różne, ale zawsze prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali (fala elektromagnetyczna jest falą poprzeczną).

O takim świetle mówimy, że jest niespolaryzowane.

Oko ludzkie jest wrażliwe na zmiany natężenia pola elektrycznego  $\vec{E}$ .

Światło jest spolaryzowane jeżeli wektor  $\vec{E}$  leży w jednej płaszczyźnie  $\downarrow \vec{E}$ , zwanej płaszczyzną polaryzacji.

1) Polaryzacja za pomocą polaryzatorów





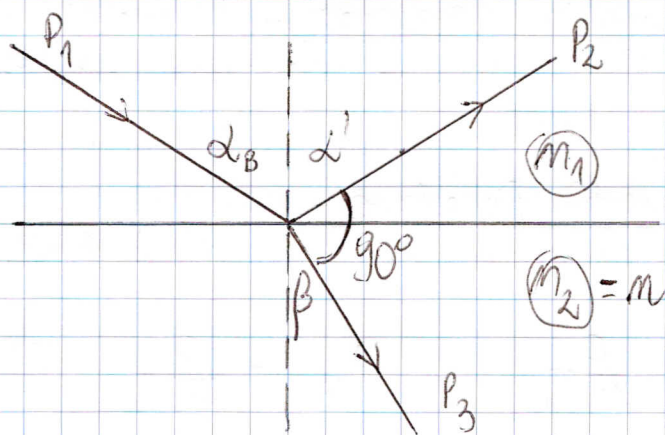
Polarizator przepuszcza tylko taką część, dla której kierunek wektora  $\vec{E}$  jest zgodny z kierunkiem polaryzacji.

Jeśli światło spolaryzowane pada na drugi polarizator o innym kierunku polaryzacji, część energii zostanie przetrzymana w kierunku tego polarizatora, a część przechodząca jest spolaryzowana zgodnie z jego kierunkiem polaryzacji.

Jeśli kierunki polaryzacji będą prostopadłe dla dwóch polarizatorów, to światło może być całkowicie pochłonięte.

Polarizatorami mogą być: przezroczyste dielektryki, poloidy uzyskane przez fotografię, kalcyt.

## 2) Polaryzacja przez odbicie



$P_1$  - promień niespolaryzowany  
 $P_2$  - promień odbity spolaryzowany  
 $P_3$  - promień załamany niespolaryzowany

Promień odbity jest spolaryzowany, jeżeli kąt między promieniem odbitym i promieniem załamanym jest równy  $90^\circ$ .

Kąt padania dla którego promień załamany tworzy z promieniem odbitym  $90^\circ$  nazywamy kątem Brewstera  $\alpha_B$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\beta = 180^\circ - 90^\circ - \alpha' \quad \alpha' = \alpha$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin (90^\circ - \alpha_B)} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\boxed{\tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}}$$

$$\frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = \frac{n_2}{n_1}$$

jeżeli  $n_1 = 1$  - powietrze lub próżnia

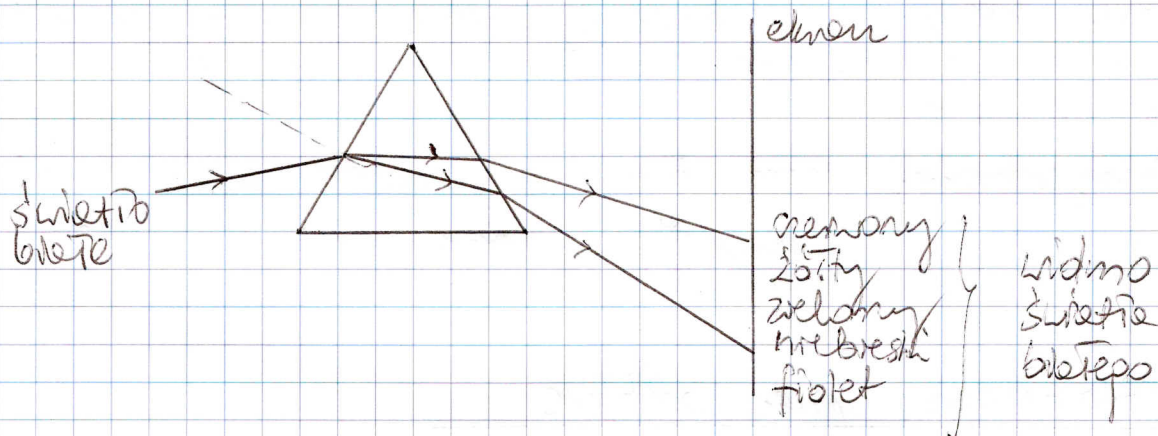
$$\boxed{\tan \alpha_B = n}$$



# Rozszczepienie światła białego

Światło białe jest mieszaniną światła o różnych długościach fal (różnych częstotliwościach). A więc współczynnik załamania dla różnych barw są różne.

## 1) Rozszczepienie za pomocą pryzmatu



Najślabiej załamuje się światło czerwone - najmniejsza współczynnik załamania - największa prędkość tej barwy w pryzmacie

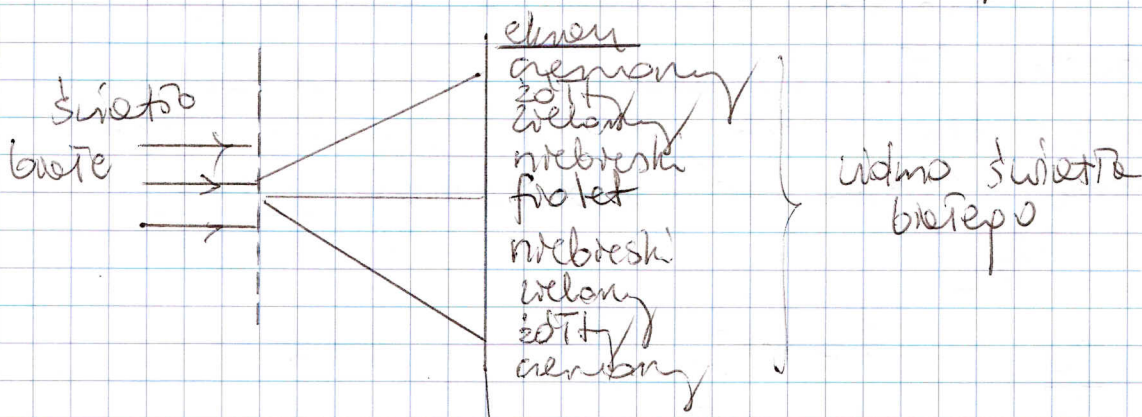
Najsilniej załamuje się światło fioletowe - największy współczynnik załamania - najmniejsza prędkość w pryzmacie

$$v = \frac{c}{n}$$

$$v_{\min} = \frac{c}{n_{\max}}$$

$$v_{\max} = \frac{c}{n_{\min}}$$

## 2) Rozszczepienie w siatce dyfrakcyjnej



Najsilniej załamuje się barwa czerwona.

Najślabiej barwa fioletowa, które znajduje się najbliżej prostej zerowej m.c.o.