Lab. 30 Odbicie światła od dielektryka

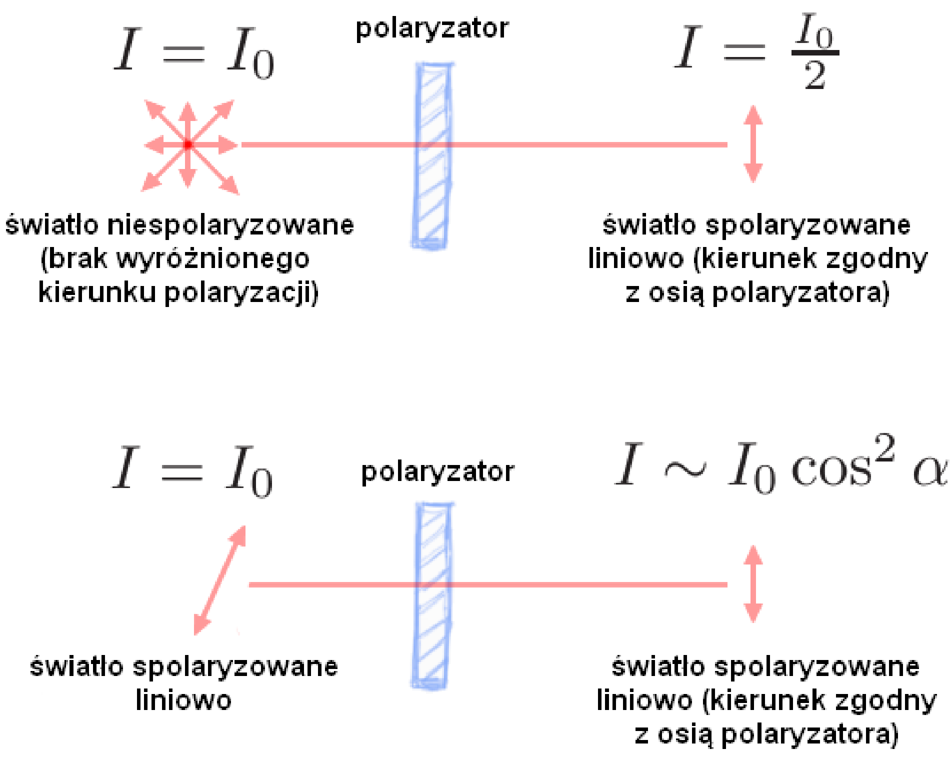
(wersja 0.1)

Filip A. Sala

1 Prawo Malusa

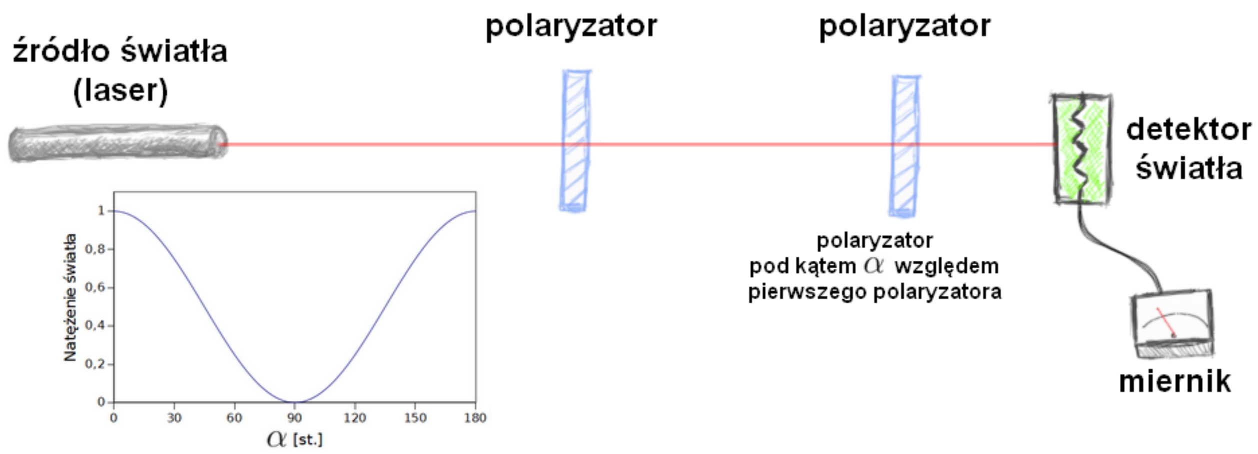
W celu przebadania prawa Malusa należy najpierw przedstawić w jaki sposób działa polaryzator. Upraszczając nieco polaryzator jest elementem optycznym, który przepuszcza światło o polaryzacji zgodnej z kierunkiem osi polaryzatora. Jeżeli na polaryzator pada światło niespolaryzowane (czyli takie, w którym nie ma wyróżnionego kierunku polaryzacji) to po przejściu przez polaryzator otrzymamy światło spolaryzowane liniowo, którego kierunek polaryzacji będzie zgodny z kierunkiem osi polaryzatora. Jednocześnie natężenie światła niespolaryzowanego, po przejściu przez polaryzator, zostanie osłabione dwukrotnie (rys. 1 - u góry).

W przypadku gdy na polaryzator pada światło spolaryzowane liniowo, którego kierunek polaryzacji tworzy kąt α z osią polaryzatora, to na wyjściu otrzymamy światło spolaryzowane liniowo, którego kierunek polaryzacji jest zgodny z kierunkiem osi polaryzatora. Natężenie światła natomiast zostanie osłabione zgodnie z zależnością $I = I_0 \cos^2 \alpha$. Zależność tę nazywamy **prawem Malusa** (rys. 1 - u dołu).



Rysunek 1: Przykład działania polaryzatora

W celu przebadanie prawa Malusa można zastosować układ przedstawiony na rysunku 2. Układ składa się z lasera, dwóch polaryzatorów oraz detektora światła podłączonego do miernika. Co prawda laser daje już światło o polaryzacji zbliżonej do liniowej jednak w celu zapewnienia lepszego stopnia polaryzacji zastosowany został dodatkowy polaryzator. Następnie światło o polaryzacji liniowej pada na drugi polaryzator (czasami zwany analizatorem), którego oś polaryzacji ustawiona jest pod kątem α do kierunku polaryzacji światła padającego. Na detektorze mierzone jest natężenie światła w zależności od kąta α.



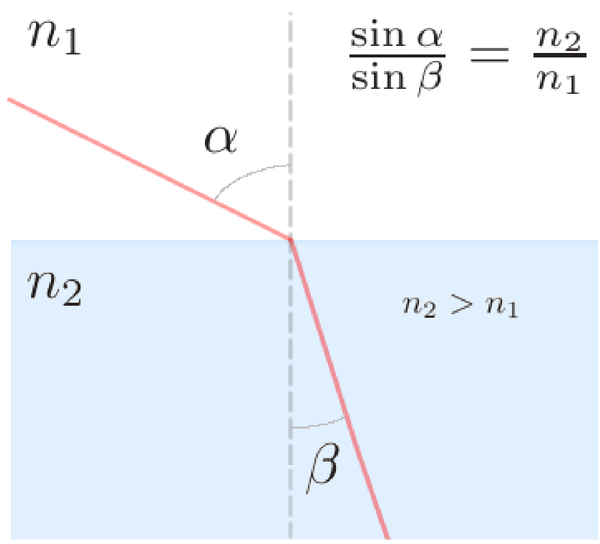
Rysunek 2: Układ pomiarowy do badania prawa Malusa

2 Prawo Snella (Snelliusa) i kąt graniczny

Prawo Snella (Snelliusa) opisuje zależność pomiędzy kątem padania α, kątem załamania β oraz współczynnikami załamania ośrodków n_1 oraz n_2:

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

Na rysunku 3 przedstawiony jest przykład w którym $n_2 > n_1$ jednak prawo Snella działa dla dowolnego przypadku.



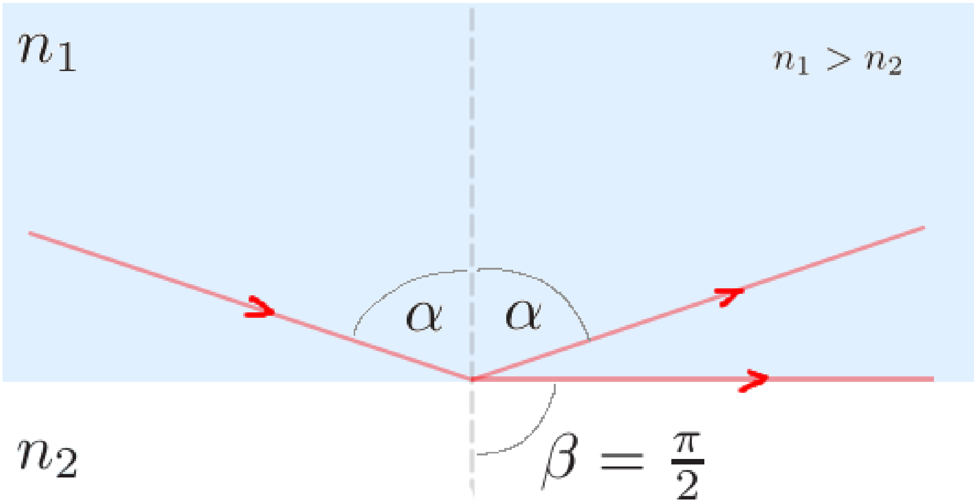
Rysunek 3: Schematyczne przedstawienie prawa Snella.

Gdy współczynnik załamania drugiego ośrodka $n_2 < n_1$ (czyli mamy do czynienia z przejściem światła z ośrodka gęstszego do rzadszego) może dojść do zjawiska zwanego całkowitym wewnętrznym odbiciem. Dla każdego materiału bowiem istnieje graniczny kąt padania α_g po przekroczeniu, którego światło nie przechodzi do drugiego (rzadszego ośrodka). Przypadek ten odpowiada kątowi załamania $\beta = 90°$.

$$\frac{\sin\alpha_g}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{gdzie} \quad \beta = 90°$$

$$\sin\alpha_g = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\alpha_g = \arcsin\frac{n_2}{n_1} \quad = \text{kąt graniczny}$$



Rysunek 4: Gdy kąt padania (α) jest równy kątowi granicznemu (α_g) to kąt załamania (β) jest równy 90°. Promień załamany biegnie wzdłuż granicy ośrodków. Dla kątów $\alpha > \alpha_g$ występuje jedynie odbicie światła od granicy ośrodków, a zjawisko to zwane jest **całkowitym wewnętrznym odbiciem**.

3 Kąt Brewstera

Jeżeli mamy do czynienia z monochromatyczną wiązką światła (czyli o jednym kolorze) to bez względu na to jaka jest jej polaryzacja możemy rozłożyć polaryzację na dwie polaryzacje liniowe prostopadłe (ortogonalne) względem siebie. Jedną z polaryzacji zwykło się oznaczać jako polaryzację typu π, a drugą (równoległą do granicy ośrodków) typu σ. W ogólnym przypadku (rys. 5a) zarówno w wiązce odbitej jak i przechodzącej do drugiego ośrodka występują obie polaryzacje. Ich natężenia są różne, zależnie od kątów padania, jednak występuje tam zarówno polaryzacja π jak i σ. Istnieje jednak taki kąt padania α_b zwany kątem Brewstera, dla którego w wiązce odbitej nie występuje polaryzacja typu π (rys. 5b). Ponadto, gdy kąt padania jest równy kątowi Brewstera promień odbity i załamany tworzą kąt 90°, zatem $\alpha_b + \beta = 90°$.

$$\beta = 90° - \alpha_b$$

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

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

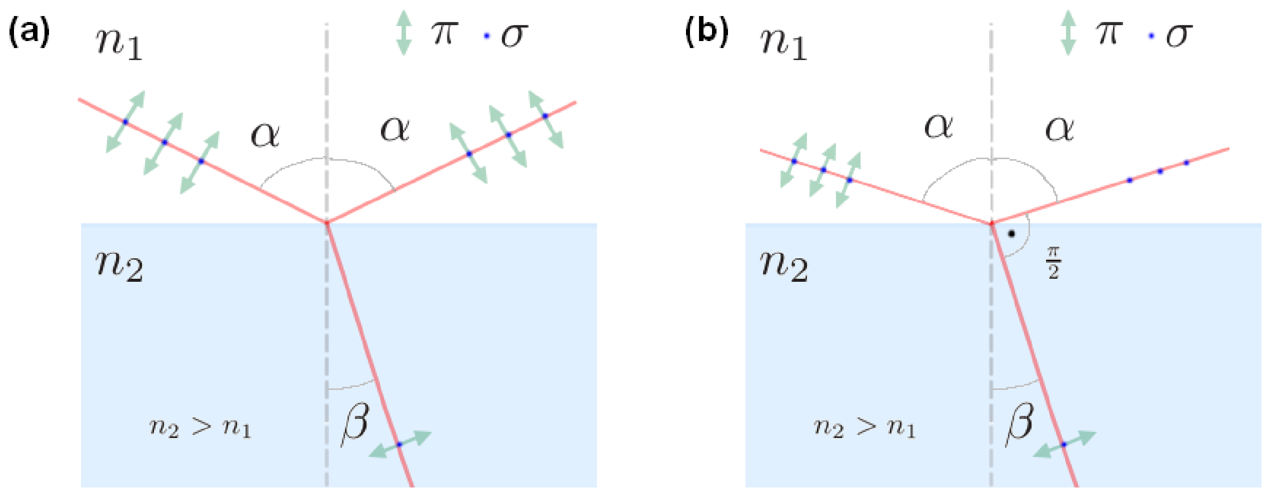
$$\operatorname{tg}\alpha_b = n_2$$

$$\alpha_b = \operatorname{arctg}\frac{n_2}{n_1} \quad = \text{kąt Brewstera}$$

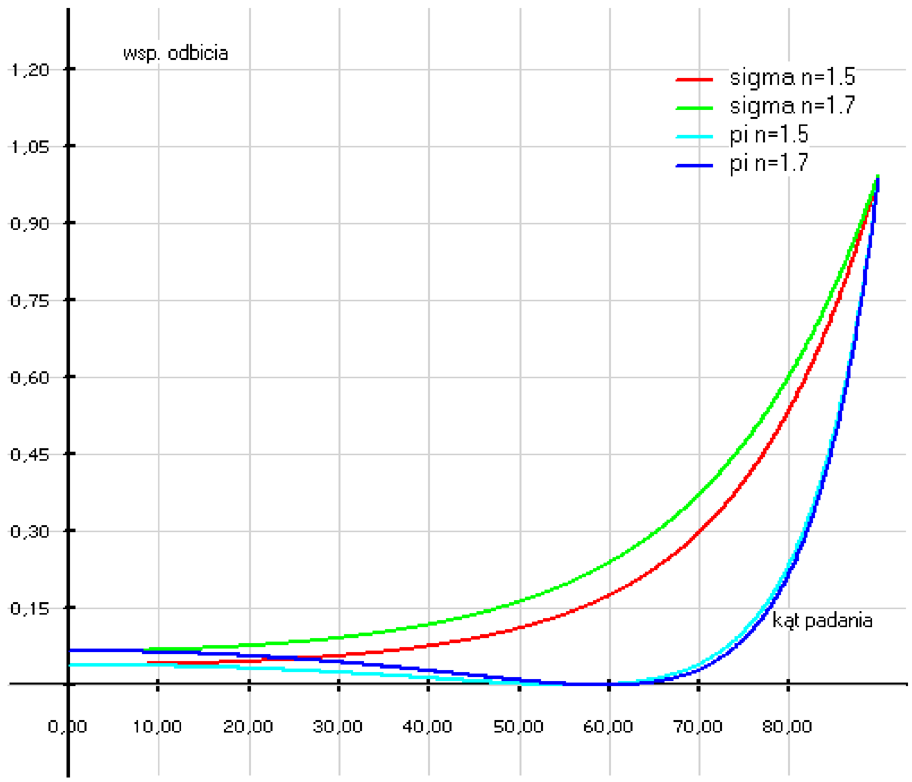
$$\text{Jeżeli } n_1 = 1$$

$$\alpha_b = \operatorname{arctg} n_2$$

Zatem na podstawie współczynników załamania możemy określić kąt Brewstera, jak również znając kąt Brewstera możemy określić współczynnik załamania.



Rysunek 5: (a) Ogólny przypadek odbicia i załamania światła na granicy ośrodków. (b) przypadek w którym kąt padania jest równy kątowi Brewstera $\alpha = \alpha_b$. W wiązce odbitej brakuje polaryzacji typu π.



Rysunek 6: Wykres zależności współczynnika odbicia w funkcji kąta padania dla dwóch składowych polaryzacji (π i σ) dla dwóch współczynników załamania $n = 1.5$ oraz $n = 1.7$. Kąt Brewstera występuje w miejscu gdzie współczynnik odbicia polaryzacji typu π jest równy 0.