

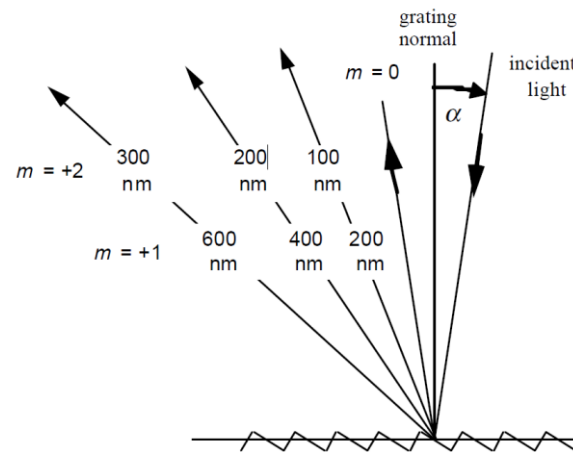
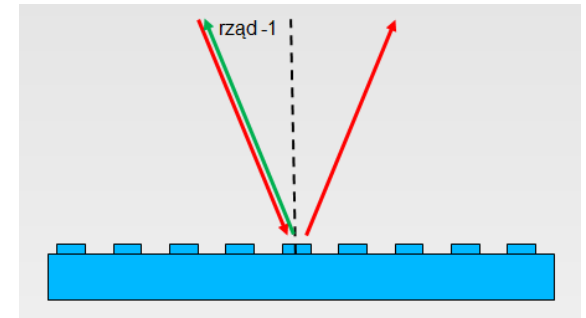
WSTĘP DO OPTYKI FOURIEROWSKIEJ

dr hab. Rafał Kasztelanic

WYKŁAD 6

Interferencja – siatka dyfrakcyjna

- Wiązka monochromatyczna
- Światło białe
 - konfiguracja Litrowa – dla danej długości fali wiązka w danym rzędzie dyfrakcyjnym biegnie jak wiązka padająca – działa dla tej długości fali jak zwierciadło.
- Nakładanie się kolejnych rzędów dyfrakcyjnych



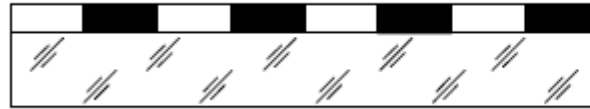
Interferencja – siatka dyfrakcyjna

Rodzaje siatek dyfrakcyjnych:

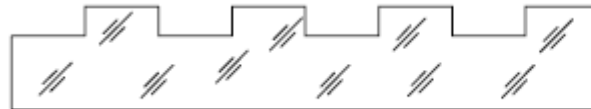
binarne

sinusoidalne

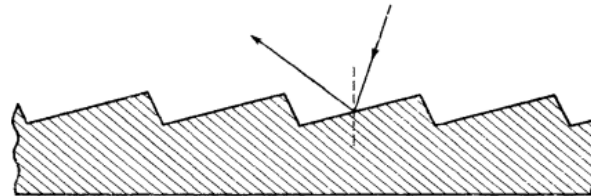
Siatki amplitudowe:



Siatki fazowe:



Siatka typu blaze:

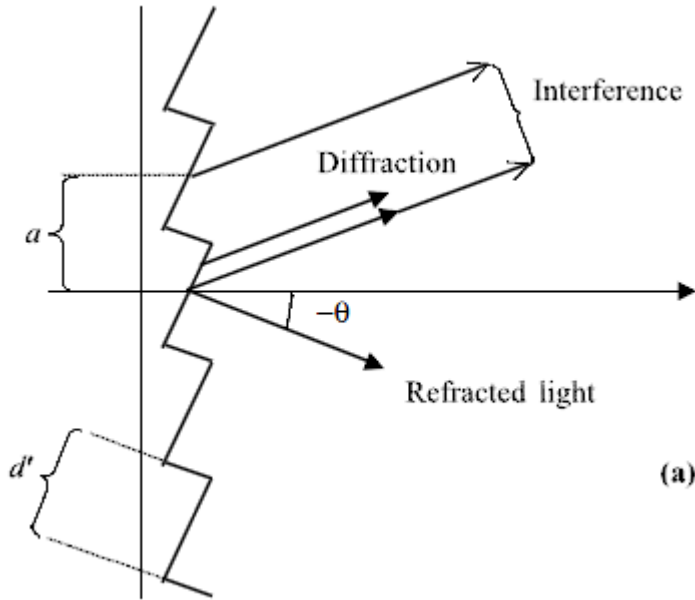


Interferencja – siatka dyfrakcyjna

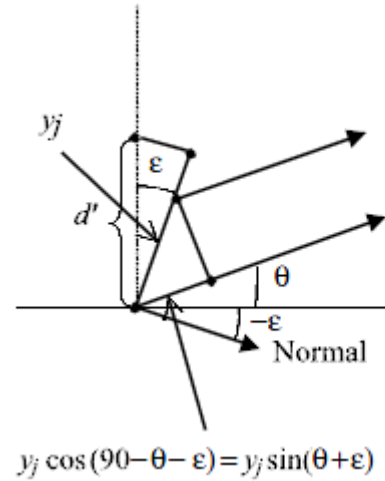
Siatka karbowana (blazed):

Może być w wersji fazowej i w wersji amplitudowej.

W obu przypadkach opis jak w wersji fazowej – pochylenie wprowadza zmianę fazy

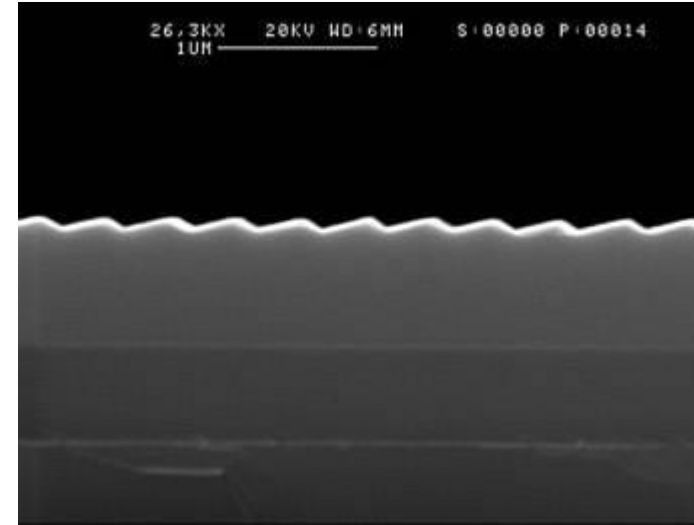


(a)



$$y_j \cos(90 - \theta - \epsilon) = y_j \sin(\theta + \epsilon)$$

$$I(\theta) = \left[\frac{\sin(\pi d \sin(\theta + \epsilon) / \lambda)}{\pi d \sin(\theta + \epsilon) / \lambda} \right]^2 \left[\frac{\sin(\pi N a \sin \theta / \lambda)}{N \sin(\pi a \sin \theta / \lambda)} \right]^2$$

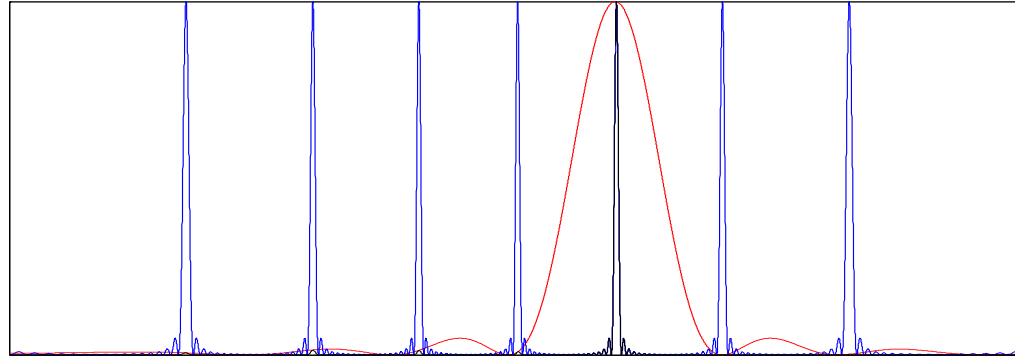


(b)

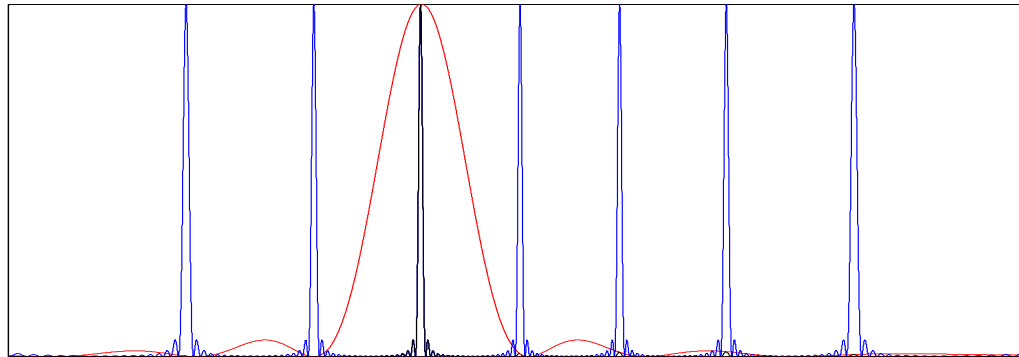
Interferencja – siatka dyfrakcyjna

Siatka karbowana (blazed):

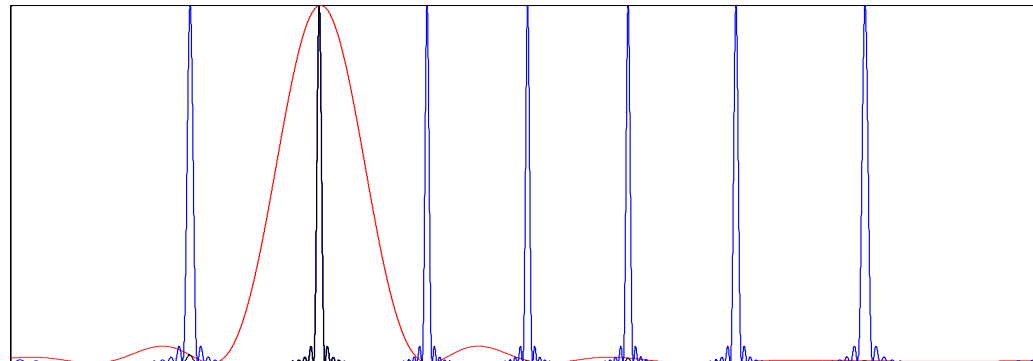
$$\varepsilon = -0,25$$



$$\varepsilon = 0,25$$



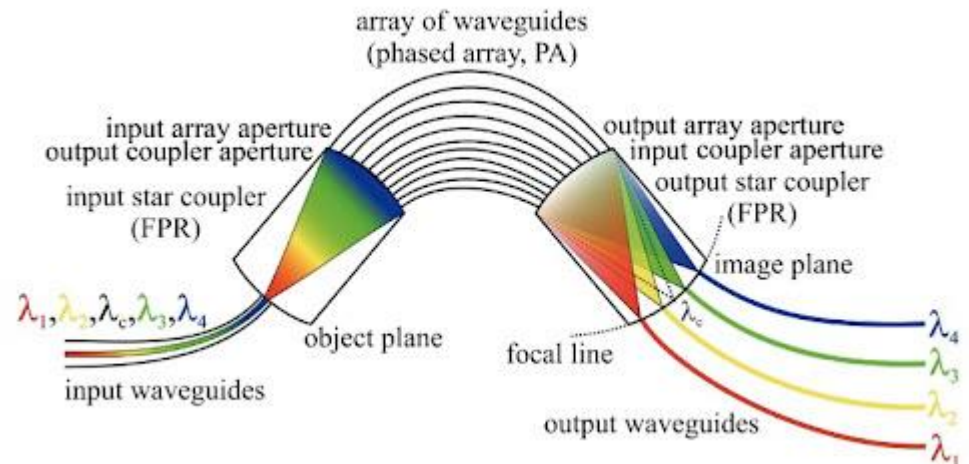
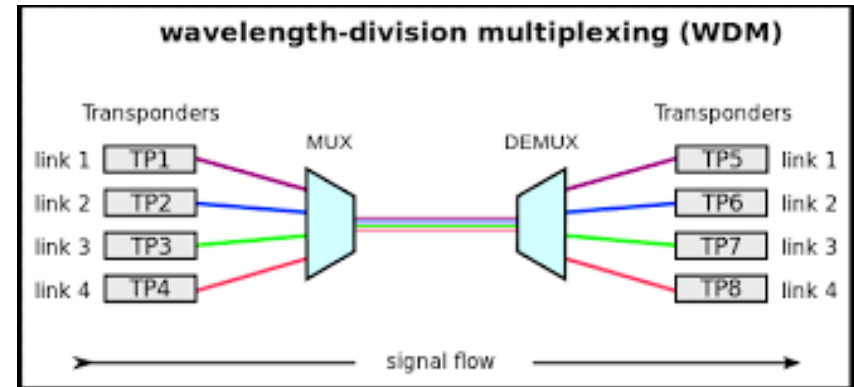
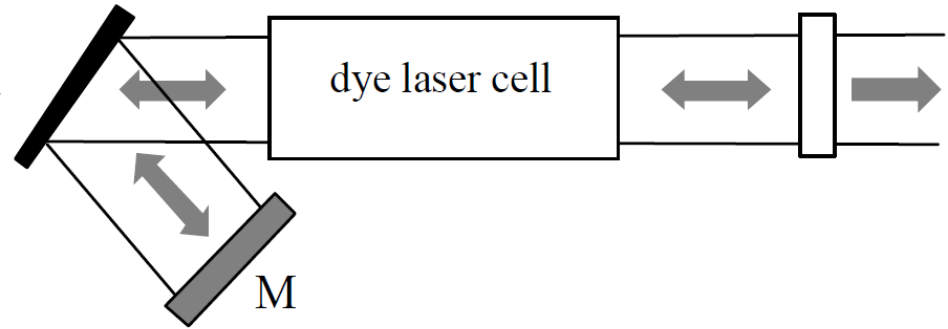
$$\varepsilon = 0,52$$



Interferencja – siatka dyfrakcyjna

Przykład wykorzystania:

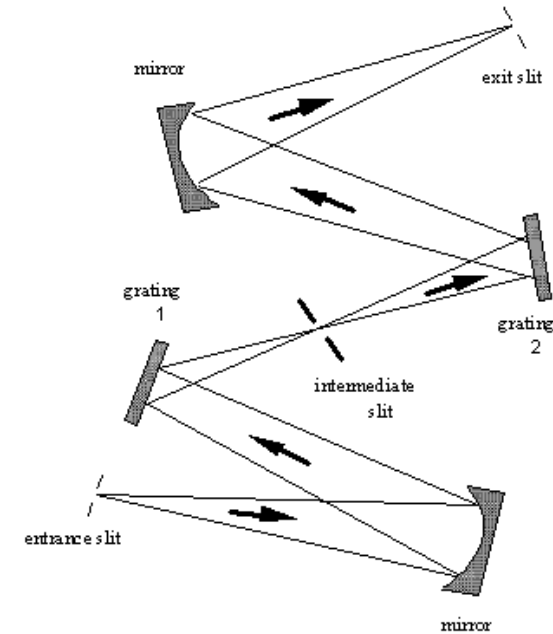
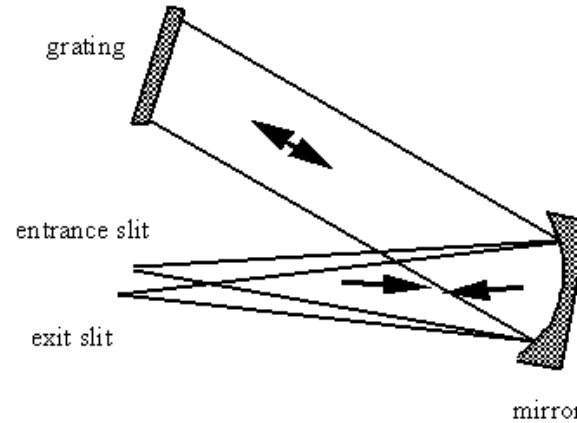
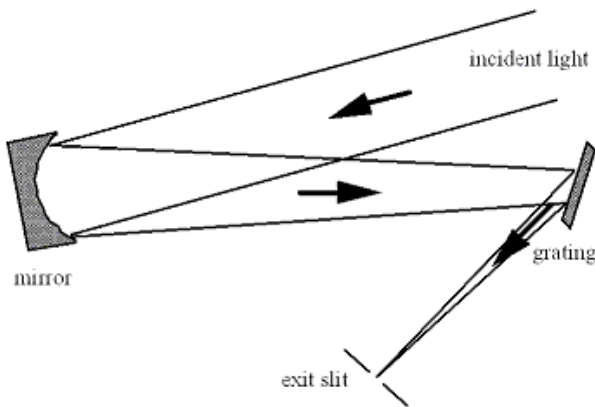
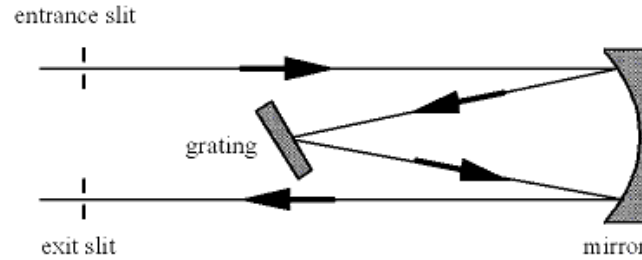
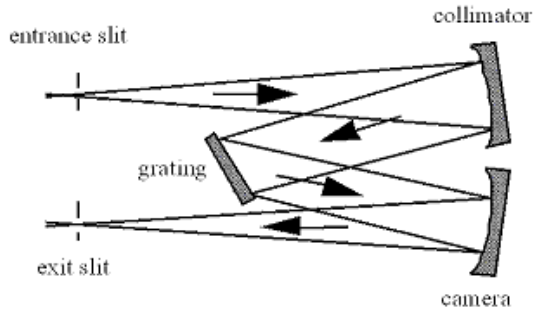
- Spektroskopia
- Monochromator
- Strojenie laserów
- Kompresja impulsów
- Filtracja
- Multiplexer – Demultiplexer
- Telekomunikacja
- Polaryzator
- Dzielnik wiązki – długość fali
- układy optyczne dla promieniowania X



Interferencja – siatka dyfrakcyjna

Przykład wykorzystania:

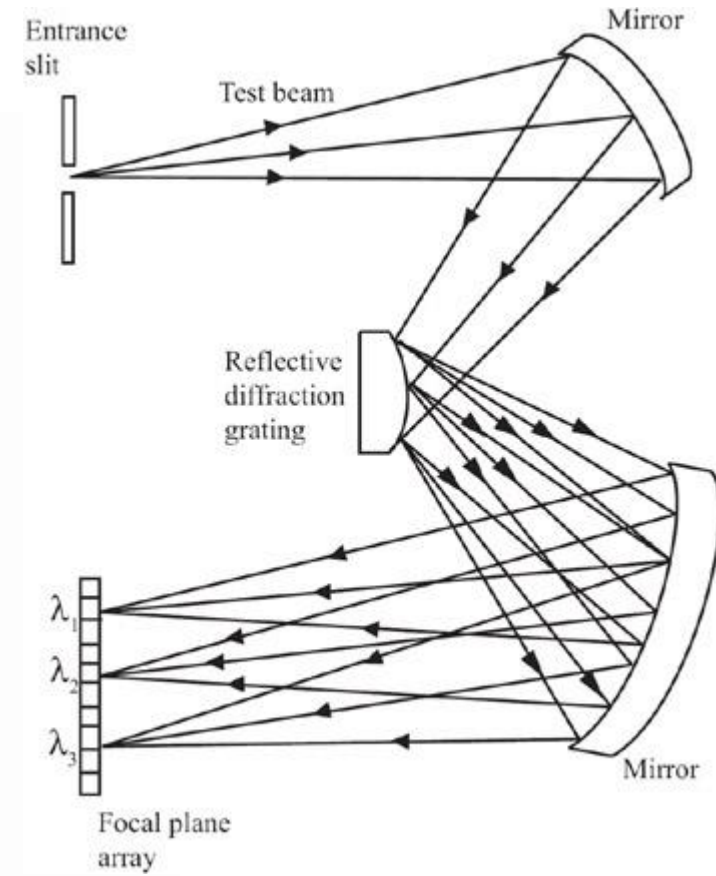
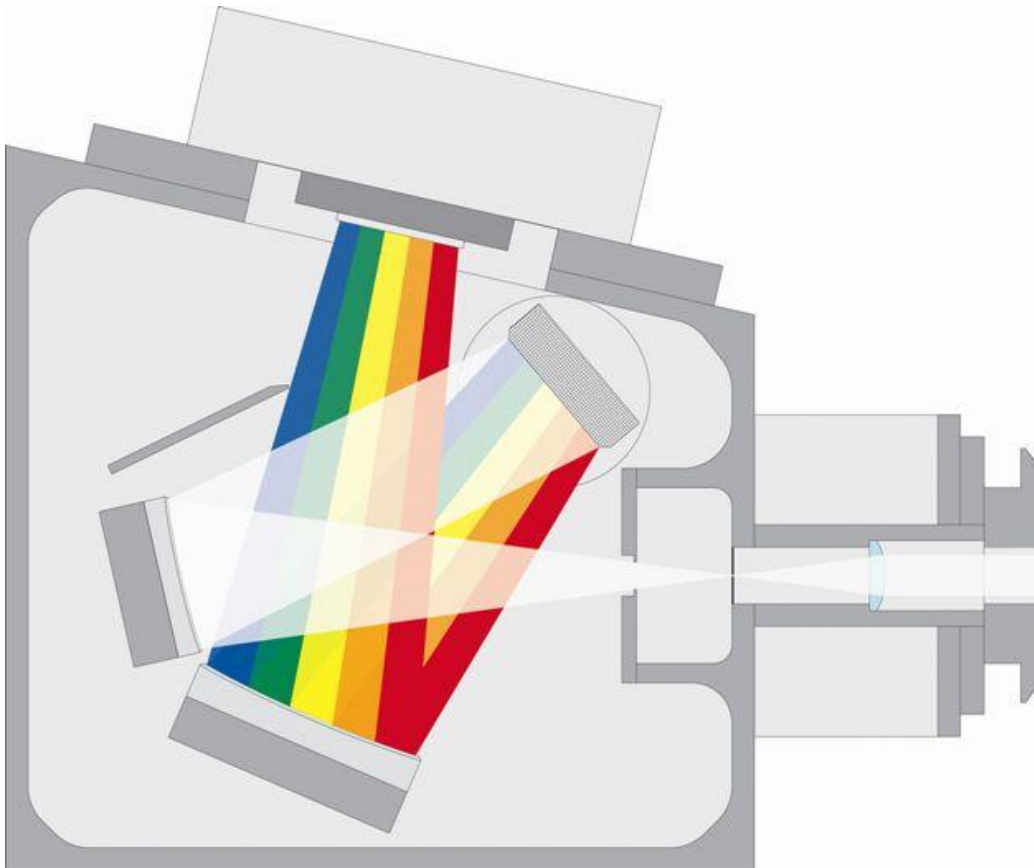
Monochromator:



Interferencja – siatka dyfrakcyjna

Przykład wykorzystania:

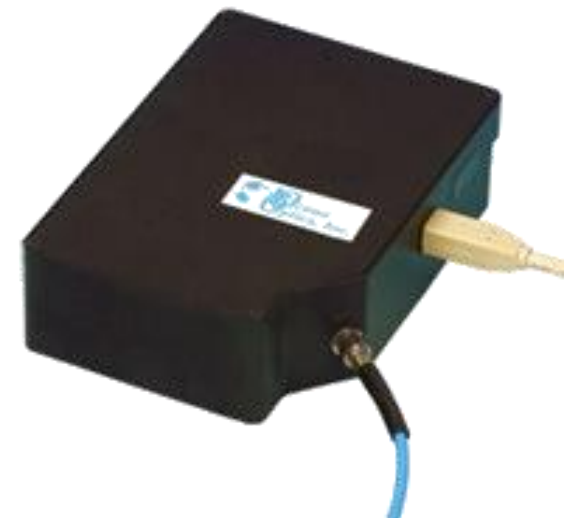
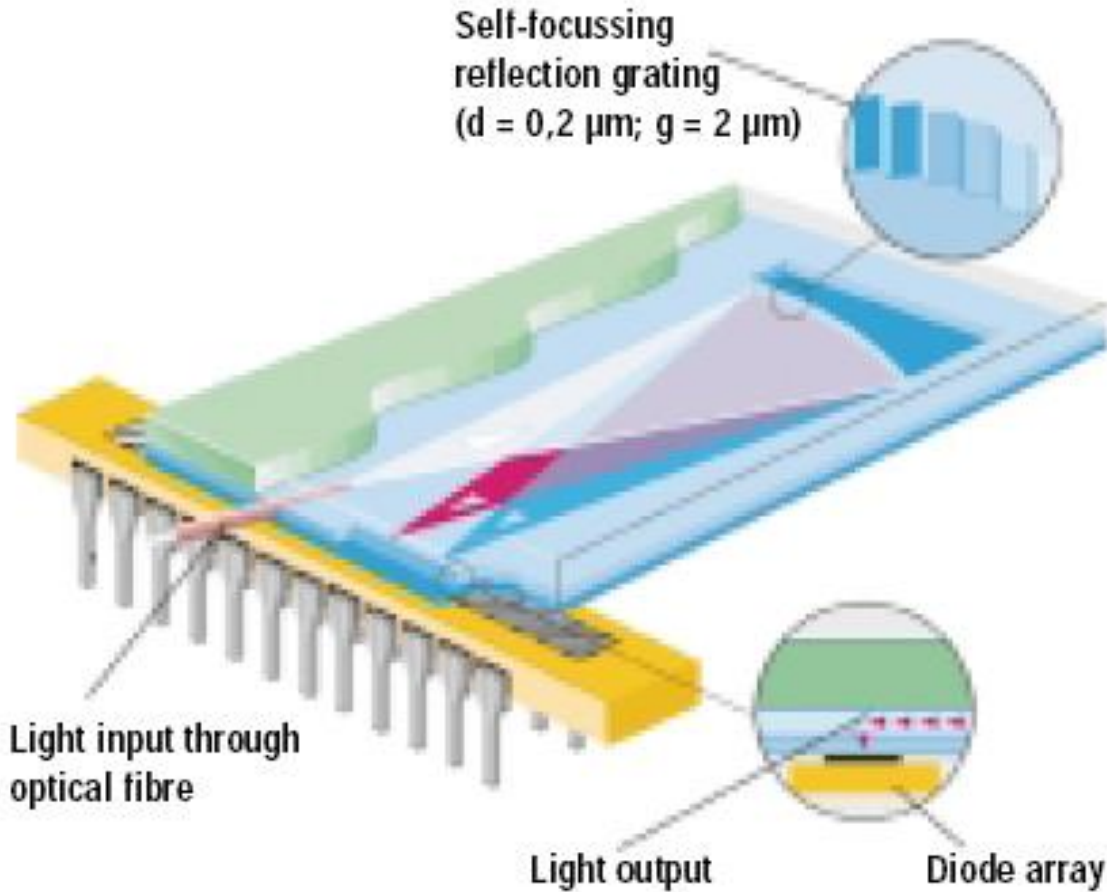
Spektroskopia:



Interferencja – siatka dyfrakcyjna

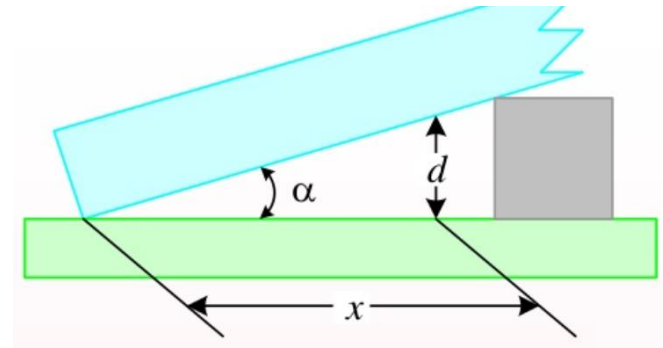
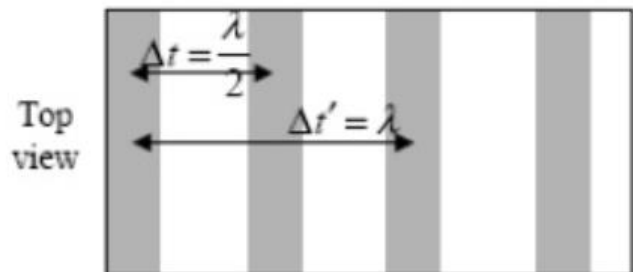
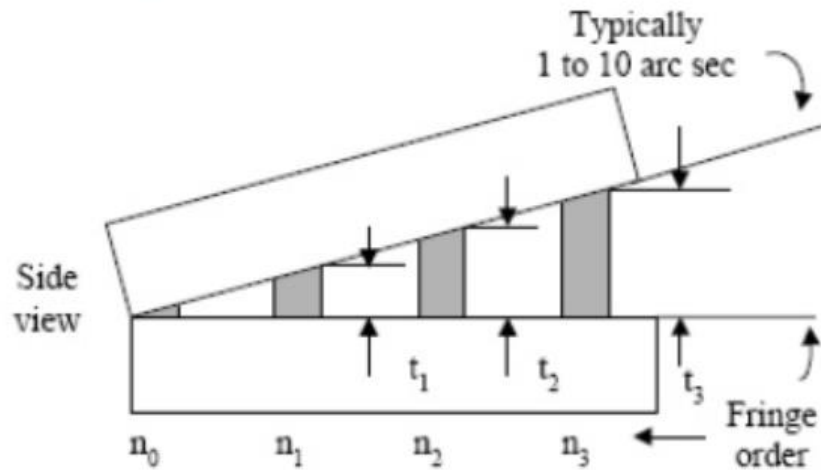
Przykład wykorzystania:

Spektroskopia - siatka odbiciowa typu blazed



Interferencja

Klin

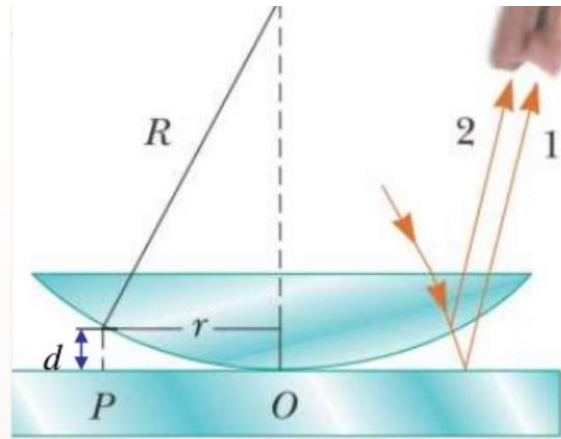


$$d = x\alpha$$

$$2n_f d_m = (m + 1/2)\lambda$$
$$2n_f (\alpha x_m) = (m + 1/2)\lambda$$

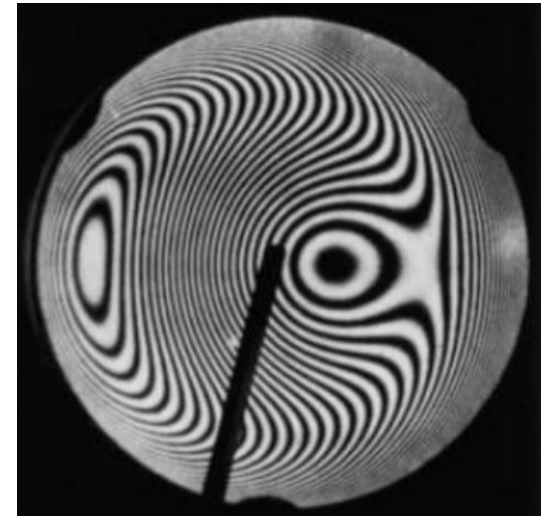
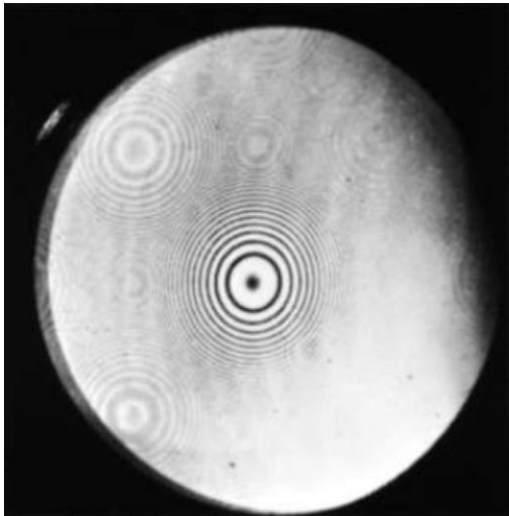
Interferencja

Soczewka - pierścienie Newtona



$$d = r^2/2R$$

$$r = \sqrt{\frac{m\lambda R}{n}}$$



Interferencja

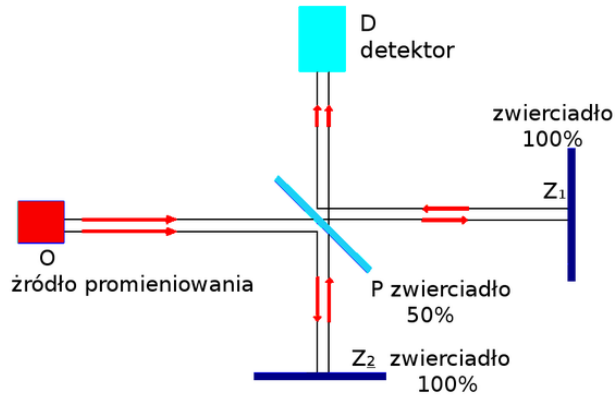
Warstwa antyrefleksyjna



$$d = \frac{\lambda}{4\sqrt{n}}$$

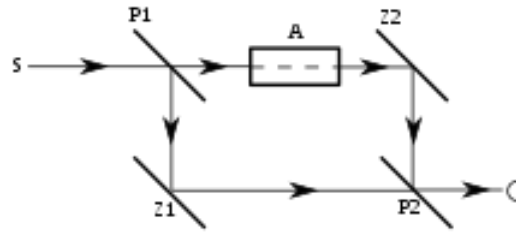
Interferometry

Michelsona

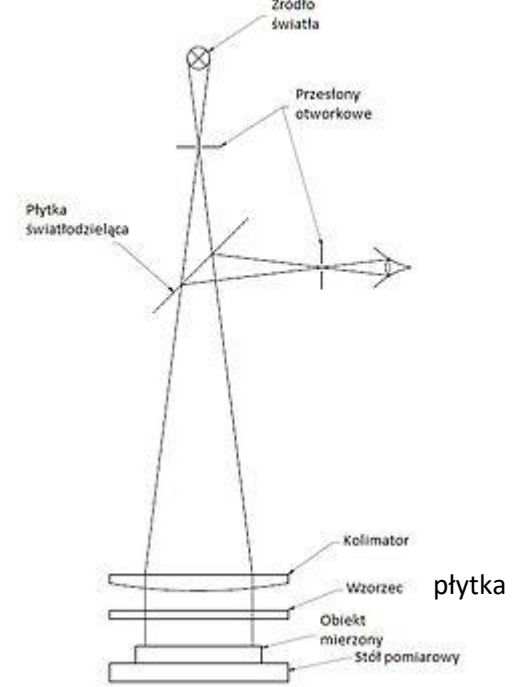


ilf.fizyka.pw.edu.pl/instrukcje/michelson/

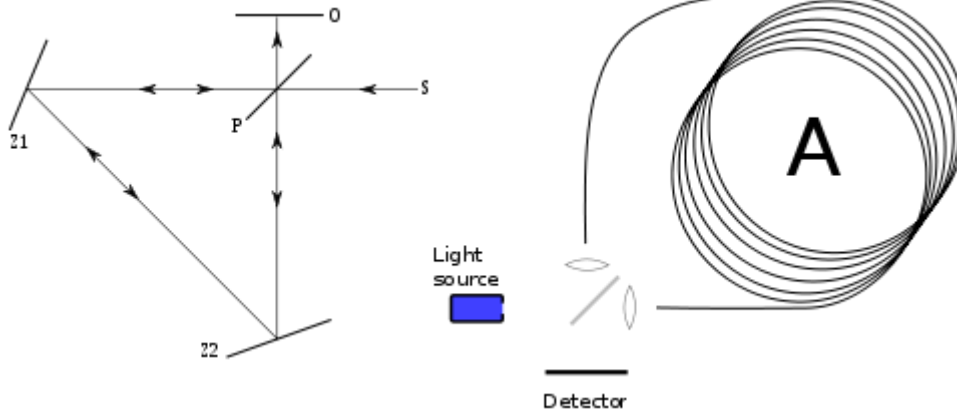
Macha-Zehndera



Fizeau

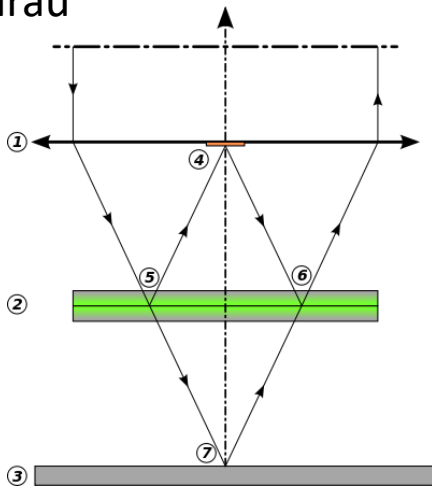


Sagnaca

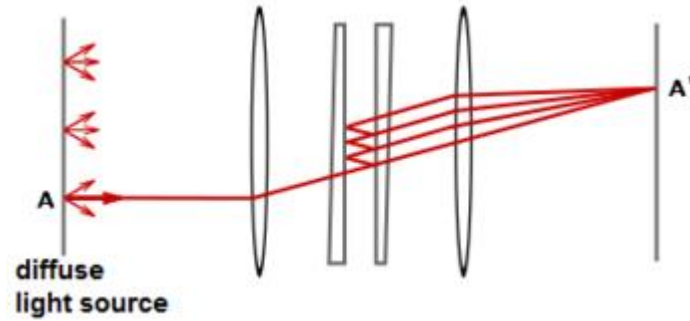


Interferometry

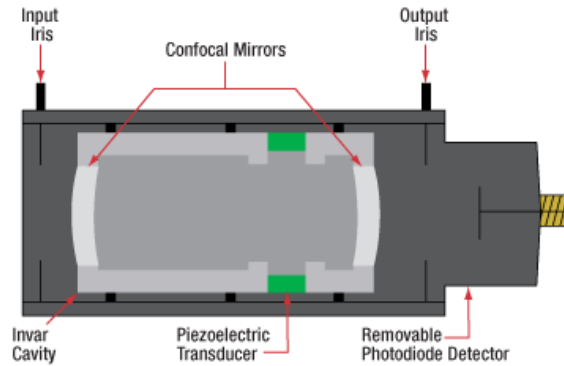
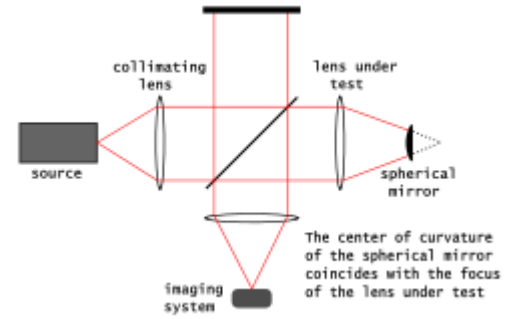
Mirau



Fabry-Perot

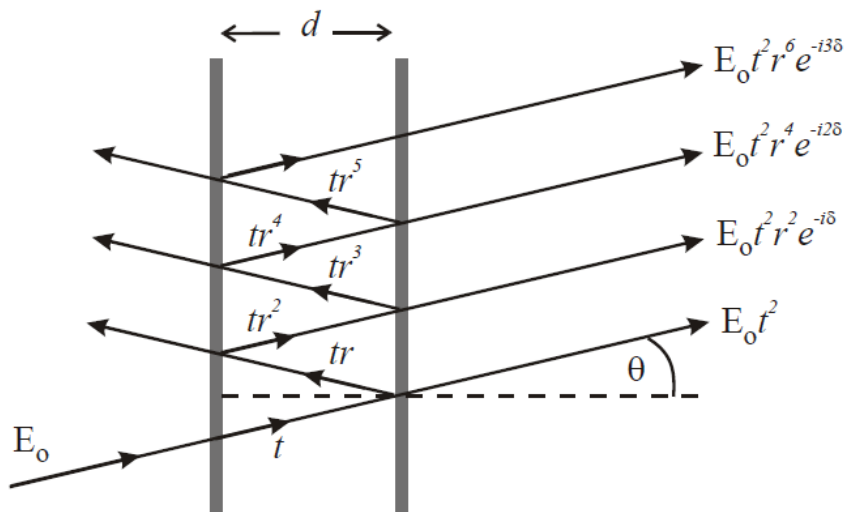


Twyman-Greena



www.thorlabs.com

Interferometr Fabry-Perot



Różnica faz:
$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} 2d \cos \theta$$

$$E_t = E_0 t_1 t_2 e^{-i\omega t} + E_0 t_1 t_2 r_1 r_2 e^{-i(\omega t - \delta)} + E_0 t_1 t_2 r_1^2 r_2^2 e^{-i(\omega t - 2\delta)} + \dots etc.$$

$$E_t = E_0 t_1 t_2 e^{i\omega t} \left[\frac{1}{1 - r_1 r_2 e^{i\delta}} \right]$$

$$I_t = E_t E_t^* = E_0^2 t_1^2 t_2^2 \left[\frac{1}{1 + r_1^2 r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \delta} \right]$$

Interferometr Fabry-Perot

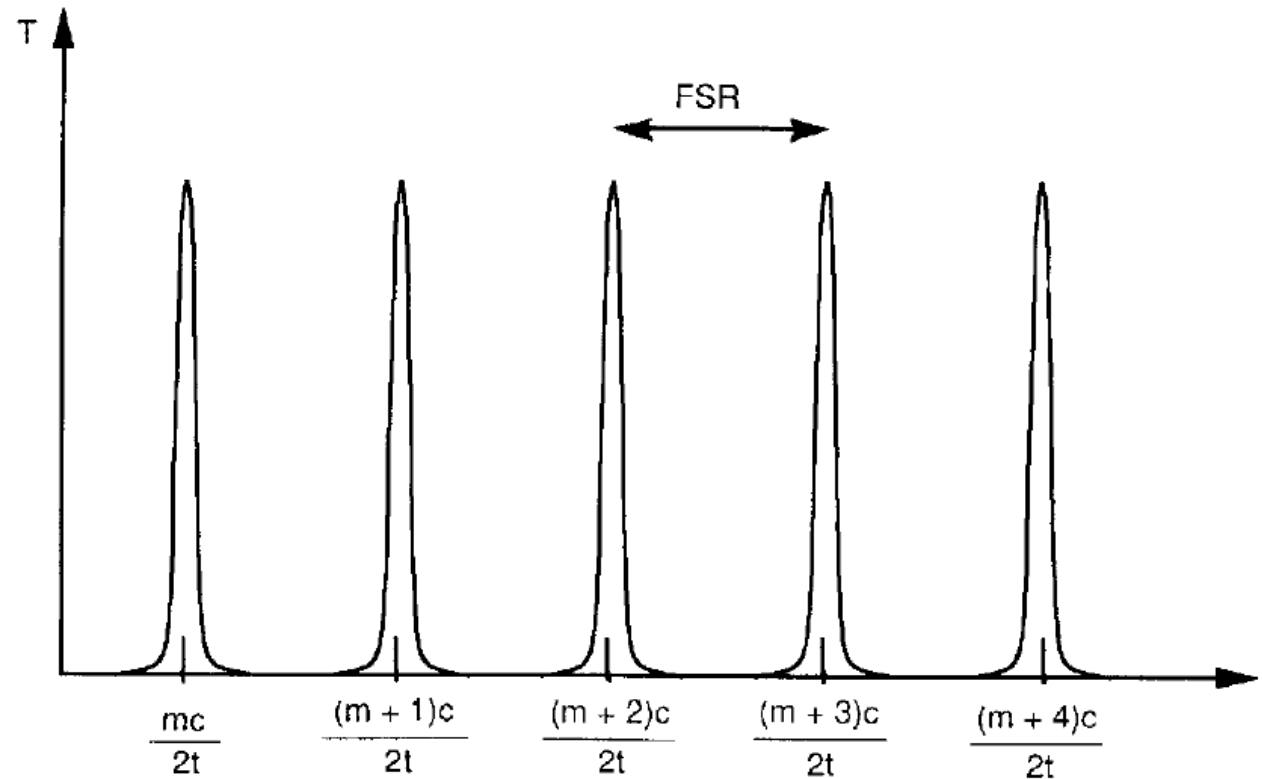
$$E_0^2 = I_0, \quad r_1 r_2 = R \quad \text{and} \quad t_1 t_2 = T, \quad \text{and} \quad \cos \delta = (1 - 2 \sin^2 \delta/2)$$

$$I_t = I_0 \frac{T^2}{(1-R)^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \delta/2} \right]$$

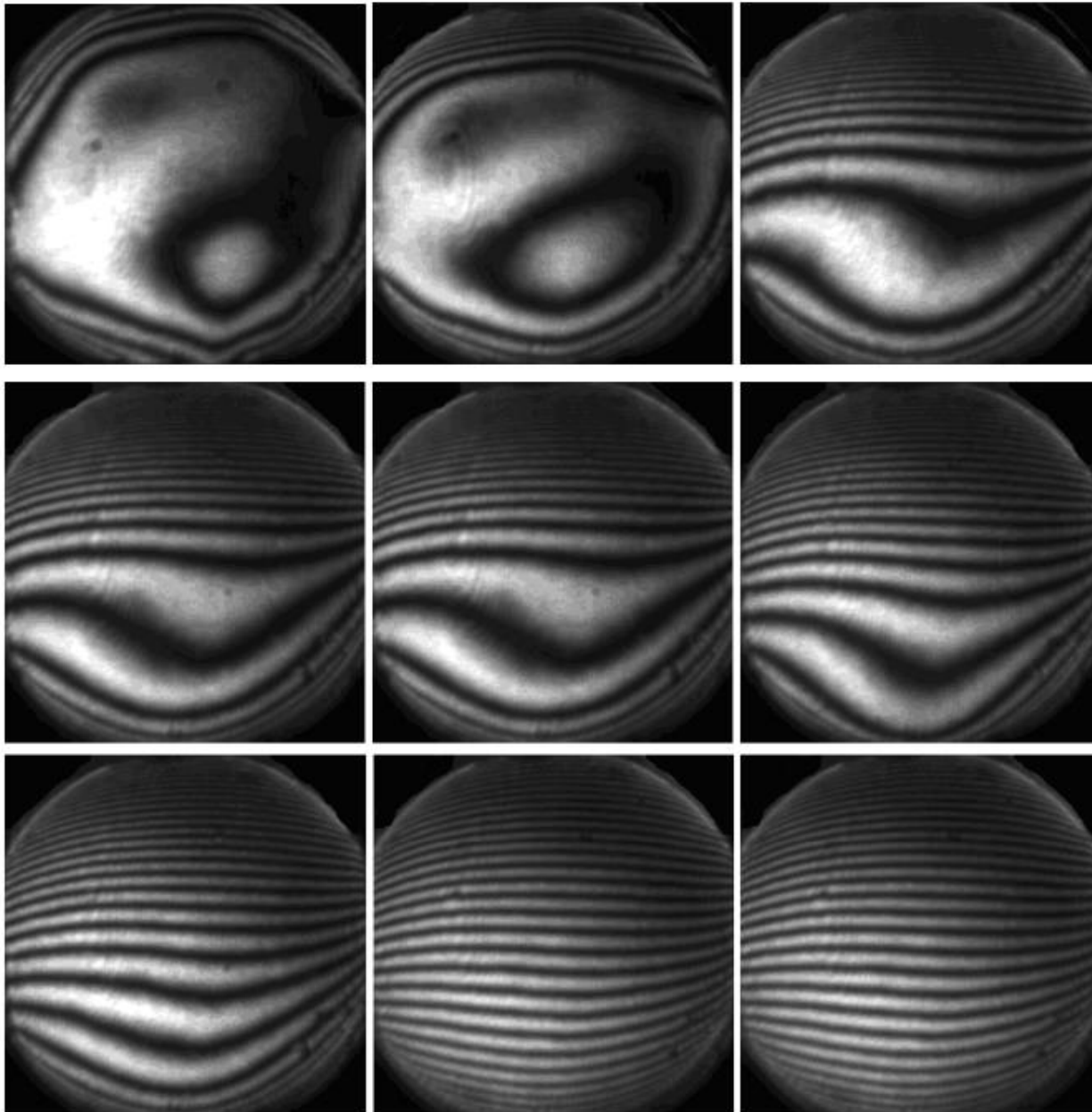
$$T = (1 - R)$$

$$\frac{4R}{(1-R)^2} = \Phi$$

$$I_t = I_0 \left[\frac{1}{1 + \Phi \sin^2 \delta/2} \right]$$



Analiza interferogramu

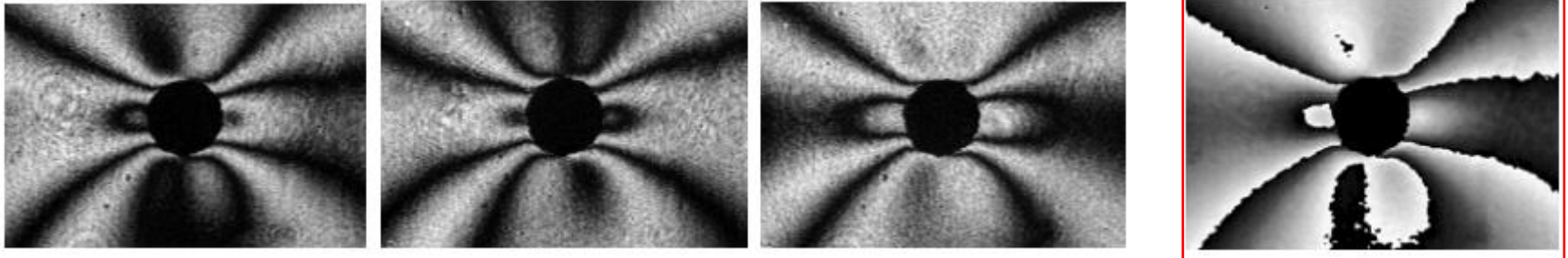


Analiza interferogramu

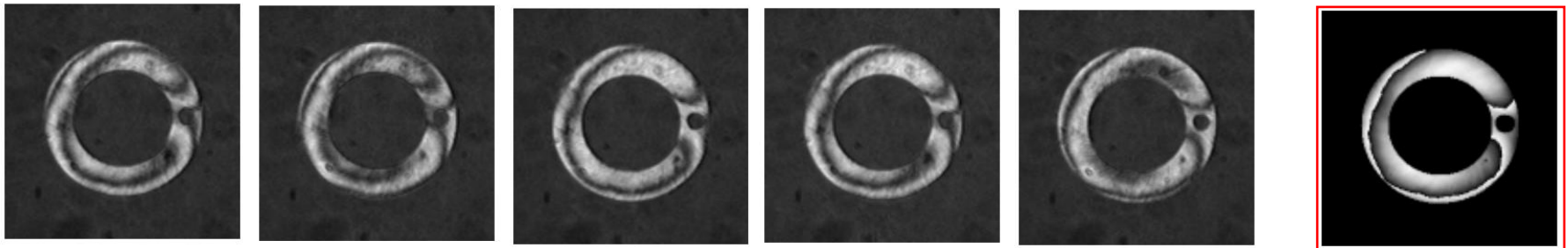
- Przesunięcie fazy

$$\alpha_i = \frac{i2\pi}{N} \quad \text{gdzie } i = 1, \dots, N$$

$$\Delta\alpha = \frac{2\pi}{3} \text{ [rad]} \quad \bar{\Phi} = \arctg \left[\sqrt{3} \frac{I_1 - I_3}{2I_2 - I_1 - I_3} \right] \quad \text{gdy} \quad \alpha_1 = \frac{2\pi}{3}; \quad \alpha_2 = 0; \quad \alpha_3 = \frac{2\pi}{3}$$



$$\bar{\Phi} = \arctan \left[\frac{2(I_2 - I_4)}{2I_3 - I_1 - I_5} \right], \quad \text{gdy} \quad \alpha_1 = -\pi; \quad \alpha_2 = -\frac{\pi}{2}; \quad \alpha_3 = 0; \quad \alpha_4 = \frac{\pi}{2}; \quad \alpha_5 = \pi$$

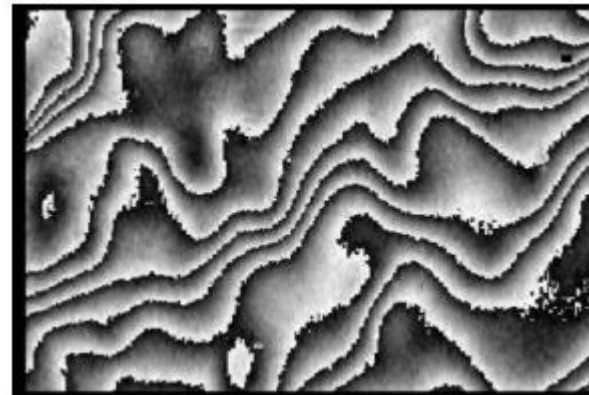
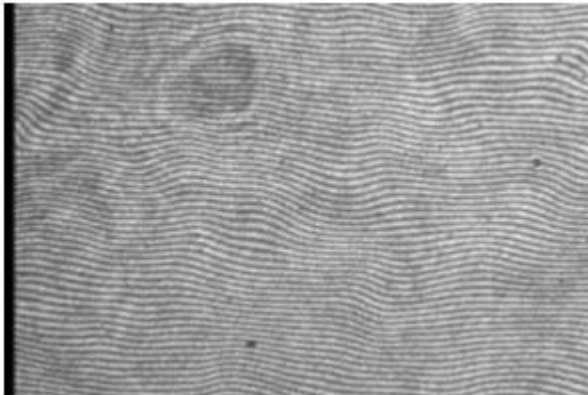


Analiza interferogramu

- Dodanie częstości nośnej $f_0 = \frac{M}{4}$ gdzie M jest rozdzielczością matrycy detektora

$$\phi(x, y) = \frac{\lambda}{2\pi} \arctan \left[\frac{\sqrt{4[I(x-1, y) - I(x+1, y)]^2 - [I(x-2, y) - I(x+2, y)]^2}}{2I(x, y) - I(x-2, y) - I(x+2, y)} \right]$$

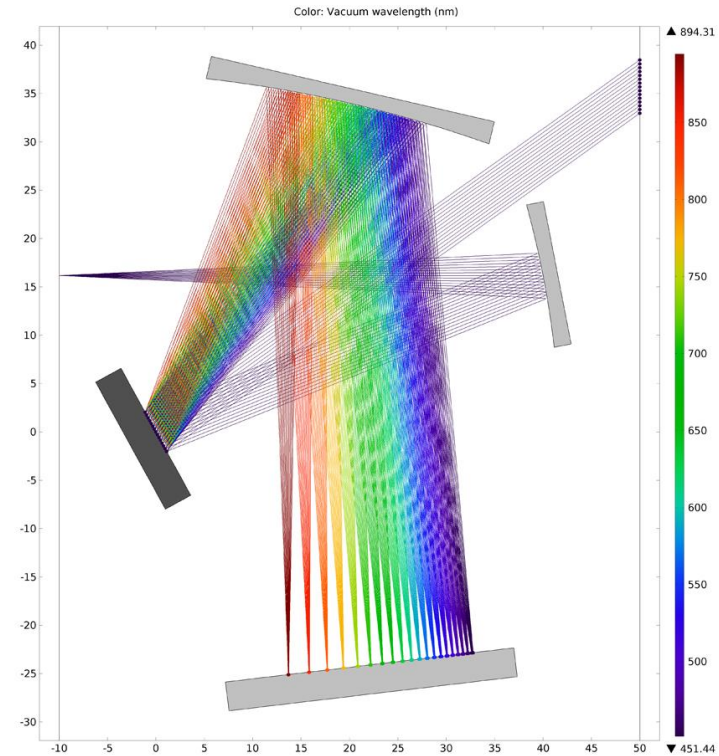
gdzie $I(x+i, y)$ jest natężeniem światła w pikselach $i=-2, -1, 0, +1, +2$



Spektroskopia

W klasycznym spektroskopie – siatka dyfrakcyjna

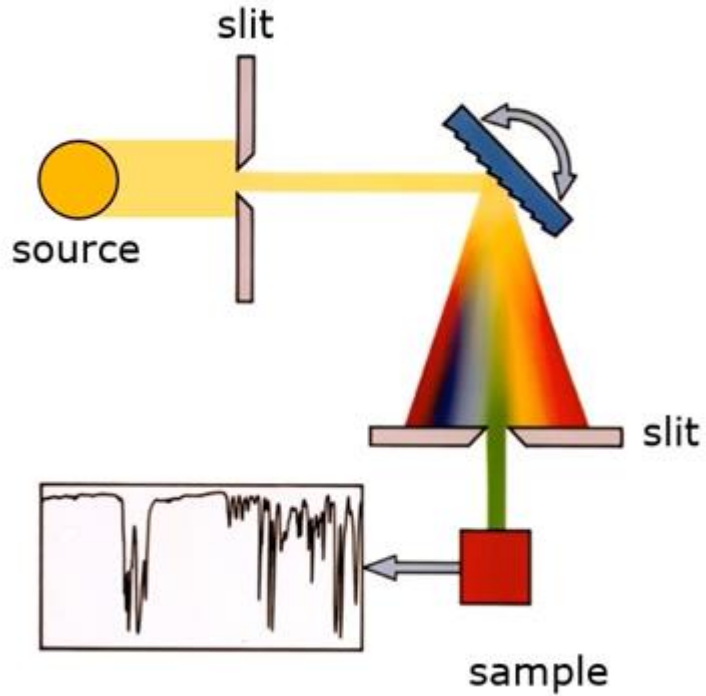
- Detektor – linijka
- Pojedynczy detektor
 - skanowanie po λ
 - Interferencja + analiza Fourierowska



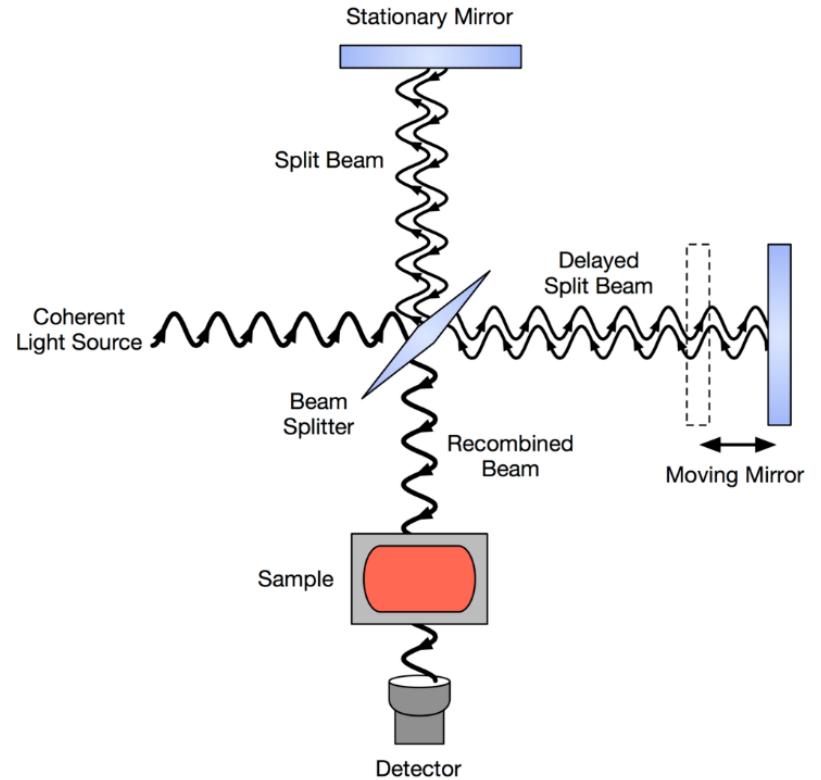
www.comsol.de/ray-optics-module

Spektroskopia Fourierowska

Tradycyjna spektroskopia



FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)



Spektroskopia Fourierowska

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

Interferencja fal o różnych częstościach jest inna, bowiem dla tej samej drogi x , różnica faz jest inna, czyli w $I(x)$ dla różnych długości fal zawarta jest informacja o WIDMIE.

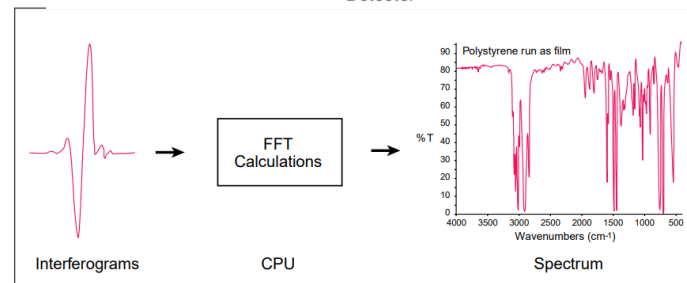
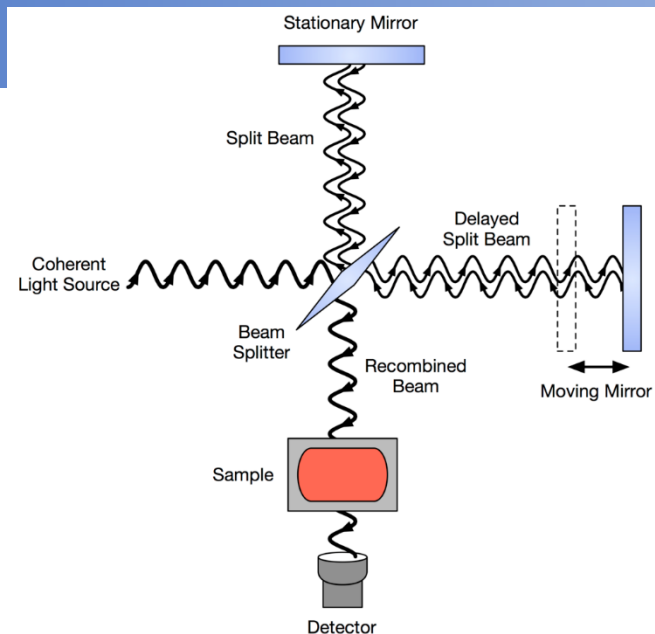
$$I(x) = \int_0^{\infty} 2I(\tilde{\nu})R(\tilde{\nu})T(\tilde{\nu})(1 + \cos 2\pi\tilde{\nu}x)d\tilde{\nu}$$

Stała + zależność od x

$I(\tilde{\nu})$ - intensywność promieniowania o częstości ν

$R(\tilde{\nu})$ - współczynnik odbicia

$T(\tilde{\nu})$ - współczynnik transmisji

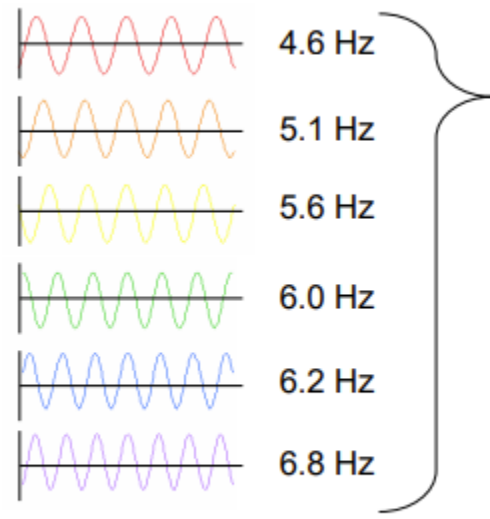


$$T(\tilde{\nu}) = \frac{A_{pr}(\tilde{\nu})}{A_0(\tilde{\nu})} \quad \text{Widmo transmisyjne}$$

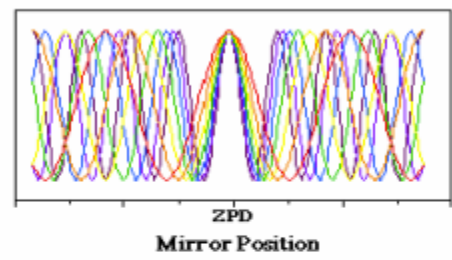
A_{pr} – FT interferogramów z próbką

A_0 – FT bez próbki

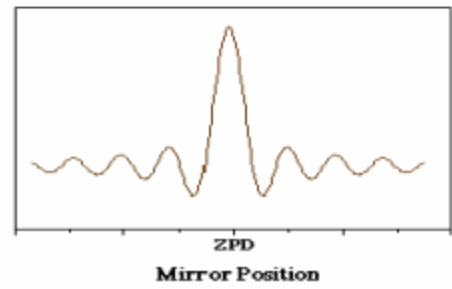
Spektroskopia Fourierowska



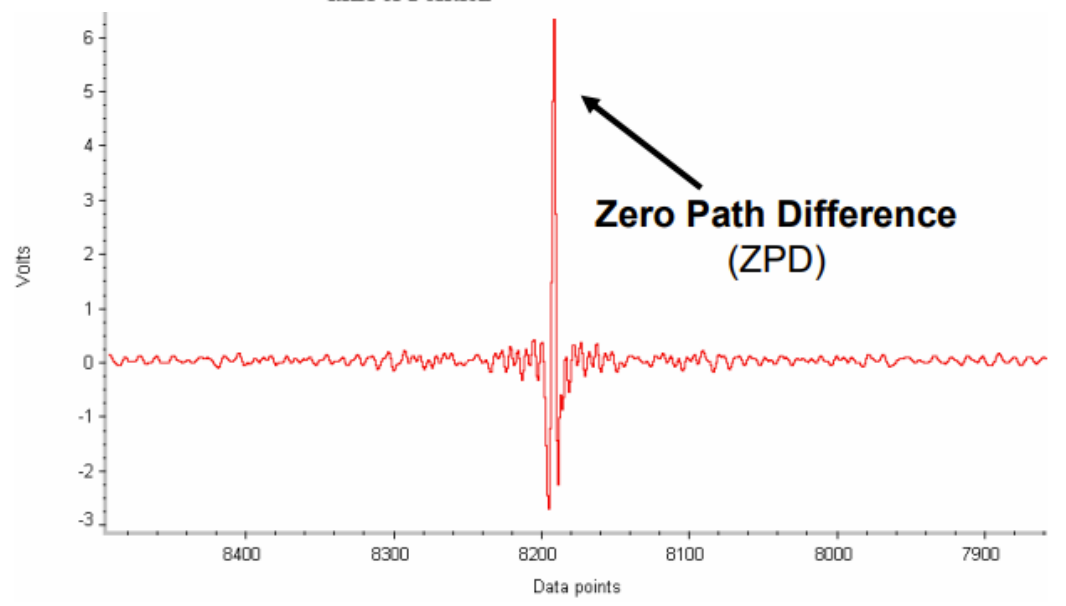
Plot of 6 waves



Sum of 6 waves



Interferencja fal o różnych częstościach jest inna, ponieważ dla tej samej drogi x , różnica faz jest inna, czyli w $I(x)$ dla różnych długości fal zawarta jest informacja o WIDMIE.

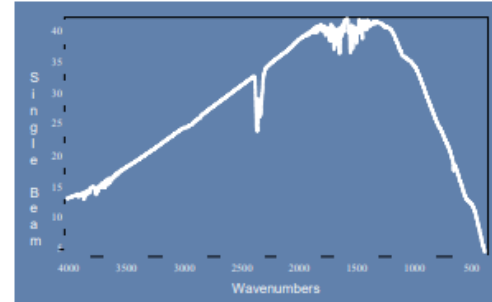
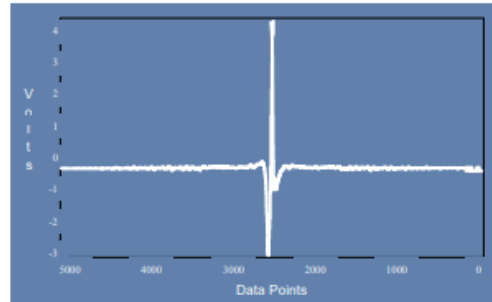


Spektroskopia Fourierowska

Interferogram



Spectrum



Time Domain



Frequency Domain

$$E_{\text{sample}} / E_{\text{background}} \times 100\% = \% \text{Transmittance}$$

