

WSTĘP DO OPTYKI FOURIEROWSKIEJ

dr hab. Rafał Kasztelanic

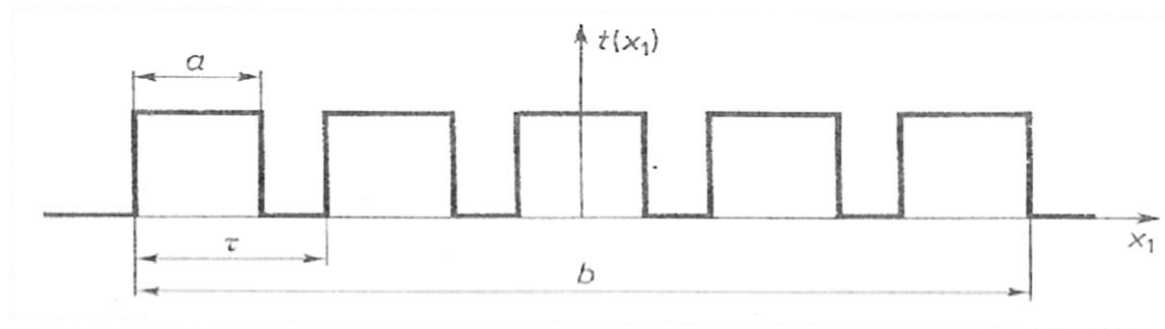
WYKŁAD 7

Siatka dyfrakcyjna

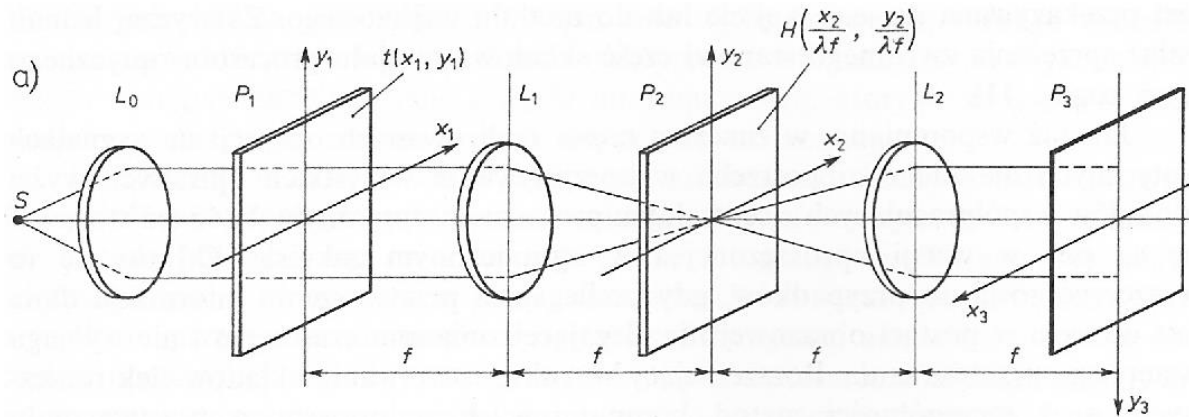
Rozważamy jak zmienia się obraz siatki dyfrakcyjnej po filtracji:

Siatka dyfrakcyjna:

$$t(x_1) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{x_1 - m\tau}{a}\right) \text{rect}\left(\frac{x_1}{b}\right)$$



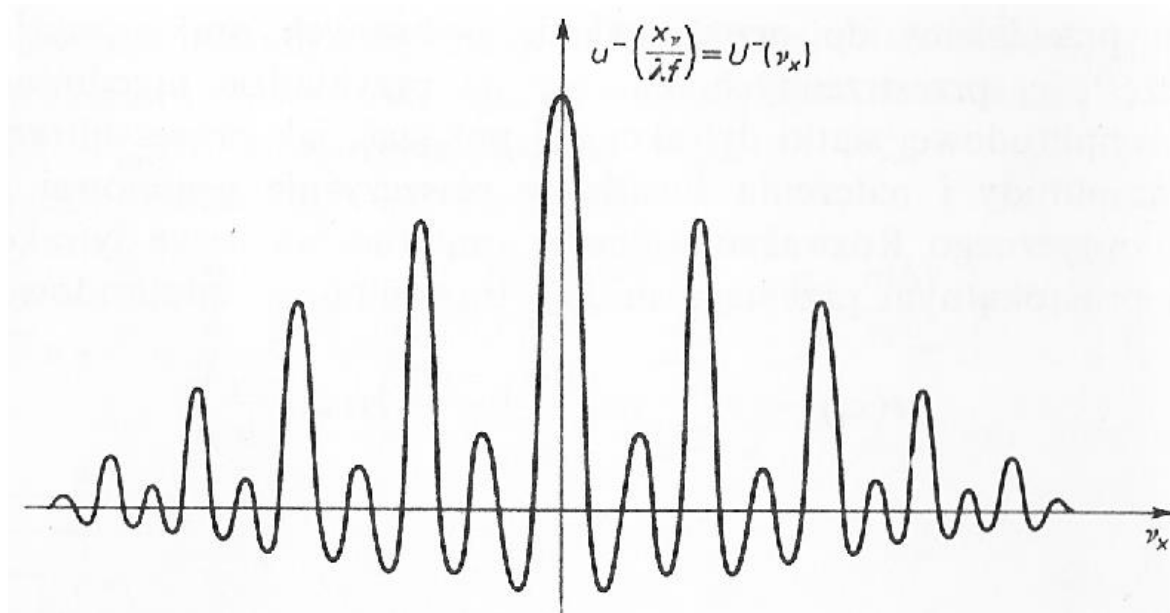
Układ do filtracji:



Siatka dyfrakcyjna

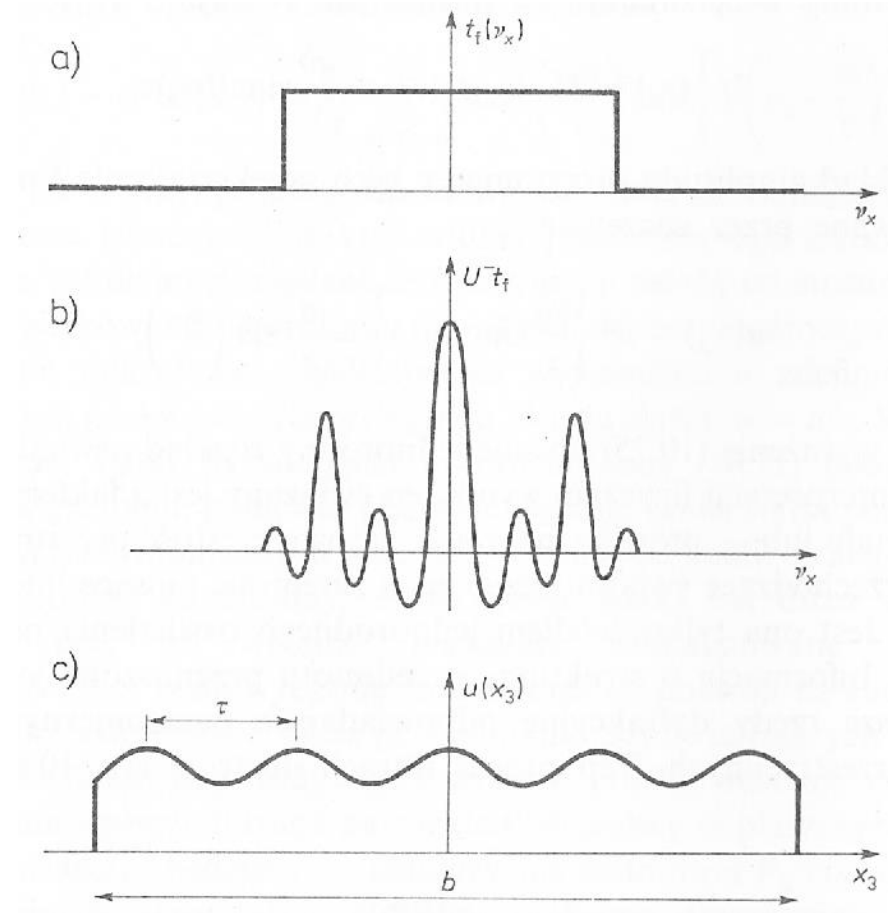
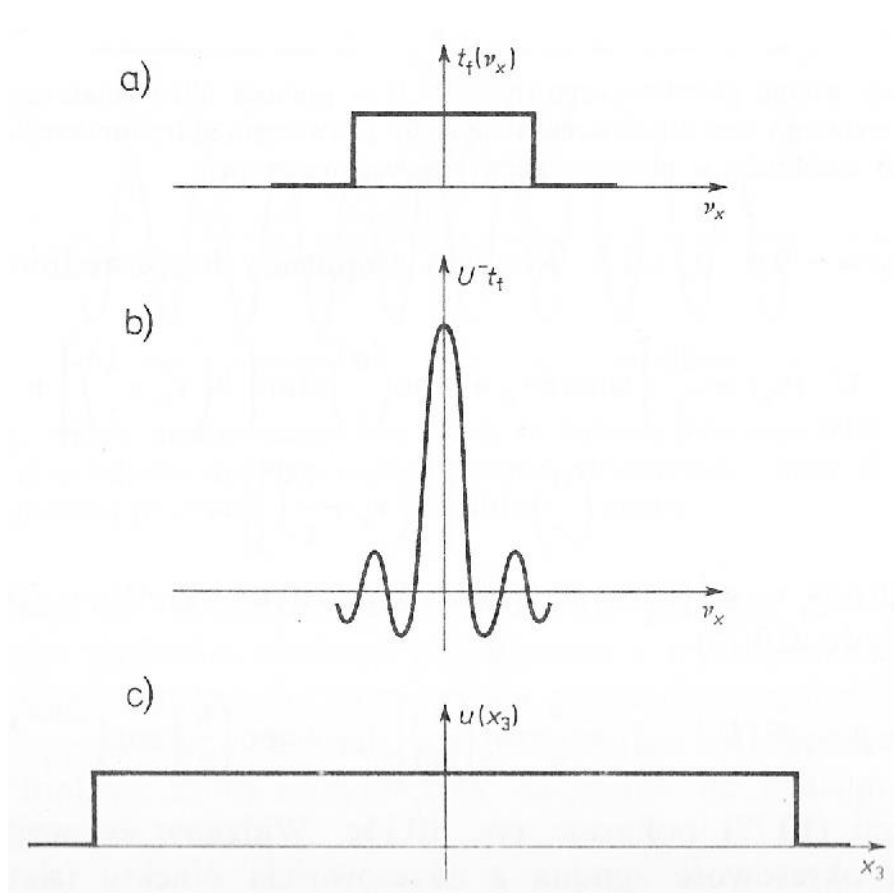
Sygnał w płaszczyźnie fourierowskiej:

$$U^-(v_x) \sim \mathcal{F}\{t(x_1)\} = \frac{ab}{\tau} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \operatorname{sinc}\left(\frac{am}{\tau}\right) \operatorname{sinc}\left[b\left(v_x - \frac{m}{\tau}\right)\right]$$

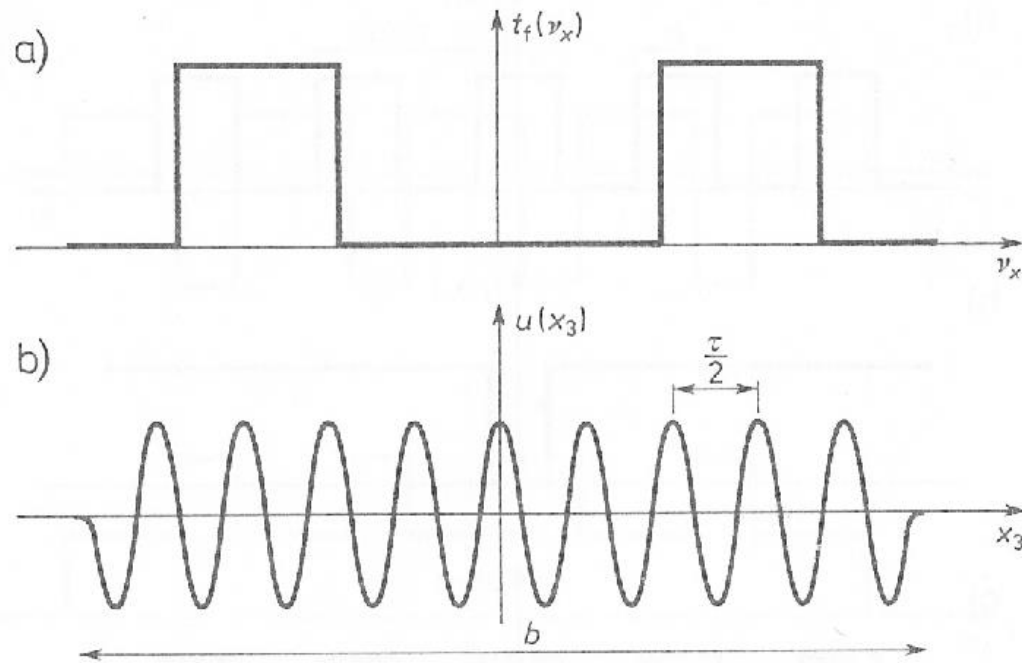


Siatka dyfrakcyjna

Filtracja dolnoprzepustowa:

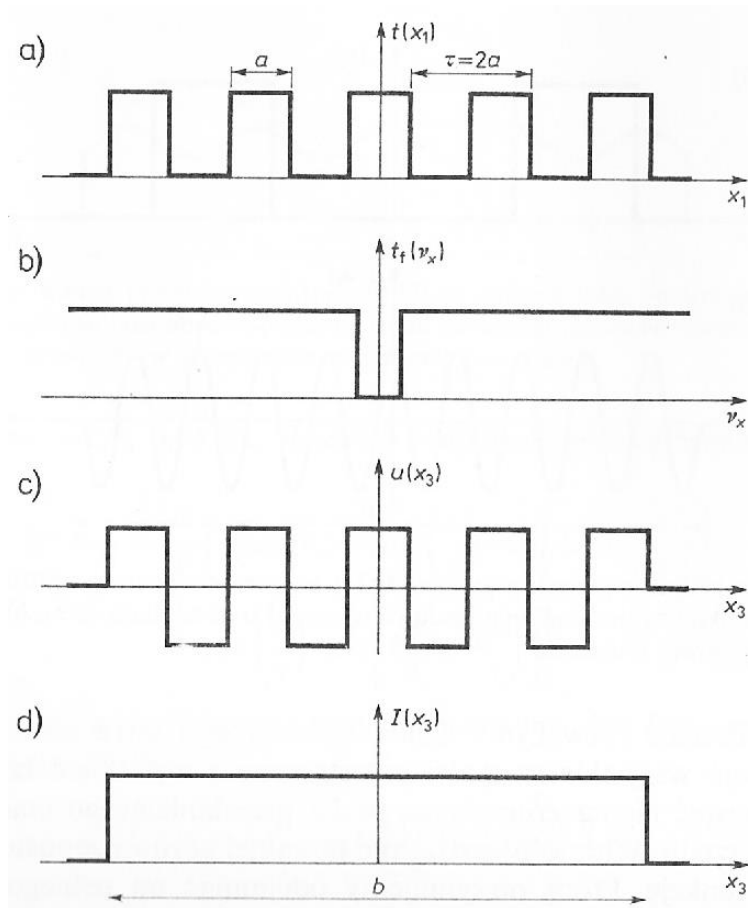


Filtracja środkowoprzepustowa:

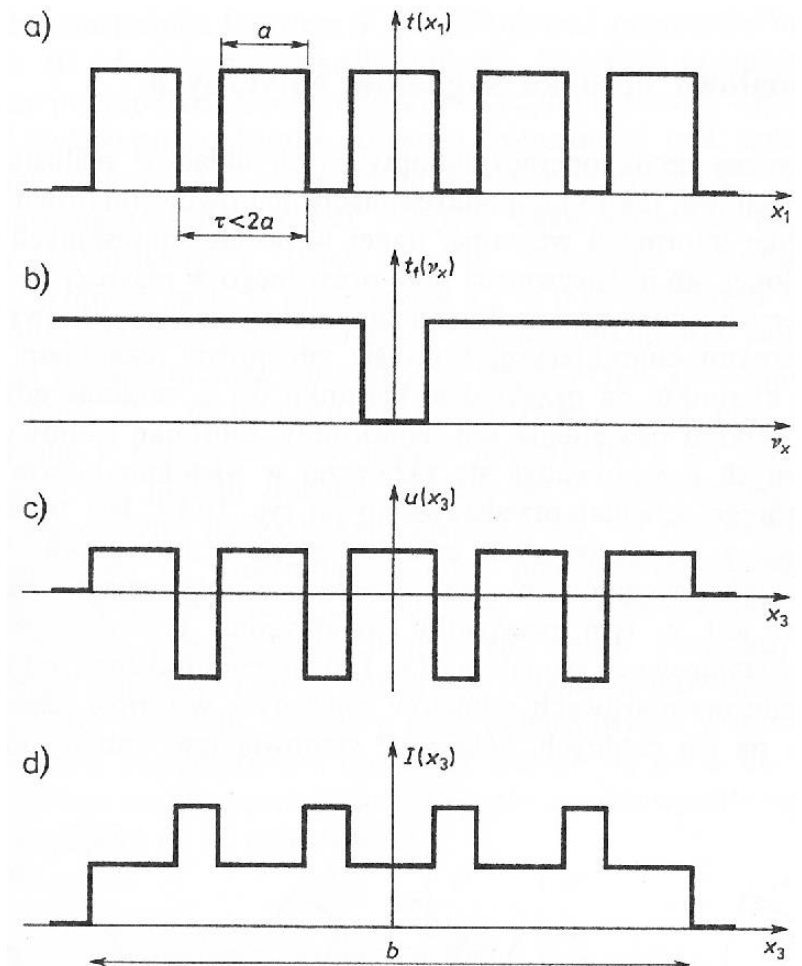


Siatka dyfrakcyjna

Filtracja górnoprzepustowa:

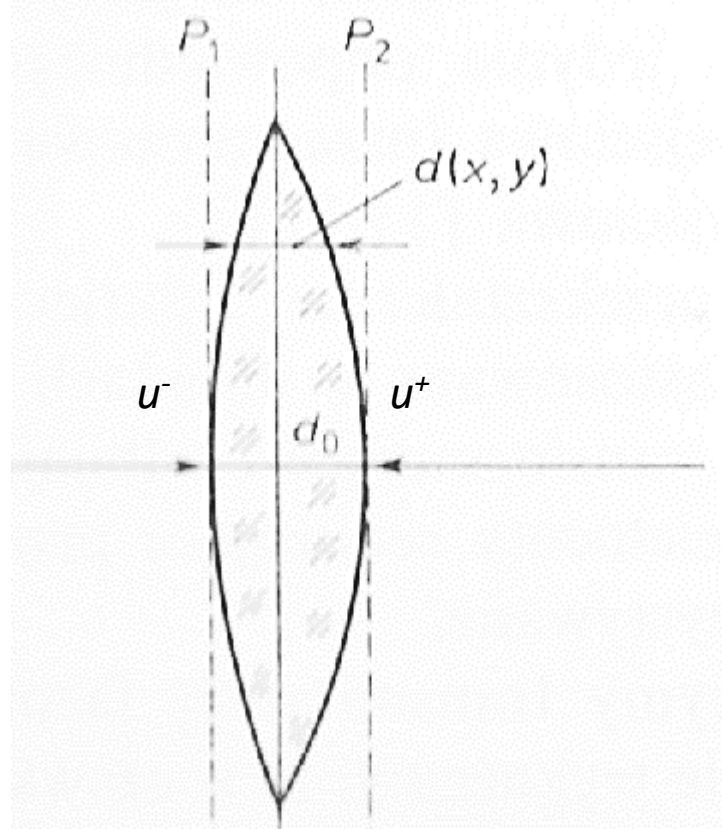


Jednorodne natężenie



odwrócenie kontrastu

Soczewka – przekształcenie fazy fali świetlnej



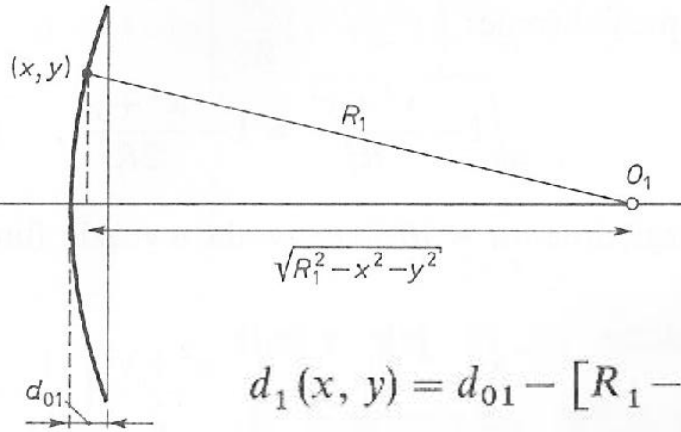
$$u^+(x, y) = \exp[i\varphi(x, y)] u^-(x, y)$$

$$\varphi(x, y) = knd(x, y) + k[d_0 - d(x, y)]$$

$$d(x, y) = d_1(x, y) + d_2(x, y),$$

Soczewka – przekształcenie fazy fali świetlnej

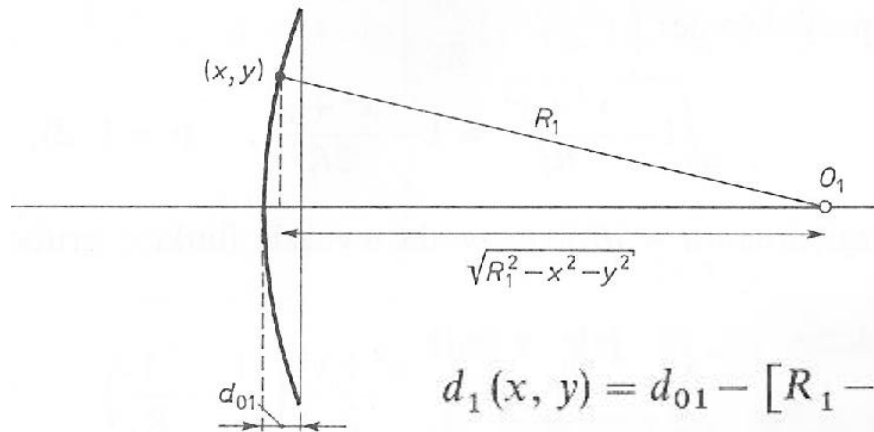
$$d(x, y) = d_1(x, y) + d_2(x, y),$$



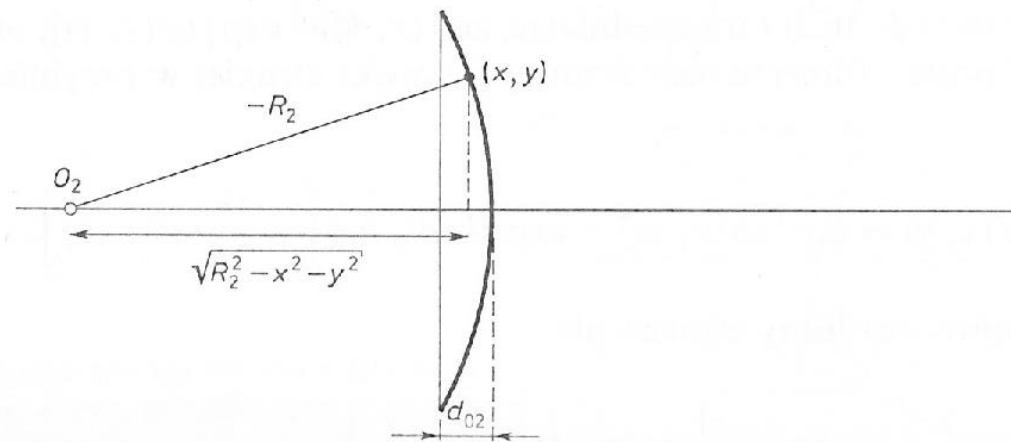
$$d_1(x, y) = d_{01} - [R_1 - \sqrt{R_1^2 - (x^2 + y^2)}] = d_{01} - R_1 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{x^2 + y^2}{R_1^2}} \right]$$

Soczewka – przekształcenie fazy fali świetlnej

$$d(x, y) = d_1(x, y) + d_2(x, y),$$



$$d_1(x, y) = d_{01} - [R_1 - \sqrt{R_1^2 - (x^2 + y^2)}] = d_{01} - R_1 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{x^2 + y^2}{R_1^2}} \right]$$



$$d_2(x, y) = d_{02} - [-R_2 - \sqrt{R_2^2 - (x^2 + y^2)}] = d_{02} + R_2 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{x^2 + y^2}{R_2^2}} \right]$$

Soczewka – przekształcenie fazy fali świetlnej

Dodajemy:

$$d(x, y) = d_0 - R_1 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{x^2 + y^2}{R_1^2}} \right) + R_2 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{x^2 + y^2}{R_2^2}} \right).$$

Stosując przybliżenie przyosiowe:

$$\sqrt{1 - \frac{x^2 + y^2}{R_i^2}} \approx 1 - \frac{x^2 + y^2}{2R_i^2}, \quad (i = 1, 2),$$

Dostajemy:

$$d(x, y) = d_0 - \frac{x^2 + y^2}{2} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

Soczewka zmienia fazę fali świetlnej: $t(x, y) = \exp[i\varphi(x, y)],$

$$t(x, y) = \exp[i\varphi(x, y)] = \exp(iknd_0) \exp\left[-\frac{ik}{2f}(x^2 + y^2)\right]$$

gdzie: $\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$

Soczewka – przekształcenie fazy fali świetlnej

Rozważmy falę płaską padającą prostopadle na soczewkę o ogniskowej f :

$$u^+(x, y) = A \exp(iknd_0) \exp\left[-\frac{ik}{2f}(x^2 + y^2)\right],$$

A – amplituda padającej fali (przedmiot)

Stałe przesunięcie fazy

Fala sferyczna

Soczewka – przekształcenie fazy fali świetlnej

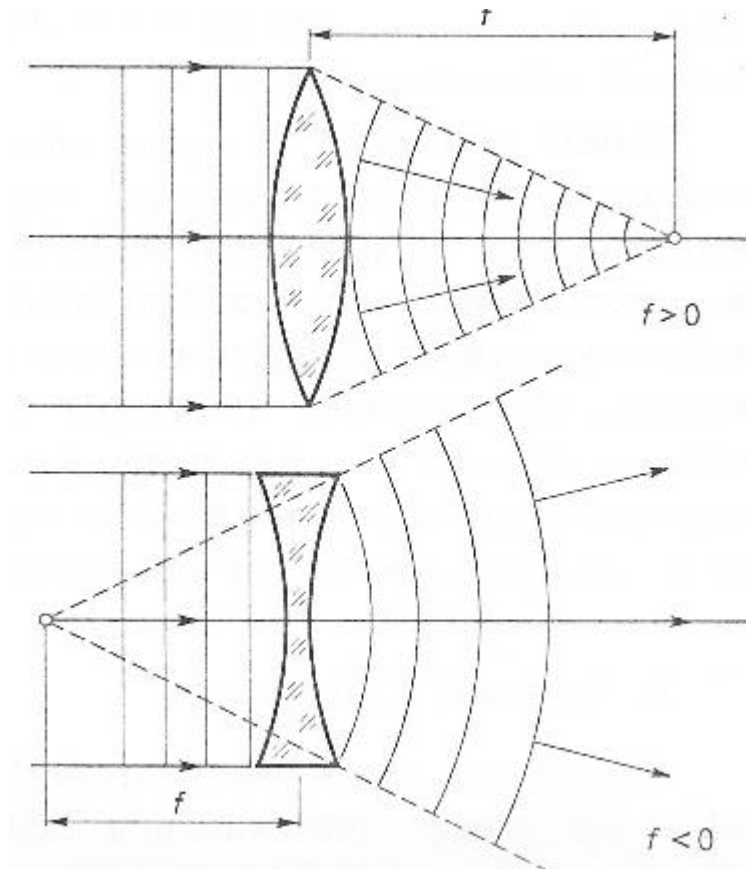
Rozważmy falę płaską padającą prostopadłe na soczewkę o ogniskowej f :

$$u^+(x, y) = A \exp(iknd_0) \exp\left[-\frac{ik}{2f}(x^2 + y^2)\right],$$

A – amplituda padającej fali (przedmiot)

Stałe przesunięcie fazy

Fala sferyczna



Soczewka – przekształcenie fazy fali świetlnej

Jeśli oświetlimy soczewkę falą sferyczną:

$$u^-(x, y) = A \exp \left[\frac{ik}{2R} (x^2 + y^2) \right],$$

R – promień krzywizny powierzchni falowej.

$$\frac{1}{R_+} = \frac{1}{R_-} - \frac{1}{f}$$

R_-, R_+ – promień krzywizny przed i za soczewką.

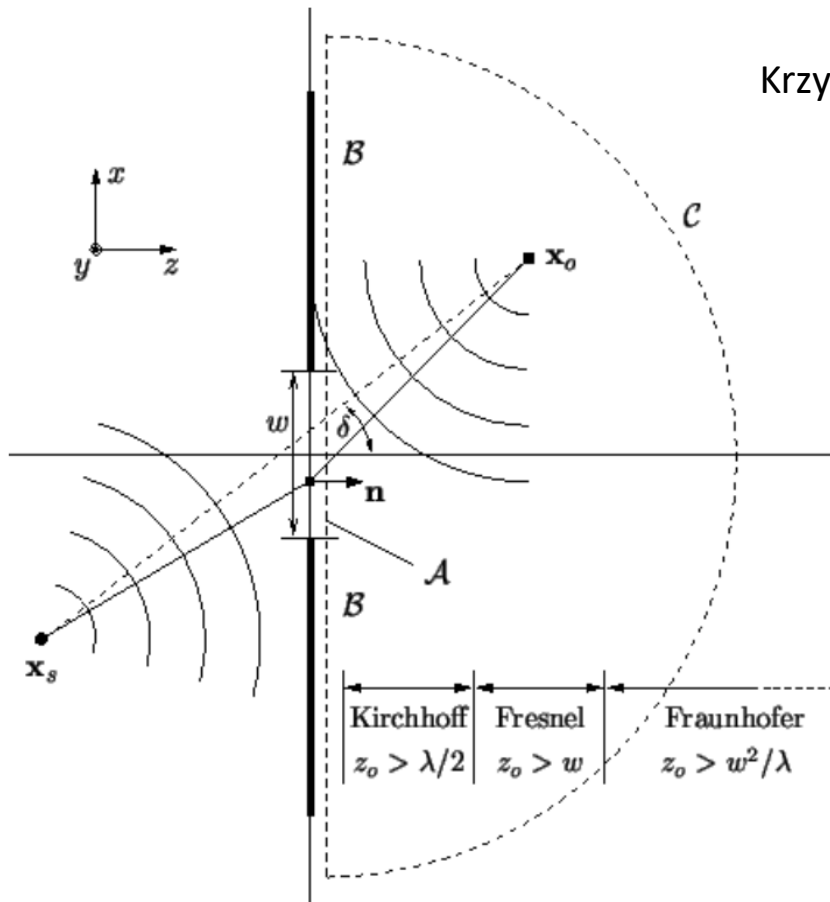
Dla $R_- = f$ dostajemy $R_+ = \infty$

Gdy uwzględnimy aperturę soczewki i pominiemy stałą fazę:

$$t(x, y) = P(x, y) \exp \left[-\frac{ik}{2f} (x^2 + y^2) \right]$$

Dyfrakcja

Rozważmy dyfrakcję na otworze o wielkości w , fali rozchodzącej się z punktu $\mathbf{x}_s$.



Krzywą zamkniętą S , po której całkujemy dzielimy na 3 części:

A - Obszar otworu

$$U(x) = U_s(x) \quad \frac{\partial U(x)}{\partial n} = \frac{\partial U_s(x)}{\partial n}$$

B – Powierzchnia ekranu

$$U(x) = 0 \quad \frac{\partial U(x)}{\partial n} = 0$$

C – ograniczenie w wolnej przestrzeni

$$\lim_{\|x\| \rightarrow \infty} \|x\| \left(\frac{\partial U(x)}{\partial n} - ikU(x) \right) = 0$$

Warunek Sommerfelda

Czyli wpływ ekranu i wolnej przestrzeni równy jest 0.

Zostaje tylko OTWÓR W EKRANIE.

$$U(x_0) = -\frac{1}{4\pi} \iint_A \left[\frac{\partial U(x)}{\partial n} G(x) - U_S(x) \frac{\partial G(x)}{\partial n} \right] ds$$

Aby rozwiązać to zagadnienie musimy poczynić kilka założeń.

- Fala wejściowa ma postać fali sferycznej:

$$U_S(x_S) = A_S \frac{e^{ik_0 r_S}}{r_S} \quad r_S = \|x_S - x\|$$

- Odległość punktu skąd startuje fala wejściowa x_S i punktu obserwacji x_0 jest dużo większa niż długość fali.

$$\lambda \ll r_0, r_S$$

- Funkcja G również ma postać fali sferycznej:

$$G(x) = \frac{e^{ik_0 r_0}}{r_0} \quad r_0 = \|x_0 - x\|$$

Dostajemy:

$$\frac{\partial U_S(x)}{\partial n} \cong ik_0 A_S \cos(n, x_S - x) \frac{e^{ik_0 r_S}}{r_S}$$

n – normalna do płaszczyzny otworu

$$\frac{\partial G(x)}{\partial n} \cong ik_0 \cos(n, x_0 - x) \frac{e^{ik_0 r_0}}{r_0}$$

i po podstawieniu do równania Helmholtza-Kirchhoffa:

$$U(x_0) = \frac{iA_S}{\lambda} \iint_A \frac{e^{ik_0(r_S+r_0)}}{r_S r_0} \left[\frac{\cos(n, x_0 - x) - \cos(n, x_S - x)}{2} \right] ds$$

Równanie to jest symetryczne, to znaczy, możemy zamienić punkty x_0 i x_S .

Jest to **twierdzenie o wzajemności Helmholtza**.

Dyfrakcja – Kirchhoffa

Wypisując jawnie współrzędne punktów (x,y) otrzymujemy:

$$U(x_0, y_0) = \iint_{x,y} h(x_0, y_0, x, y) U_S(x, y) dx dy = \iint_{x,y} h(x_0, y_0, x, y) \frac{e^{ik_S r_S}}{r_S} dx dy$$

gdzie:

$$h(x_0, y_0, x, y) = \frac{i}{\lambda} \left[\frac{\cos(n, x_0 - x) - \cos(n, x_S - x)}{2} \right] \frac{e^{ik_0 r_0}}{r_0}$$

czyli dyfrakcja zależna jest od funkcji $h(x_0, y_0, x, y)$, w której zawarte są informacje o wzajemnym położeniu punktu obserwacji i punktu skąd pochodzi fala padająca oraz od kształtu otworu, o którym informacja zawarta jest w obszarze całkowania.

Wzór ten jest prawdziwy dla odległości $z > \lambda/2$

Jest trudny do praktycznego stosowania, dlatego wprowadza się kolejne przybliżenia.

Wniosek Huygensa – dyfrakcja to złożenie fal kulistych rozchodzących się z płaszczyzny otworu

Z dokładnością do: czynnika $1/\lambda$, czynnika kierunkowego $[(\cos - \cos)/2]$, fazy $\pi/2$

Dyfrakcja – Hyugensa-Fresnela

Przyjmując:

$$\frac{\cos(n, x_0 - x) - \cos(n, x_s - x)}{2} = 1$$

Prawdziwe jeśli źródło i punkt obserwacji daleko w porównaniu z wielkością otworu

Uzyskujemy:

$$U(x_0, y_0) = \frac{i}{\lambda} \iint_{x,y} U(x, y) \frac{e^{ik_s r_s}}{r_s} dx dy$$

Dyfrakcja Hyugensa-Fresnela

czyli złożenie fal kulistych z obrębu otworu

Dyfrakcja Fresnela

Dla dużej odległości ekranu od otworu:

$$\frac{e^{ik_0 r_0}}{r_0} \approx \frac{e^{ik_0 r_0}}{z_0}$$

Dodatkowo rozwińmy w szereg Taylora wyrażenia $k_0 r_0$ z równania: $h(x_0, y_0, x, y) = \frac{i}{\lambda} \frac{e^{ik_0 r_0}}{r_0}$

$$k_0 r_0 = k_0 \sqrt{z_0^2 + (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} = k_0 z_0 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x - x_0}{z_0} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{y - y_0}{z_0} \right)^2 \mp \dots \right)$$

Biorąc tylko człony kwadratowe otrzymujemy:

$$h(x_0, y_0, x, y) \cong i \frac{e^{ik_0 z_0}}{\lambda z_0} e^{i \frac{k_0}{2z_0} ((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2)}$$

Przybliżenie prawdziwe dla: $(2z_0)^3 \gg k_0 [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2]_{max}^2$

Lub równoważnie: $z_0 \gg w$ gdzie w jest wielkością otworu.

Dyfrakcja Fraunhofera

Pomijając dalej kolejne wyrażenia:

$$\begin{aligned} k_0 r_0 &= k_0 \sqrt{z_0^2 + (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} = \\ &= k_0 z_0 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x - x_0}{z_0} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{y - y_0}{z_0} \right)^2 \mp \dots \right) = \\ &= k_0 z_0 \left(1 + \frac{x_0^2 + y_0^2}{2z_0^2} - \frac{xx_0 + yy_0}{z_0^2} + \frac{x^2 + y^2}{2z_0^2} \mp \dots \right) \end{aligned}$$

uzyskujemy:

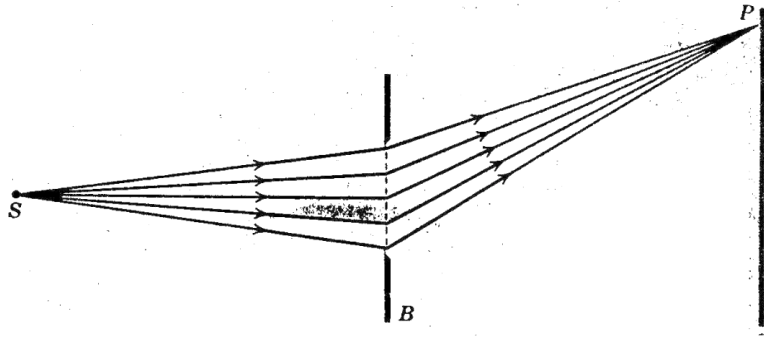
$$h(x_0, y_0, x, y) \cong i \frac{e^{ik_0 z_0}}{\lambda z_0} e^{i \frac{k_0}{2z_0} (x_0^2 + y_0^2)} e^{i \frac{k_0}{z_0} (xx_0 + yy_0)}$$

Przybliżenie prawdziwe dla: $2z_0 \gg k(x^2 + y^2)_{max}$

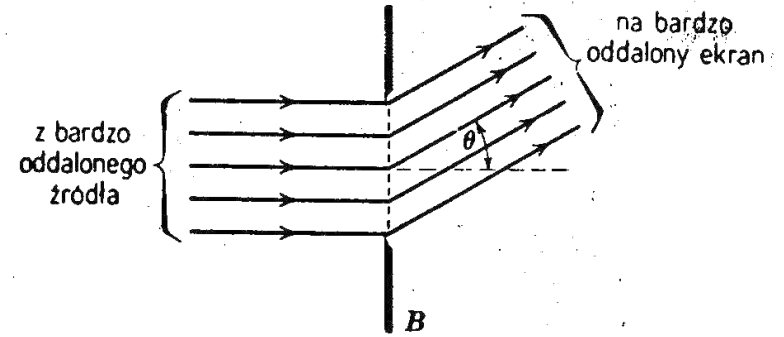
Lub równoważnie: $z_0 \gg \frac{w^2}{\lambda}$ gdzie w jest wielkością otworu.

Dyfrakcja

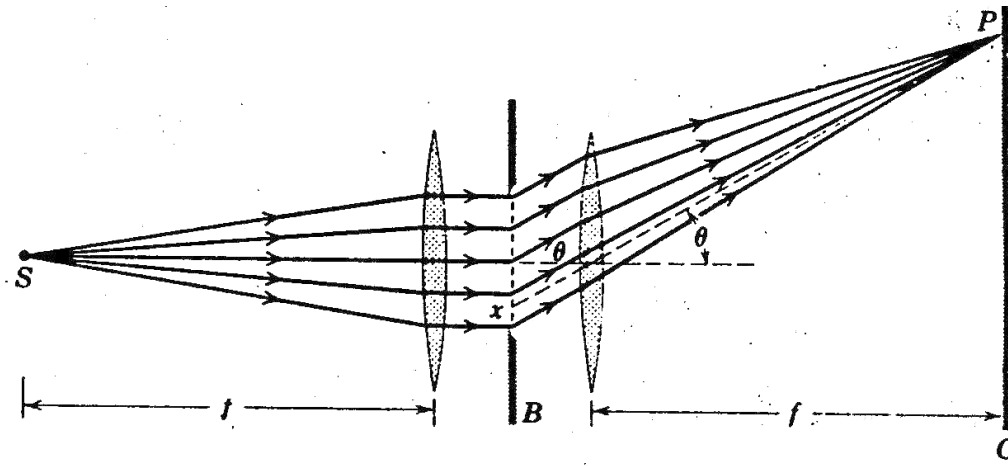
Fresnel:



Fraunchofer:



Sprowadzenie dyfrakcji Fresnela do dyfrakcji Fraunchofera:



Dyfrakcja - przykłady



en.wikipedia.org

es.123rf.com



Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

Dyfrakcja ogólnie:

$$U(x_0, y_0) = \iint_{x,y} h(x_0, y_0, x, y) U_S(x, y) dx dy$$

Dyfrakcja Fresnela:

$$h(x_0, y_0, x, y) \cong i \frac{e^{ik_0 z_0}}{\lambda z_0} e^{i \frac{k_0}{2z_0} \left((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 \right)}$$

$$(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 = x^2 + y^2 + x_0^2 + y_0^2 - 2(xx_0 + yy_0)$$

Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

Dyfrakcja ogólnie:

$$U(x_0, y_0) = \iint_{x,y} h(x_0, y_0, x, y) U_S(x, y) dx dy$$

Dyfrakcja Fresnela:

$$h(x_0, y_0, x, y) \cong i \frac{e^{ik_0 z_0}}{\lambda z_0} e^{i \frac{k_0}{2z_0} ((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2)}$$

$$(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 = x^2 + y^2 + \underbrace{x_0^2 + y_0^2}_{\substack{\uparrow \\ \text{Fraunhofer}}} - 2 \underbrace{(xx_0 + yy_0)}_{\substack{\uparrow \\ \text{Fraunhofer}}}$$

Dyfrakcja Fraunhofer:

$$h(x_0, y_0, x, y) \cong i \frac{e^{ik_0 z_0}}{\lambda z_0} e^{i \frac{k_0}{2z_0} (x_0^2 + y_0^2)} e^{i \frac{k_0}{z_0} (xx_0 + yy_0)}$$

Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

Dyfrakcja Fresnela:

$$h(x_0, y_0, x, y) = i \frac{e^{ik_0 z_0}}{\lambda z_0} e^{i \frac{k_0}{2z_0}(x^2 + y^2)} e^{i \frac{k_0}{2z_0}(x_0^2 + y_0^2)} e^{-i \frac{k_0}{2z_0}2(xx_0 + yy_0)}$$

Soczewka:

$$t(x, y) = P(x, y) \exp \left[-\frac{ik}{2f}(x^2 + y^2) \right]$$

Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

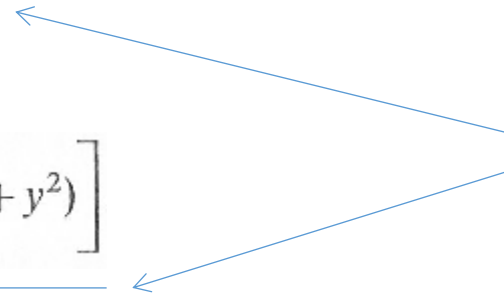
Dyfrakcja Fresnela:

$$h(x_0, y_0, x, y) = i \frac{e^{ik_0 z_0}}{\lambda z_0} e^{i \frac{k_0}{2z_0}(x^2 + y^2)} e^{i \frac{k_0}{2z_0}(x_0^2 + y_0^2)} e^{-i \frac{k_0}{2z_0} 2(xx_0 + yy_0)}$$

Soczewka:

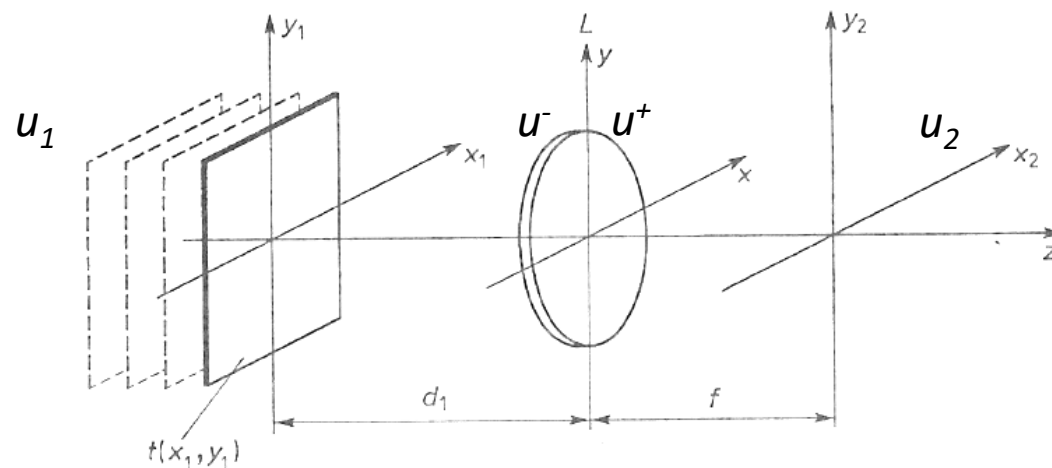
$$t(x, y) = P(x, y) \exp \left[-\frac{ik}{2f}(x^2 + y^2) \right]$$

Znoszą się !



Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

Przedmiot oświetlony falą płaską:



$$x_0 = x_2$$

$$u_1(x_1, y_1) = A t(x_1, y_1)$$

Dyfrakcja Fresnela pola u^+ :

$$u_2(x_2, y_2) = \frac{\exp(ikf)}{i\lambda f} \exp\left[\frac{ik}{2f}(x_2^2 + y_2^2)\right] \times \\ \times \iint_{-\infty}^{\infty} u^+(x, y) \exp\left[\frac{ik}{2f}(x^2 + y^2)\right] \exp\left[-\frac{ik}{f}(xx_2 + yy_2)\right] dx dy$$

Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

Pole u^+ to obraz u^- transformowany przez soczewkę:

$$u^+(x, y) = P(x, y) \exp \left[-\frac{ik}{2f} (x^2 + y^2) \right] u^-(x, y).$$

Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

Pole u^+ to obraz u^- transformowany przez soczewkę:

$$u^+(x, y) = P(x, y) \exp\left[-\frac{ik}{2f}(x^2 + y^2)\right] u^-(x, y).$$

$$u_2(x_2, y_2) = \frac{\exp(ikf)}{i\lambda f} \exp\left[\frac{ik}{2f}(x_2^2 + y_2^2)\right] \times$$

Znoszą się

$$\times \iint_{-\infty}^{\infty} u^+(x, y) \exp\left[\frac{ik}{2f}(x^2 + y^2)\right] \exp\left[-\frac{ik}{f}(xx_2 + yy_2)\right] dx dy$$

$$u_2(x_2, y_2) = C \exp\left[\frac{ik}{2f}(x_2^2 + y_2^2)\right] \iint_{-\infty}^{\infty} u^-(x, y) \exp\left[-\frac{i2\pi}{\lambda f}(xx_2 + yy_2)\right] dx dy$$

gdzie: $C = \frac{\exp(ikf)}{i\lambda f}.$

Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

$$u_2(x_2, y_2) = C \exp\left[\frac{ik}{2f}(x_2^2 + y_2^2)\right] \boxed{\iint_{-\infty}^{\infty} u^-(x, y) \exp\left[-\frac{i2\pi}{\lambda f}(xx_2 + yy_2)\right] dx dy}$$

Transformata Fouriera

$$u_2(x_2, y_2) = \frac{A}{i\lambda f} \exp\left[\frac{ik}{2f}\left(1 - \frac{d_1}{f}\right)(x_2^2 + y_2^2)\right] \times \\ \times \iint_{-\infty}^{\infty} t(x_1, y_1) \exp\left[-i\frac{2\pi}{\lambda f}(x_1x_2 + y_1y_2)\right] dx_1 dy_1$$

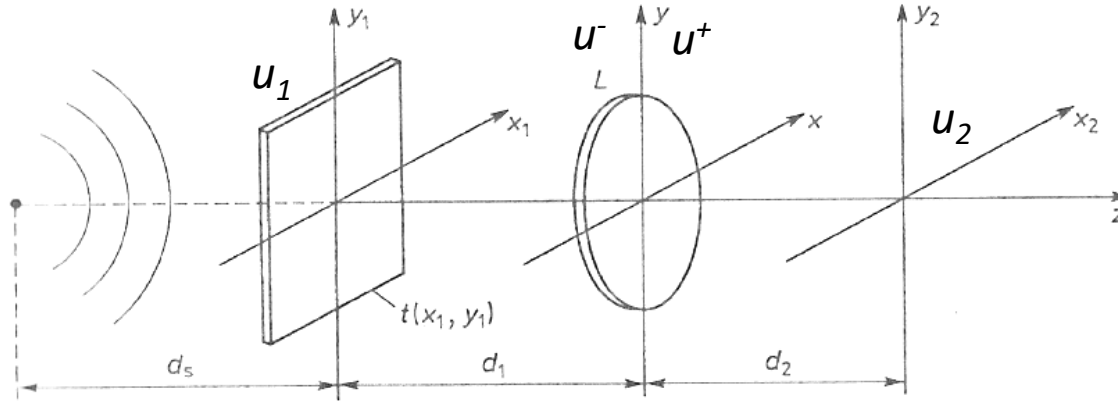
$$u_2(x_2, y_2) = \frac{A}{i\lambda f} \boxed{\exp\left[\frac{ik}{2f}\left(1 - \frac{d_1}{f}\right)(x_2^2 + y_2^2)\right]} \times \\ \times \mathcal{F}\left\{t(x_1, y_1) P\left(x_1 + \frac{d_1}{f}x_2, y_1 + \frac{d_1}{f}y_2\right)\right\},$$

←
Zeruje się gdy $d_1=f$

→
Transformata Fouriera apertury

Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

Przedmiot oświetlony falą sferyczną rozbieżną:



$$u_1(x_1, y_1) = \frac{1}{i\lambda d_s} \exp\left[\frac{ik}{2d_s}(x_1^2 + y_1^2)\right] t(x_1, y_1)$$

$$\begin{aligned} u_2(x_2, y_2) = & \frac{v}{i^2 \lambda^2 d_s d_1 d_2} \exp\left[\frac{ik}{2d_2}\left(1 - \frac{v}{d_2}\right)(x_2^2 + y_2^2)\right] \times \\ & \times \iint_{-\infty}^{\infty} t(x_1, y_1) \exp\left[\frac{ik}{2}\left(\frac{1}{d_s} + \frac{1}{d_1} - \frac{v}{d_1^2}\right)(x_1^2 + y_1^2)\right] \times \\ & \times \exp\left[-\frac{i2\pi}{\lambda}(x_1 x_2 + y_1 y_2) \frac{v}{d_1 d_2}\right] dx_1 dy_1, \end{aligned}$$

gdzie: $\frac{1}{v} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f}$.

Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

Przedmiot oświetlony falą sferyczną rozbieżną:

$$u_2(x_2, y_2) = \frac{v}{i^2 \lambda^2 d_s d_1 d_2} \exp \left[\frac{ik}{2d_2} \left(1 - \frac{v}{d_2} \right) (x_2^2 + y_2^2) \right] \times$$
$$\times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} t(x_1, y_1) \exp \left[\frac{ik}{2} \left(\frac{1}{d_s} + \frac{1}{d_1} - \frac{v}{d_1^2} \right) (x_1^2 + y_1^2) \right] \times$$
$$\times \exp \left[-\frac{i2\pi}{\lambda} (x_1 x_2 + y_1 y_2) \frac{v}{d_1 d_2} \right] dx_1 dy_1,$$

Transformata Fouriera

gdzie: $\frac{1}{v} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f}.$

kiedy to się zeruje mamy transformatę Fouriera

Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

$$\frac{1}{d_s} + \frac{1}{d_1} - \frac{v}{d_1^2} = 0$$

uwzględniając $\frac{1}{v} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f}$.

$$\frac{1}{d_3} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{f}$$

- wzór soczewkowy

$$d_3 = d_s + d_1$$

$$u_2(x_2, y_2) = \frac{1}{i\lambda f} \exp\left[\frac{ik}{2d_2} \frac{(d_1 + d_s)(f - d_1)}{d_s f} (x_2^2 + y_2^2)\right] \times$$

$$\times \iint_{-\infty}^{\infty} t(x_1, y_1) \exp\left[-\frac{i2\pi(d_s + d_1 - f)}{\lambda d_s f} (x_1 x_2 + y_1 y_2)\right] dx_1 dy_1$$

czynniki skalujący

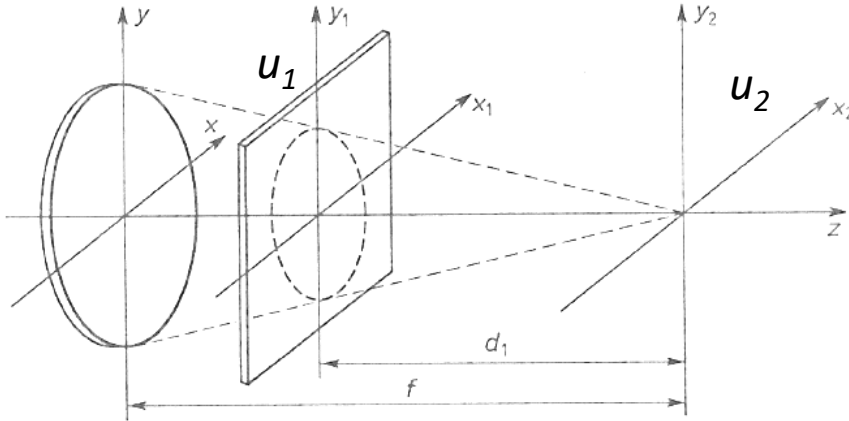
przeskalowana transformata Fouriera

Dla $d_1 = f$ skala transformata Fouriera jak przy fali płaskiej.

Zmiana skali możliwa przez zmianę: λ lub d_1

Soczewka jako element realizujący transformatę Fouriera 2D

Przedmiot oświetlony falą sferyczną zbieżną:

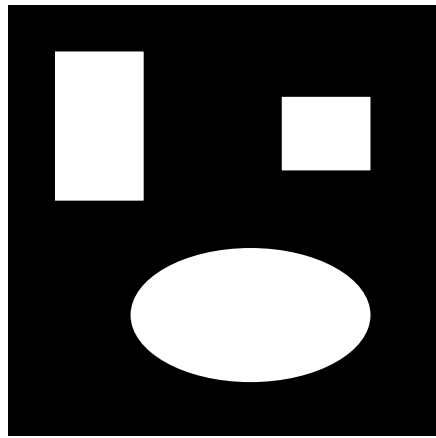


$$u_1(x_1, y_1) = \frac{Af}{d_1} \exp\left[-\frac{ik}{2d_1}(x_1^2 + y_1^2)\right] P\left(x_1 \frac{f}{d_1}, y_1 \frac{f}{d_1}\right) t(x_1, y_1).$$

$$u_2(x_2, y_2) = \frac{Af}{i\lambda d_1^2} \exp\left[\frac{ik}{2d_1}(x_2^2 + y_2^2)\right] \times \\ \times \iint_{-\infty}^{\infty} t(x_1, y_1) P\left(x_1 \frac{f}{d_1}, y_1 \frac{f}{d_1}\right) \exp\left[-\frac{i2\pi}{\lambda d_1}(x_1 x_2 + y_1 y_2)\right] dx_1 dy_1$$

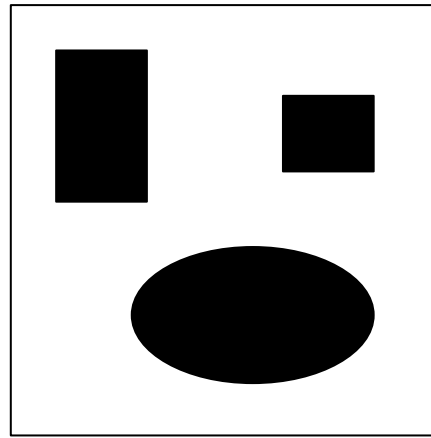
czynniki skalujący

Dyfrakcja – zasada Babineteta



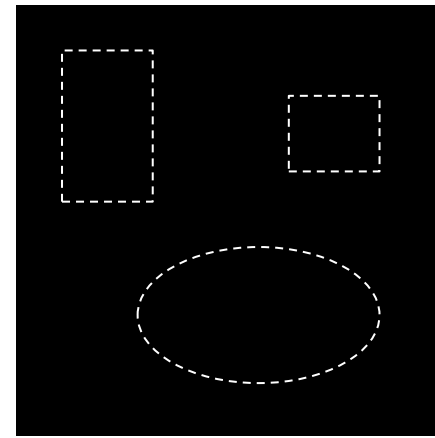
E_1

+



E_2

=



Ekrany

O

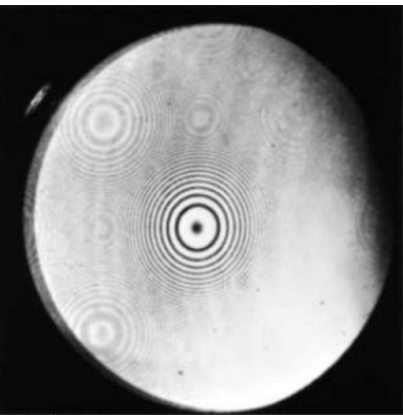
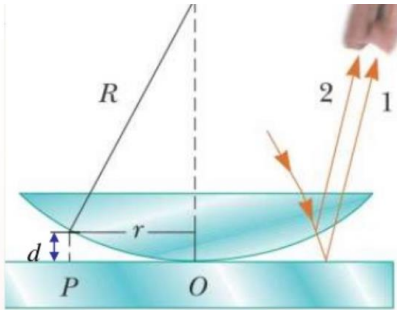
Pole na ekranie

$$E_1 + E_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad E_1 = -E_2 \quad \text{To samo tylko w przeciw fazie}$$

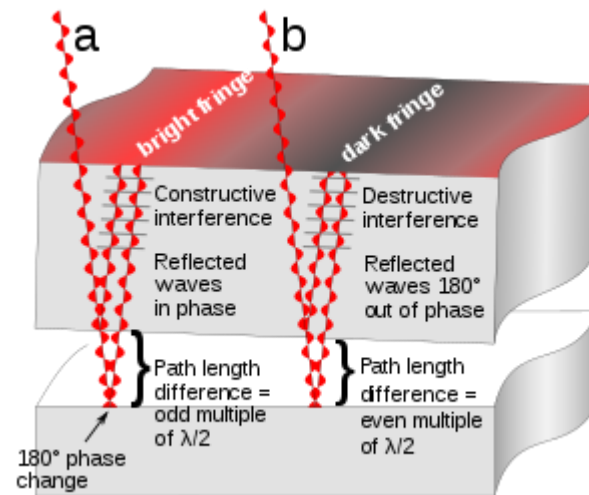
Obraz dyfrakcyjny od dwóch nawzajem uzupełniających się ekranów jest taki sam

Elementy dyfrakcyjne – soczewka Fresnela

pierścienie Newtona



- Światło przy odbiciu zmienia swoją fazę o $\pi/2$ gdy odbija się od ośrodka o wyższym współczynniku załamania
- Przy odbiciu od ośrodka o niższym współczynniku załamania faza się nie zmienia
- Przy przejściu przez granicę między ośrodkami faza się nie zmienia

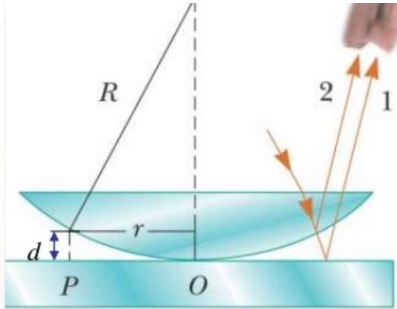


en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_rings

Czarny krążek w środku !

Elementy dyfrakcyjne – soczewka Fresnela

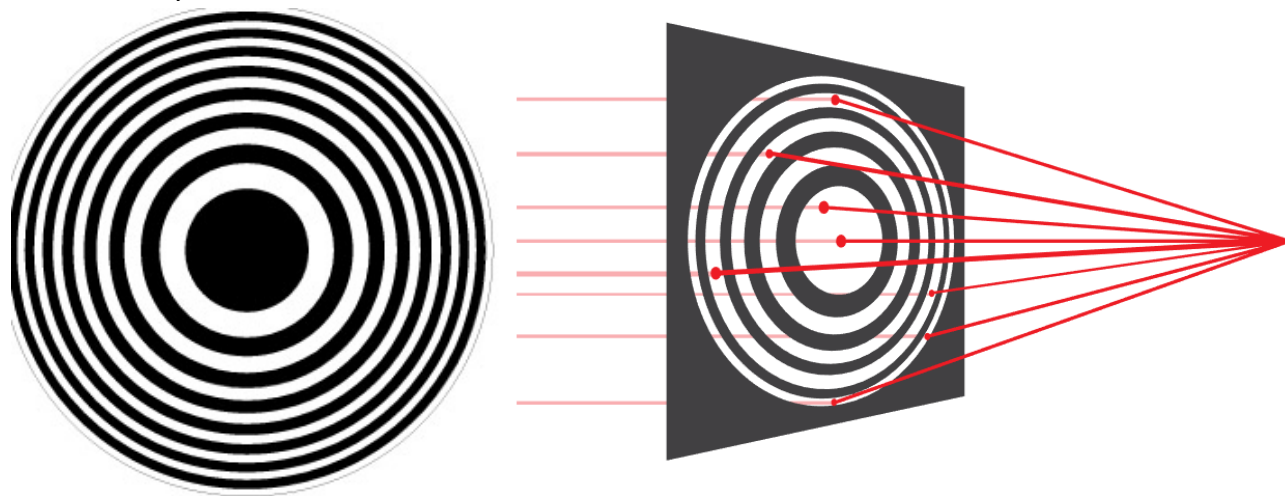
pierścienie Newtona



Soczewka Newtona

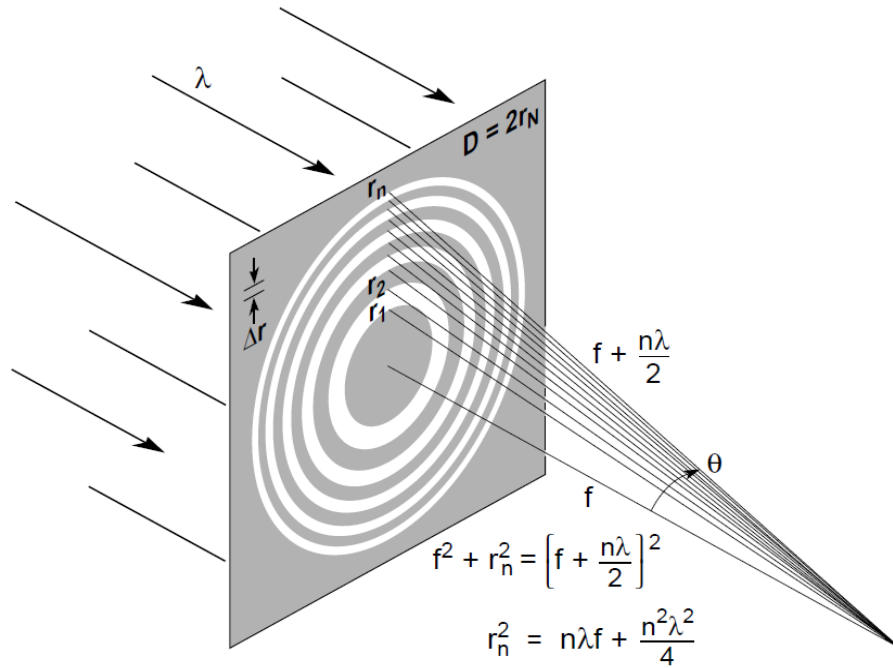
Obszar wewnątrz otworu (kołowy) mogę podzielić na strefy, z których droga optyczna do danego punktu ekranu różni się o wielokrotność połowy długości fali.

Płytki strefowa

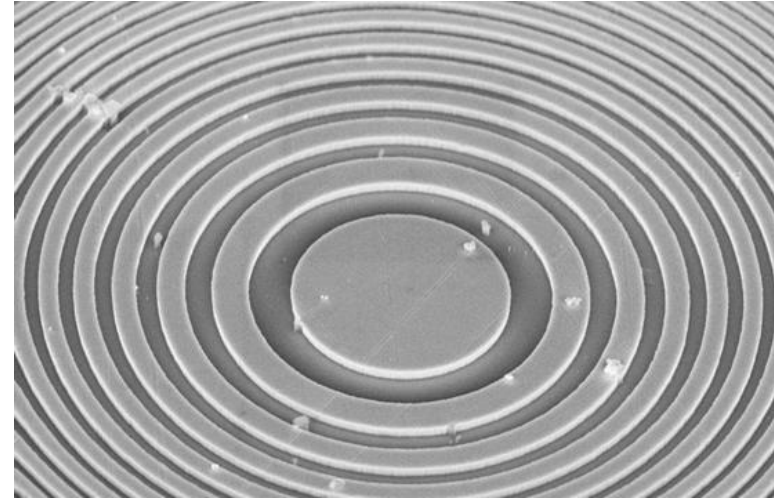


Mozemy taki element traktować jak siatkę dyfrakcyjną o tak lokalnie dobranym okresie aby ugięte promienie (1 rząd ugięcia) trafiały w ognisko.

Elementy dyfrakcyjne – soczewka Fresnela



$$r_n = \sqrt{n\lambda f + \frac{n^2\lambda^2}{4}} \approx \sqrt{n\lambda f}$$



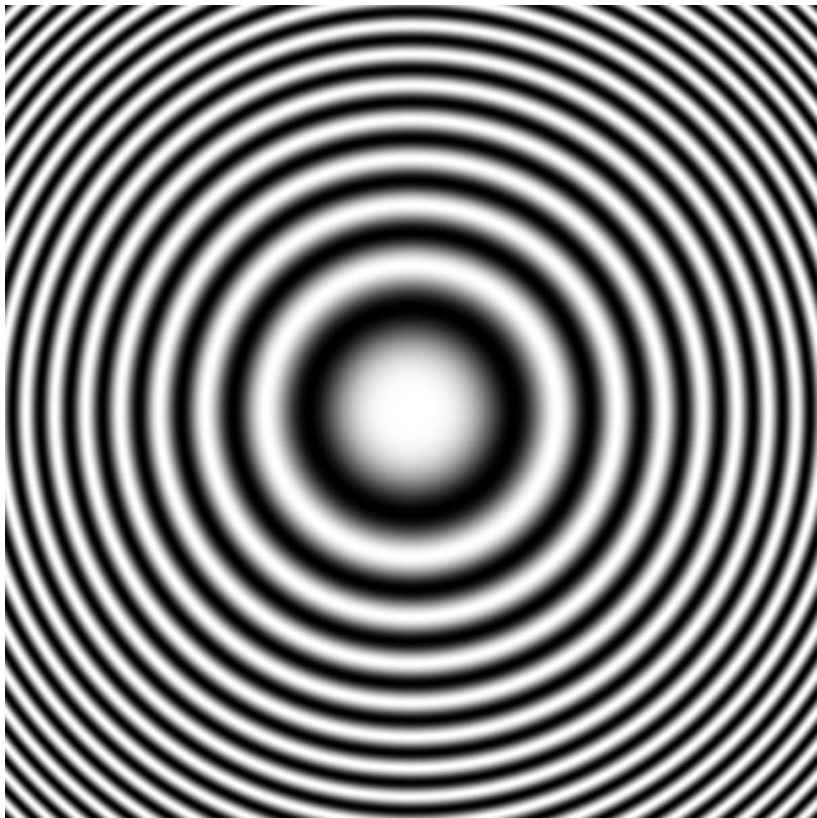
Inne warianty



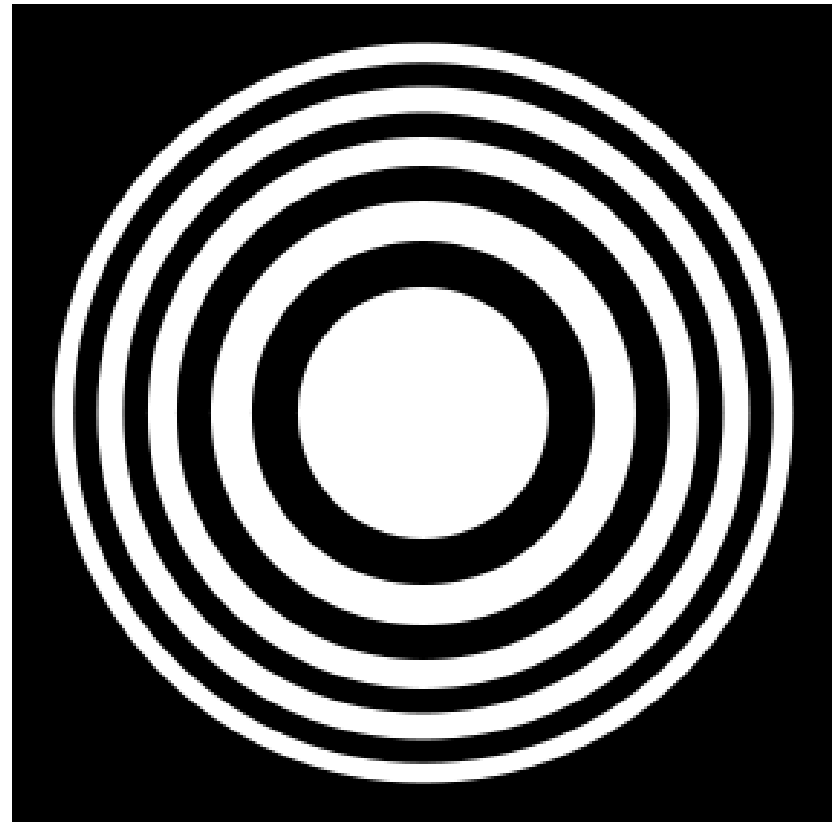
Elementy dyfrakcyjne – soczewka Fresnela

Soczewka Fresnela a płytka strefowa

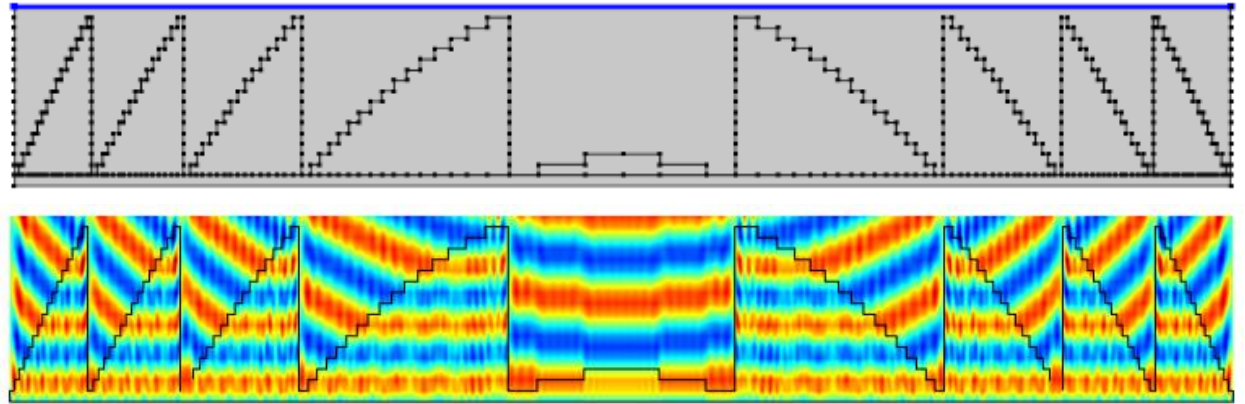
$$\frac{1 \pm \cos(kr^2)}{2}$$



$$\frac{1 \pm \operatorname{sgn}(\cos(kr^2))}{2}$$



Elementy dyfrakcyjne – soczewka Fresnela

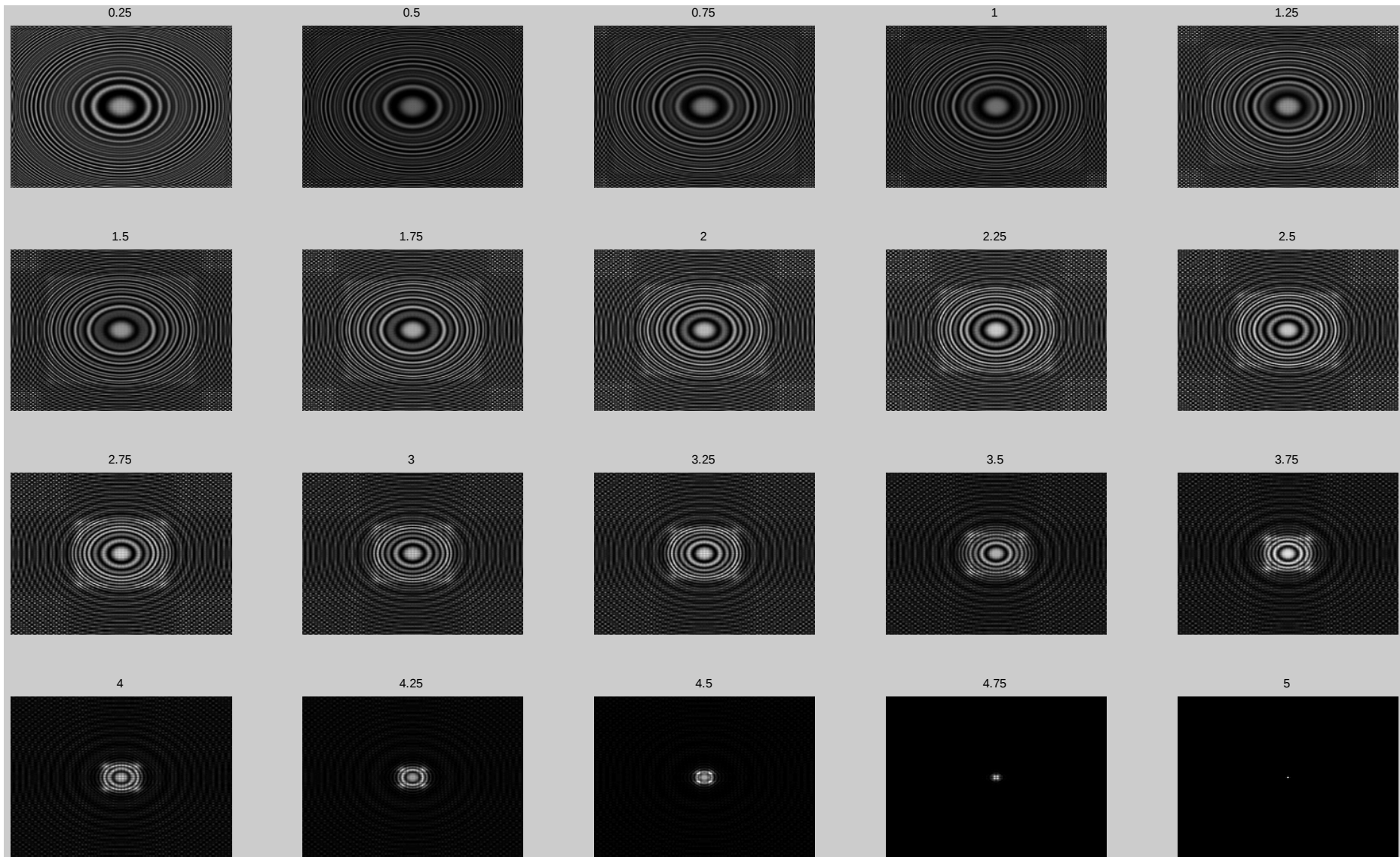


www.comsol.com/blogs/how-to-implement-the-fourier-transformation-from-computed-solutions/

Propagacja za soczewką Fouriera

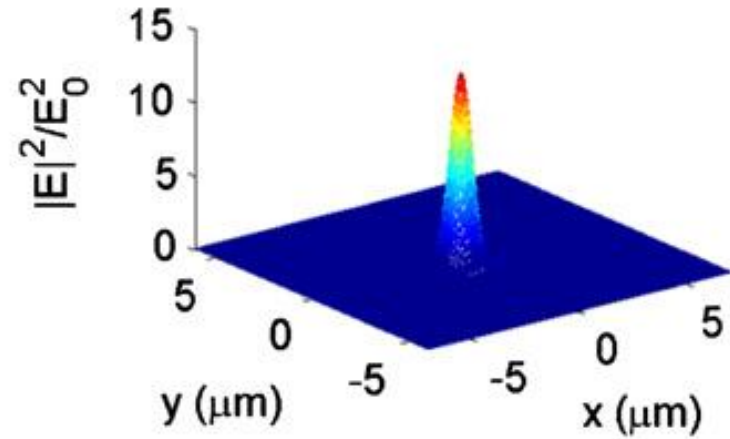
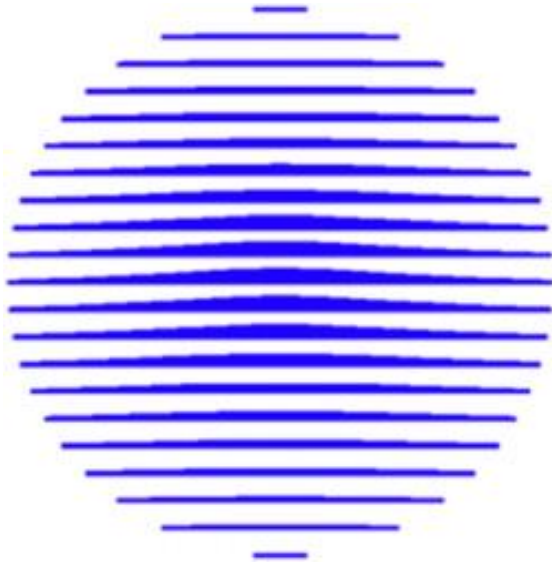


Elementy dyfrakcyjne – soczewka Fresnela

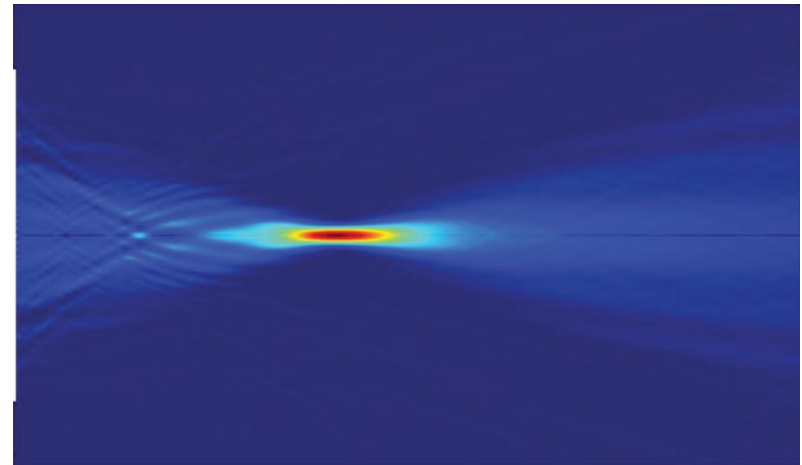
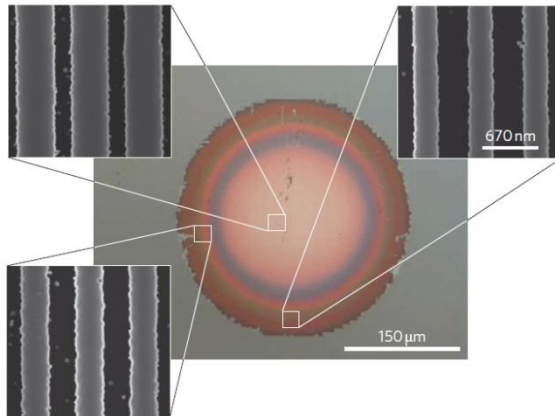


Elementy dyfrakcyjne

Soczewka dyfrakcyjna - zmiana okresu siatki (soczewka skupiająca)

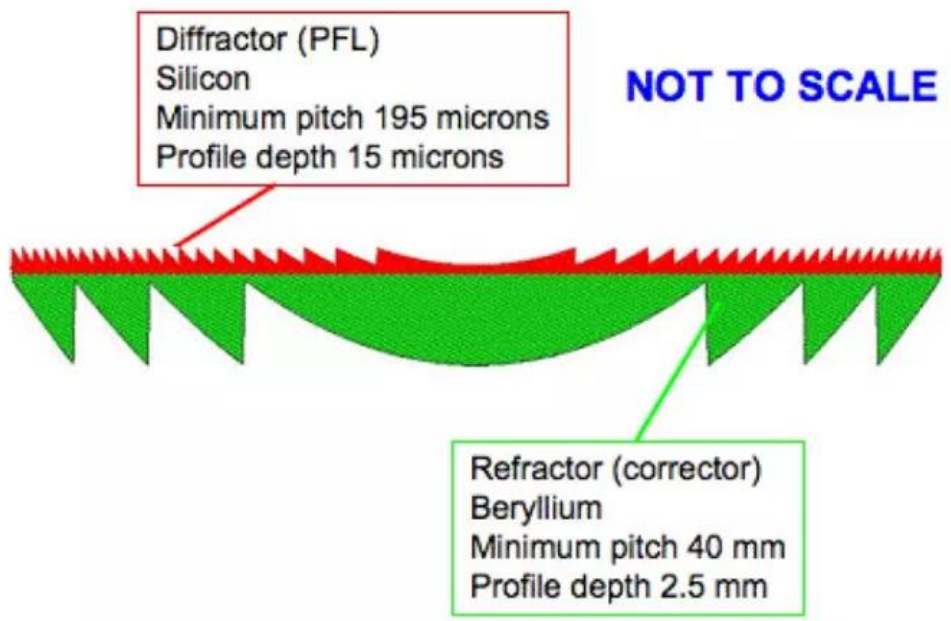


Zmieniająca się długość
i szerokość linii siatki

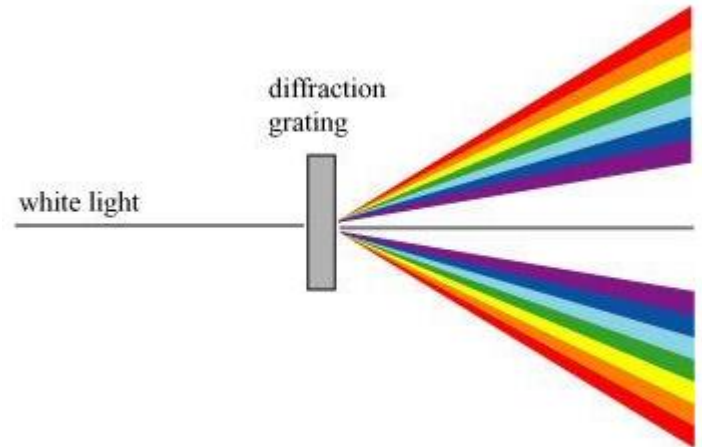
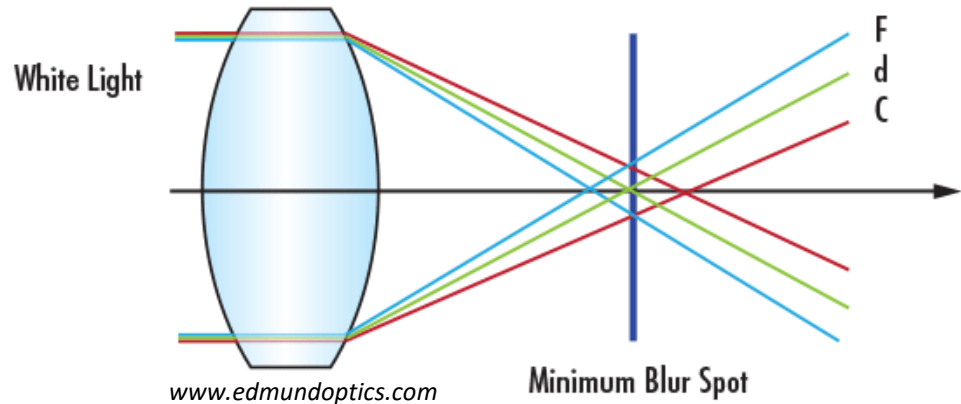
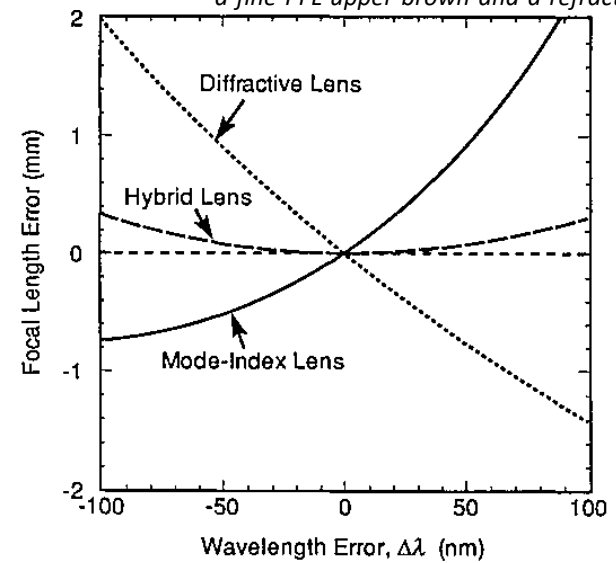


Elementy dyfrakcyjne – soczewka refrakcyjno-dyfrakcyjna

Korekcja aberracji chromatycznej



G, Skinner, at all, „A-diffractive-refractive-achromat-consists-of-a-fine-PFL-upper-brown-and-a-refractive,”

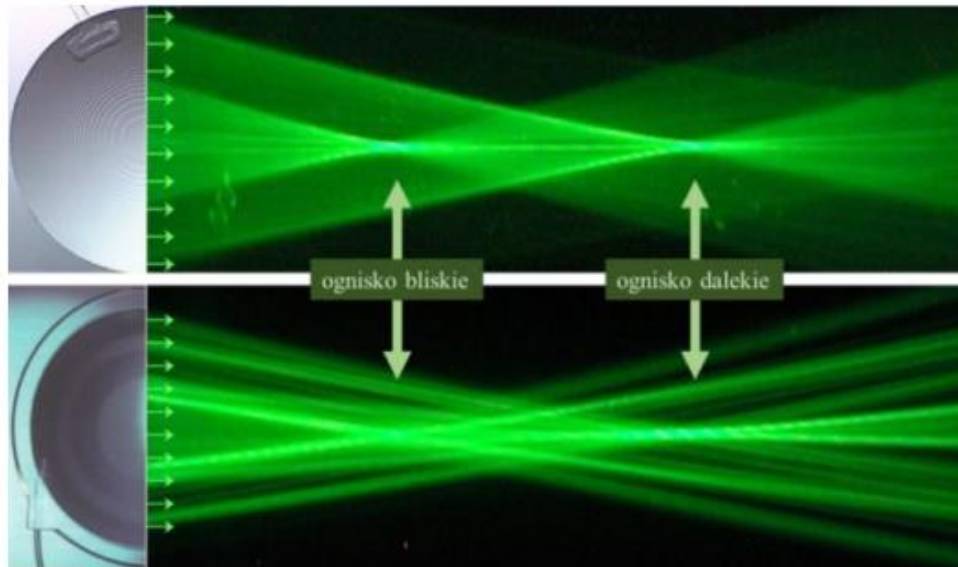


Elementy dyfrakcyjne – soczewka refrakcyjno-dyfrakcyjna

Soczewki wewnątrz gałkowe:

- sferyczne soczewki refrakcyjne jednoogniskowymi,
- strefowe dwuogniskowe i trójogniskowe soczewki refrakcyjne,
- dwuogniskowe soczewki hybrydowe refrakcyjno-dyfrakcyjne,
- apodyzowane hybrydowe soczewki refrakcyjne z asferycznym komponentem refrakcyjnym.

W hybrydowych soczewkach dwuogniskowych komponent refrakcyjny zapewnia ostre odwzorowanie przestrzeni przedmiotowej dalekiej, struktura dyfrakcyjna zapewnia ostre widzenie przedmiotów bliskich



Rozprawa doktorska Macieja Sokołowskiego

Elementy dyfrakcyjne – soczewka refrakcyjno-dyfrakcyjna

Apodyzacja - zmniejszającą się od centrum do peryferii soczewki wysokość pierścieni dyfrakcyjnych

Dystrybucja światła do bliży, odległości pośrednich i dali, jest uzależniona od rozmiaru źrenicy. Podczas dobrych warunków oświetleniowych wzmacniane jest widzenie bliskie i pośrednie podczas gdy w warunkach słabego oświetlenia, kiedy źrenica jest rozszerzona, więcej energii lokowane jest do widzenia dalekiego.

