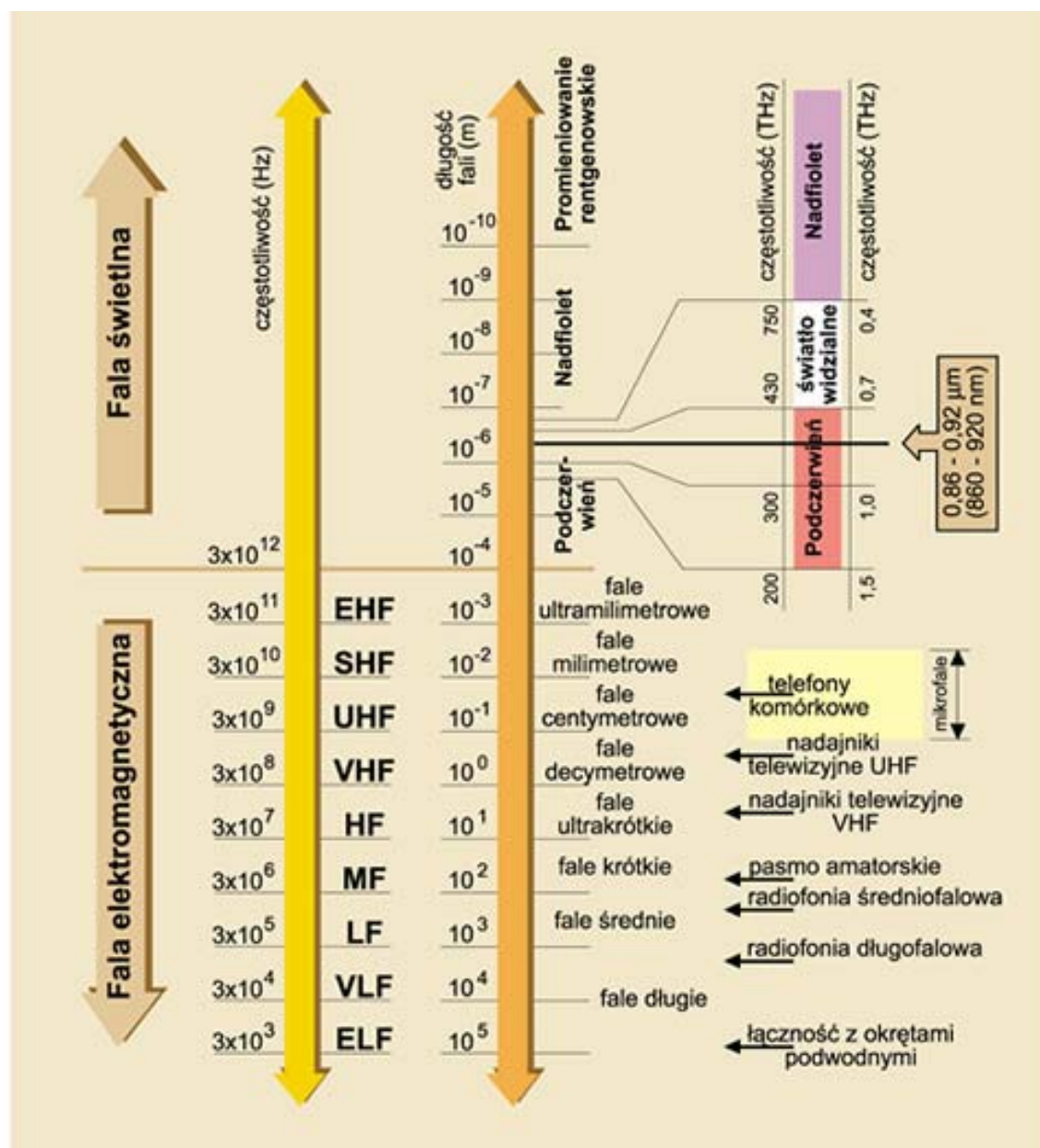


BUDOWA I PROMIENIOWANIE ATOMÓW

FALE ELEKTROMAGNECZNE – WIDMO FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH



Teoria korpuskularna

foton

$$E = h\nu, \quad p = \frac{h\nu}{c}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad E \sim \frac{1}{\lambda}$$

stała Plancka $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

$$1\text{J} = \frac{1}{1,6} \cdot 10^{19} \text{ eV}$$

Prędkość fal świetlnych w próżni

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Związek między częstotliwością
i długością fali elektromagnetycznej

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Zakres długości fali	Nazwa	Energia
$0,38 < \lambda < 0,77 \mu\text{m}$ (1 $\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$)	światło widzialne (fale świetlne)	
$3800 \text{ \AA} < \lambda < 7700 \text{ \AA}$ (1 $\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$)	od fioletu do czerwieni	
$\lambda > (7700 \text{ \AA}) 770 \text{ nm}$	podczerwień	
$\lambda < 380 \text{ nm}$ (1 $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$)	nadfiolet (ultrafiolet)	
$\lambda < 380 \text{ nm}$		
$130 < \lambda < 380 \text{ nm}$	nadfiolet bliższy	$\sim \text{eV}$
$10 < \lambda < 130 \text{ nm}$	nadfiolet dalszy	$\sim \text{eV}$
$0,01 < \lambda < 10 \text{ nm}$	fale rentgenowskie	$\sim 10^3 \text{ eV (keV)}$
$10^{-4} < \lambda < 0,01 \text{ nm}$	promienie γ	$\sim \text{MeV}$
$\lambda < 10^{-4} \text{ nm}$	składowa γ promieniowania kosmicznego	$> \text{MeV}$
$\lambda > 770 \text{ nm}$		
$770 < \lambda < 3000 \text{ nm}$	podczerwień bliższa	$< \text{eV}$
$3 < \lambda < 100 \mu\text{m}$	podczerwień dalsza	$< \text{eV}$
$10^{-3} < \lambda < 1 \text{ m}$	mikrofale($\sim\text{cm}$), radarowe	
$\lambda > 10^{-2} \text{ m}$	fale radiowe i telewizyjne może być $\lambda \sim 10^3 \text{ km}$ ($\nu \sim 10^2 \text{ Hz}$)	

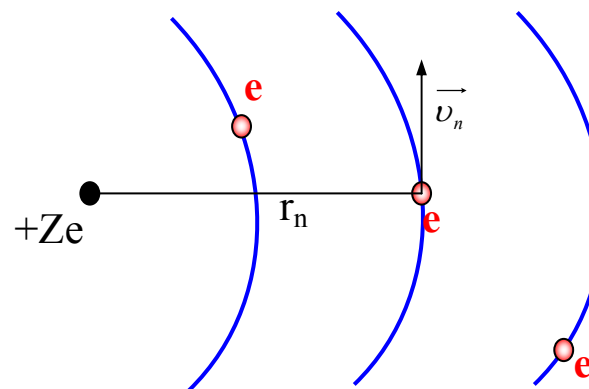
ŹRÓDŁO FAL ŚWIETLNYCH – WZBUDZONE ATOMY - ŹRÓDŁO PROMIENIOWANIA ŚWIETLNEGO

Promieniowanie atomów według modelu Bohra

$$\frac{m v_n^2}{r_n^2} = \frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 r_n^2}$$

$$E_n = E_k + E_{pot} = \frac{1}{2} m v_n^2 - \frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 r_n}$$

$$E_{pot} = -2 E_k, \quad E_c = -E_k$$



$n = 1, 2, 3, \dots$ główna liczba kwantowa

I postulat kwantowy (stan stacjonarny atomu)

W atomie istnieją takie orbity, po których poruszające się elektrony nie promieniują energii.

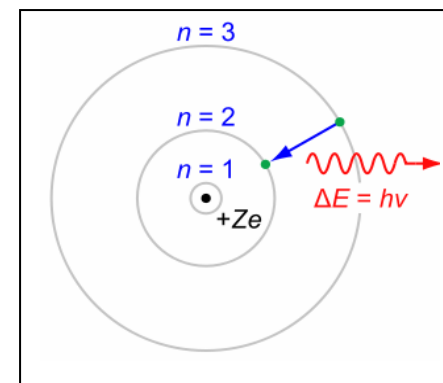
$$m v_n r_n = n \hbar, \quad \hbar = h/2\pi$$

$n = 1, 2, 3, \dots$ główna liczba kwantowa

II postulat kwantowy (stan stacjonarny atomu)

Każda emisja lub też absorpcja energii promieniowania odpowiada przejściu elektronu pomiędzy dwoma orbitami stacjonarnymi. Promieniowanie emitowane w czasie takiego przejścia jest określone wzorem:

$$E_{nm} = E_n - E_m = h \nu_{nm} = \hbar \omega_{nm}$$



Atomy wodoropodobne (1 elektron w atomie)

Rozmiar atomu wodoru w stanie podstawowym: $r_n = \frac{r_1 n}{Z}$, $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} m$

Prędkość: $v_n = \frac{Z \cdot \alpha}{n} \cdot c = \frac{Z \cdot v_1}{n}$, $v_1 = \alpha \cdot c = \frac{1}{137} \cdot c$, c – prędkość światła w próżni

Stała struktury subtelnej: $\alpha = \frac{1}{137}$

Skwantowane stany energii atomu: $E_n = -\frac{1}{2} Z^2 \alpha^2 (m_0 c^2) \frac{1}{n^2} = Z^2 E_1 \frac{1}{n^2}$

Energia stanu podstawowego atomu wodoru: $E_1 = -\frac{1}{2} \alpha^2 (m_0 c^2) = -13,6 \text{ eV}$ ($n=1, Z=1$) atom wodoru

Energia spoczynkowa elektronu swobodnego: $m_0 c^2 = 0,511 \text{ MeV}$

Widmo wodoru

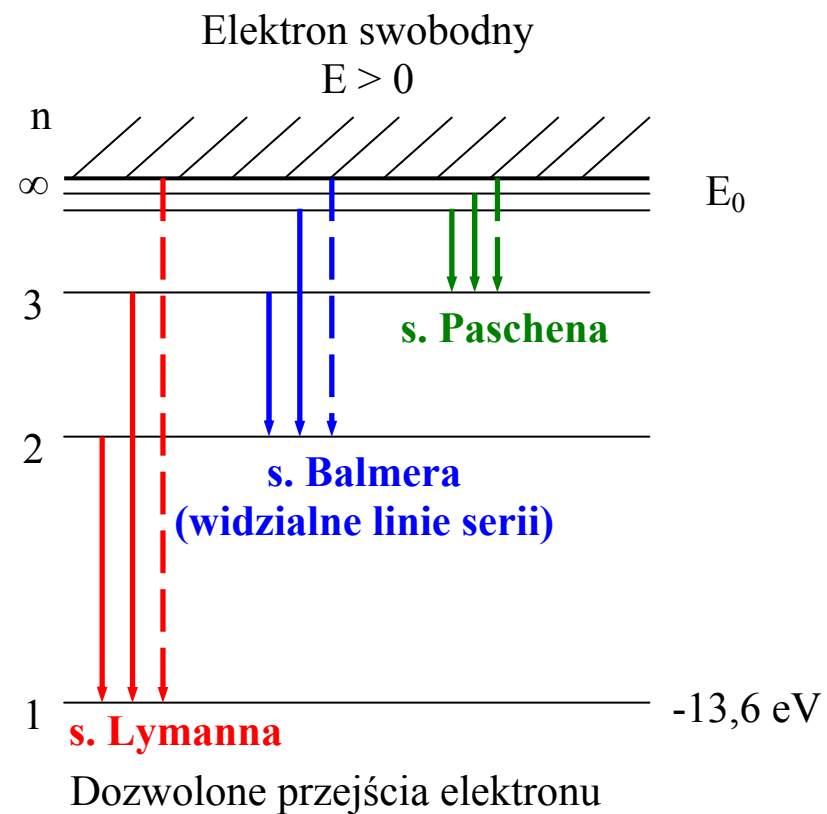
$\left(h\nu = \frac{hc}{\lambda} \right)$ $\frac{1}{\lambda} = \frac{Z^2 |E_1|}{hc} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ takie „długości fal” promieniują atomy

Stała Rydberga: $\frac{|E_1|}{hc} = R_\infty^M = 109736,807 \text{ cm}^{-1}$

stała Rydberga dla skończonej masy jądra: $R_M = \frac{R_\infty^M}{1 + \frac{m_e}{m_p}} = 109677,580 \text{ cm}^{-1}$ $\left(\frac{m_e}{m_p} = \frac{1}{1836} \right)$

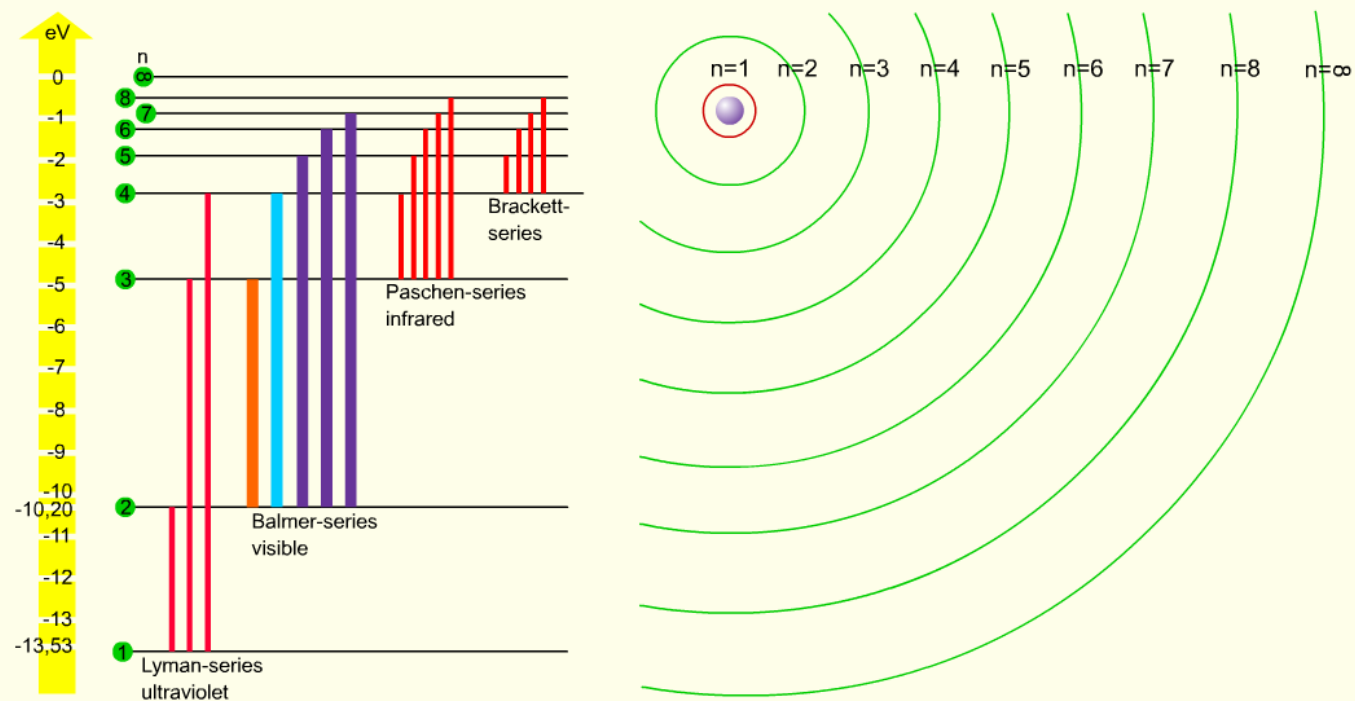
Serie widmowe

Lymanna n=1		Theodore Lyman (1874 - 1954)
Balmera n=2		Johann J. Balmer (1825 –1898) Rok odkrycia: 1885
Paschena n=3		Louis K.H.F. Paschen (1865 -1947) Rok odkrycia: 1908
Bracketta n=4		Frederick S. Brackett (1896 – 1988) Rok odkrycia: 1922
Pfund n=5		August H. Pfund (1879–1949) Rok odkrycia: 1924
Humphreysa n=6		Curtis J. Humphreys (1898- 1986) Rok odkrycia: 1953



Animacja serii widmowych w atomie wodoru

Spectral series of hydrogen

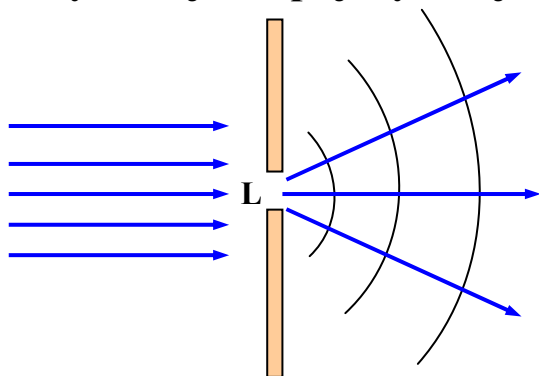


<http://www.bigs.de/en/shop/anim/termsch01.swf>

ISTOTA DYFRAKCJI (UGIĘCIA)

Dyfrakcja – zespół zjawisk, które występują, gdy fale rozchodzą się w obecności przeszkód.

Dyfrakcja na pojedynczej szczelinie



Zasada Huygensa

każdy punkt ośrodka, do którego dotarło czoło fali w chwili wcześniejszej, jest źródłem wtórnej fali kulistej o tej samej częstotliwości, co fala (padająca) pierwotna.

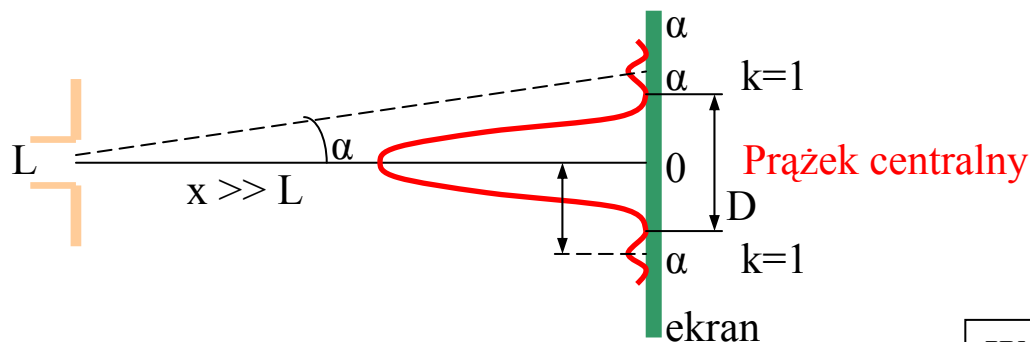
λ – długość fali padającej, L – rozmiar otworu

Gdy $\lambda \approx L$, na otworze występuje dyfrakcja.



Christiaan Huygens
(1629-1695)

Obraz ugiętego światła = obraz po przejściu światła przez siatkę dyfrakcyjną



minima $k \frac{L}{2} \sin \alpha_{mw} = \pm \pi \cdot n$, $k \equiv \frac{2\pi}{\lambda}$

maksima $k \frac{L}{2} \sin \alpha_n = \pm \pi \left(n + \frac{1}{2} \right)$, $k \equiv \frac{2\pi}{\lambda}$

- Dyfrakcja elektronów (fali de Broglie'a elektronów)

rozmiar atomu: $\lambda_e (E \sim 10^3 \text{ eV}) \approx 10^{-10} \text{ m}$

obserwacja struktur krystalicznych

- Dyfrakcja promieni X ($E \sim \text{keV}$)

Wyznaczenie szerokości szczeliny z obserwacji obrazu ugiętego

$$\frac{1}{2} k L \sin \alpha = \frac{1}{2} \frac{2\pi}{\lambda} L \sin \alpha = \pi, \quad n = 1 \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha = \frac{D/2}{\sqrt{x^2 + \left(\frac{1}{2} D\right)^2}} \quad \Rightarrow \quad L = \frac{\lambda}{\sin \alpha}$$

(np. $L \sim$ mikronów można wyznaczyć)

INTERFERENCJA FAL ŚWIETLNYCH

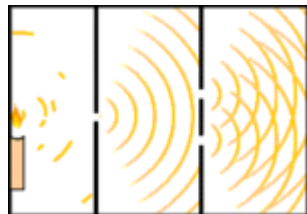
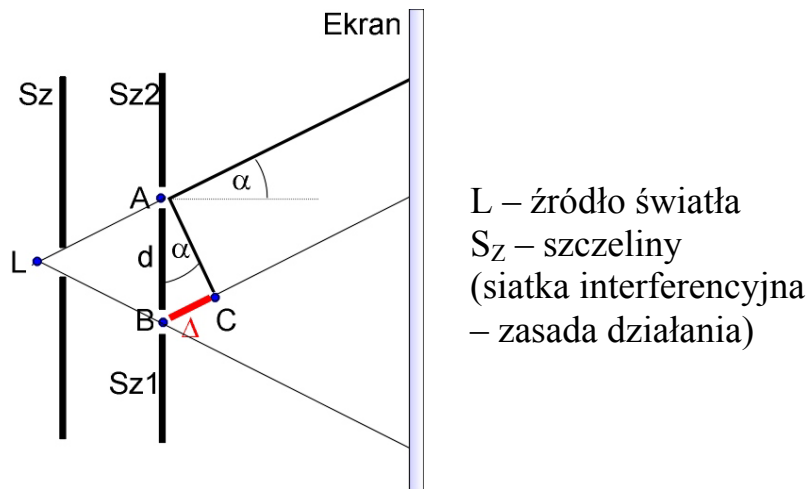
Doświadczenie Younga

różnica dróg optycznych promieni $\Delta = d \sin \alpha_k$

położenie maksimów $\sin \alpha_k = k \frac{\lambda}{d}$

d – odległość szczelin

k – rząd prążka interferencyjnego



Ilustracja doświadczenia Younga

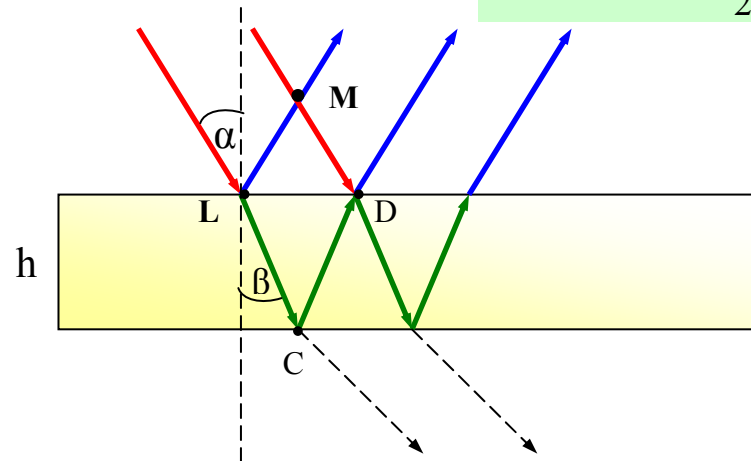
Odbicie światła od cienkich płytek

(prążki jednakowej grubości)

różnica dróg interferujących promieni $\Delta = (LC + CD)n - LM$

n – współczynnik załamania

różnica dróg promieni odbitych $\Delta = 2hn \cos \beta + \frac{1}{2} \lambda$



$\Delta = \Delta(n, \lambda)$ - obraz barwny, gdy mamy źródło światła

białego (kolorowe smugi na powierzchni, np. plama oliwy)

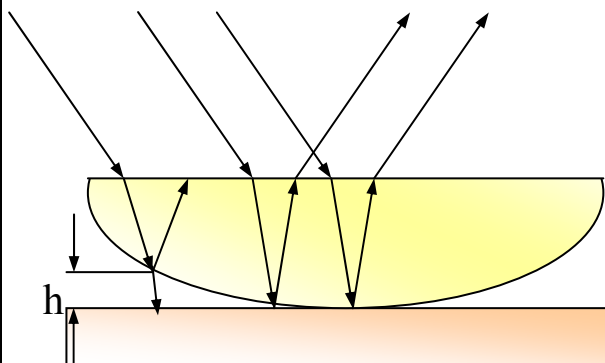
może wystąpić interferencja promieni przechodzących

Pierścienie Newtona

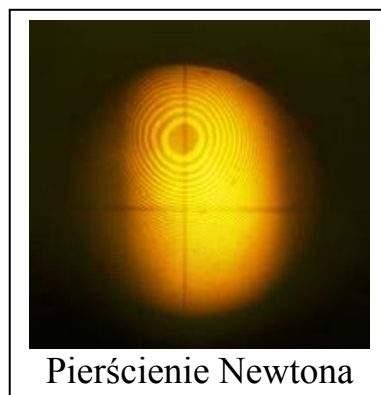
Prążki są wynikiem interferencji promieni odbitych od tylnej powierzchni soczewki z odbitych od przedniej powierzchni płytki płasko – równoległej. Dla światła

białego powstają wielobarwne prążki dla monochromatycznego jasne i ciemne prążki.

$$\Delta = 2h + \frac{\lambda}{2} \quad h - \text{zmienne}$$



Układ do obserwacji



Pierścienie Newtona

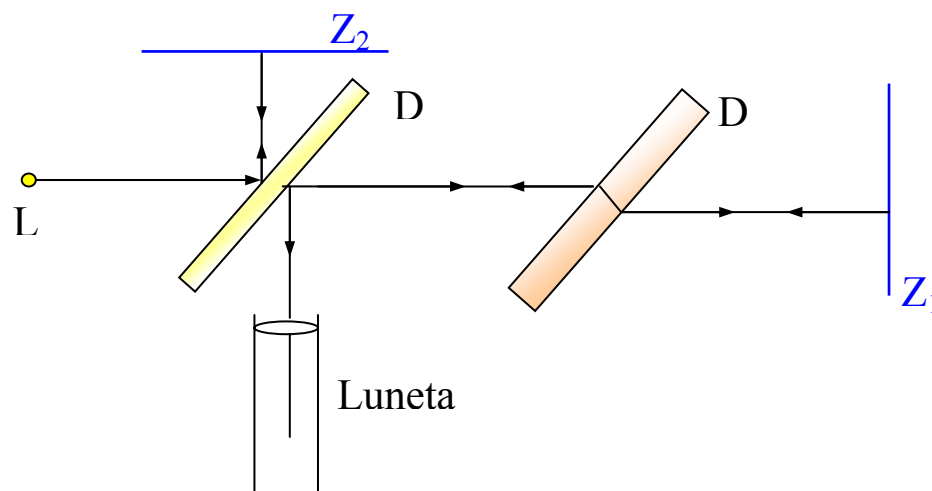
Interferometr Michelsona

D_1, D_2 – płytki płasko – równoległe

Z_1, Z_2 – zwierciadła

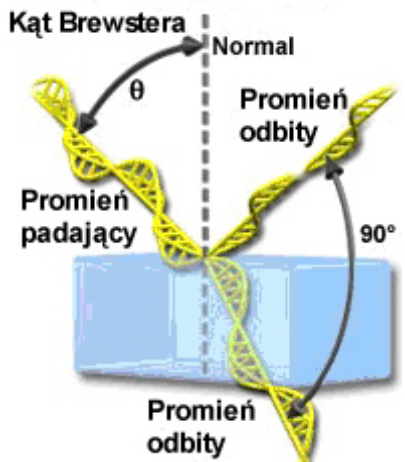
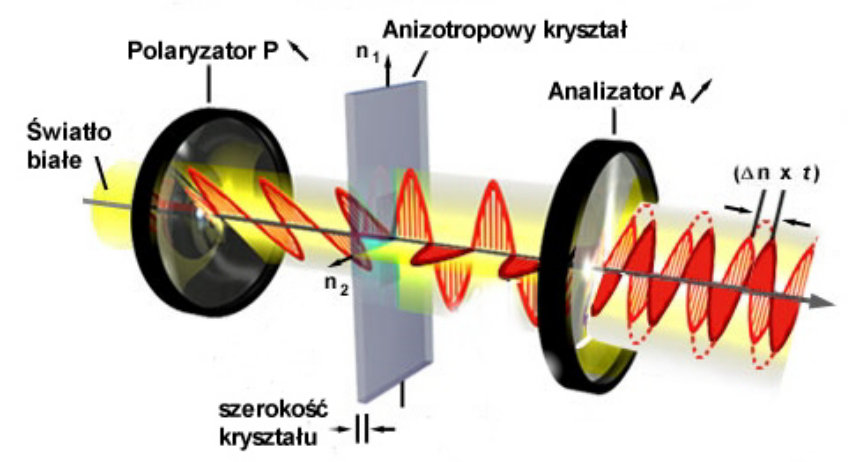
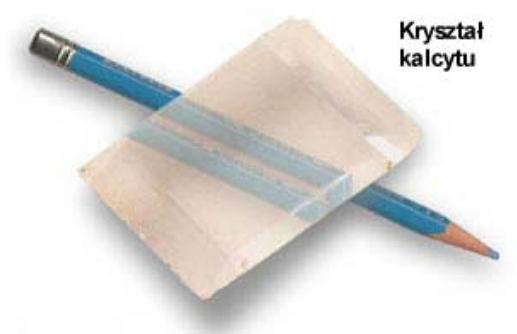
L – źródło światła

**Pierwszy bardzo dokładny
pomiar prędkości światła ($c = \text{const}$)**



POLARYZACJA ŚWIATŁA

- podwójne załamanie światła w kryształach i polaryzacja światła przy podwójnym załamaniu
- zasada działania Nikola; polaryzatory i analizatory
- prawo Malusa
- polaryzacja przez odbicie, kąt Brewstera
- polaryzacja przez załamanie

		
Polaryzacja przez odbicie, kąt Brewstera	Zasada działania Nikola; polaryzatory i analizatory	Dwójłomność kryształów