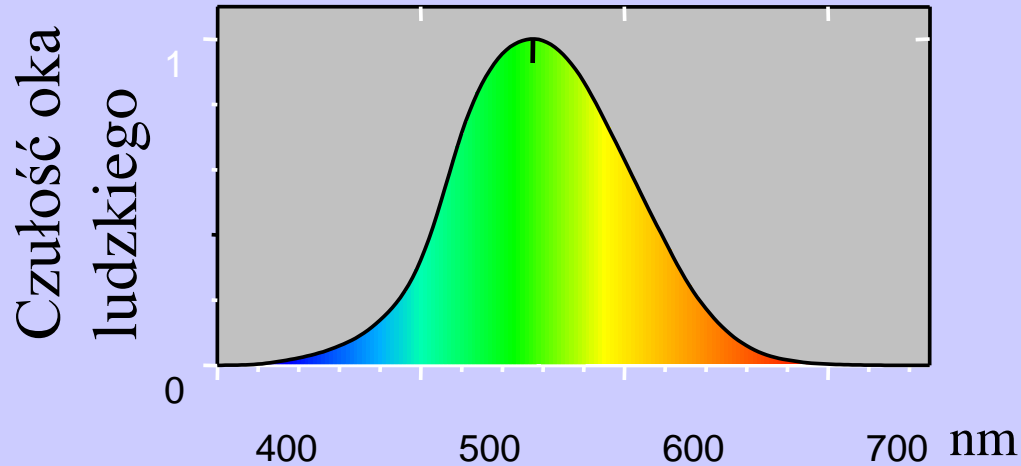


Optyka – kurs wyrównawczy
optyka geometryczna 1
(wstęp, zwierciadło płaskie)

2011 r.

Widmo fal elektromagnetycznych

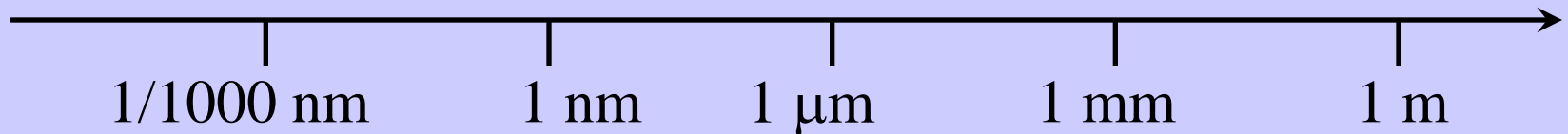


Ultrafiolet

Podczerwień



Długość fali



Prom. γ

Rtg

UV

IR

Prom.cieplne

TV

Optyka geometryczna

Operuje pojęciem promienia świetlnego i wywodzi się z **empirycznych** praw wyznaczających kierunki odbicia i załamania promienia na granicy dwóch ośrodków.

Wprowadza pojęcie współczynnika załamania, charakteryzującego optyczne właściwości ośrodka.

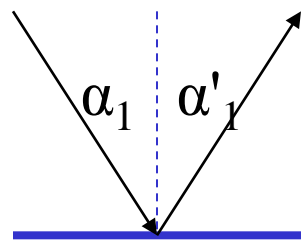
Prawa Snella (Kartezjusza)



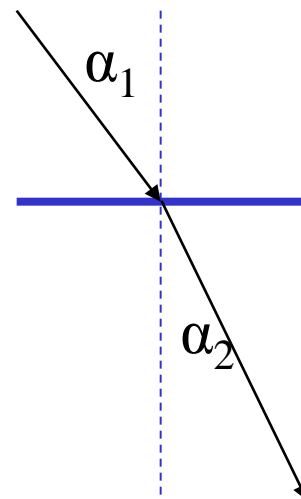
Willebrord Snellius
1580-1626



Rene Descartes
1596-1650



Prostopadła do powierzchni odbijającej, oraz promienie: padający, odbity i załamany leżą na jednej płaszczyźnie (zwanej **płaszczyzną padania**).



$$\alpha_1 = \alpha'_1$$

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

współczynnik załamania n charakteryzuje ośrodki

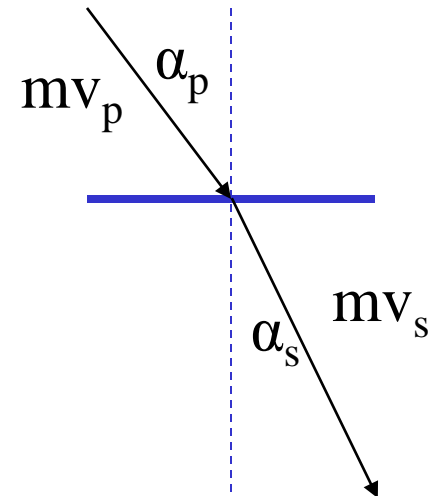
Dlaczego tak jest? (Newton)

Światło porusza się jak pocisk, który na granicy ośrodków ulega periodycznym oddziaływaniom odpychającym i przyciągającym. Siły te są prostopadłe do powierzchni i wpływają na składową pędu prostopadłą do powierzchni. Gdy korpuskuła świetlna zbliży się podczas cyklu odpychającego, to nastąpi odbicie. Jeśli podczas przyciągającego, to wejdzie do ośrodka z większą szybkością.

$$1 < \frac{\sin \alpha_p}{\sin \alpha_s} = \frac{v_{p,x} / v_p}{v_{s,x} / v_s} = \frac{v_s}{v_p}$$

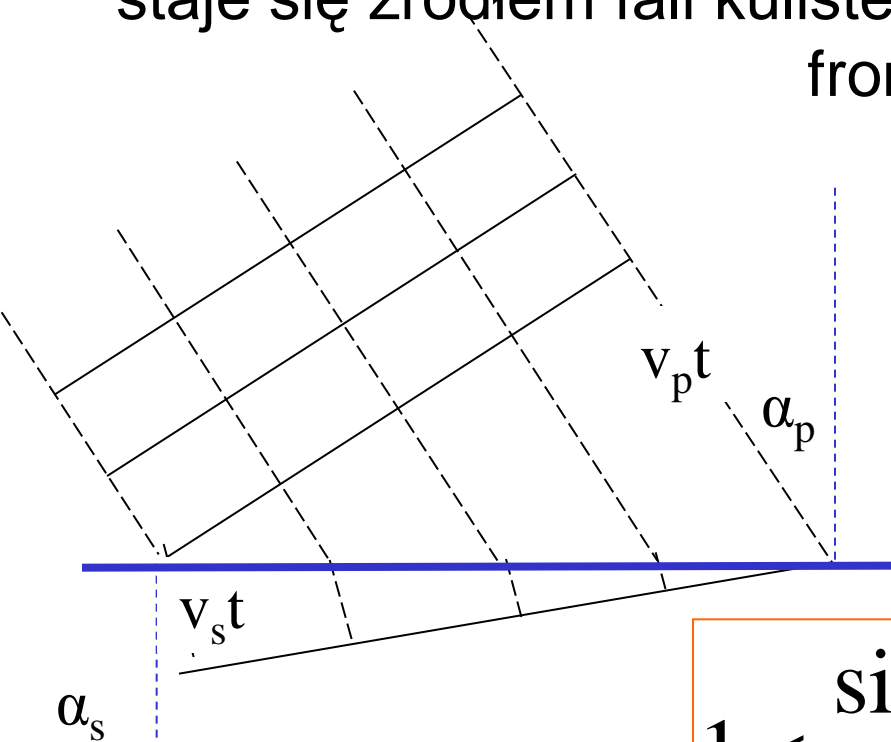
bo:

$$v_{p,x} = v_{s,x}$$



Dlaczego tak jest? (Huyghens)

Światło rozchodzi się jak fala na wodzie, każdy punkt frontu fali staje się źródłem fali kulistej. Obwiednia tych fal tworzy nowy front falowy.



$$\sin \alpha_p = \frac{v_p t}{Z}, \quad \sin \alpha_s = \frac{v_s t}{Z}$$

$$1 < \frac{\sin \alpha_p}{\sin \alpha_s} = \frac{v_p}{v_s}$$

Pokaz na wodzie

Współczynnik załamania

Prawo Snella w świetle obu teorii prowadzi do wniosków:

Huyghens – światło w szkle porusza się **wolniej** niż w próżni.

Newton – światło w szkle porusza się **szybciej** niż w próżni.

Dopóki nie **zmierzono** prędkości światła w próżni i w szkle (Foucault 1850), nie można było dokonać falsyfikacji tych teorii.

Współczynniki załamania

$$n_{\text{szkła}} = 1,5$$

$$n_{\text{wody}} = 1,33$$

$$n_{\text{diamentu}} = 2,6$$

n zależy od koloru

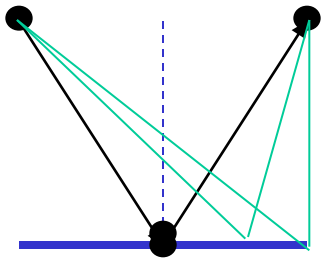


Może jest ogólniejsze prawo? Zasada Fermata

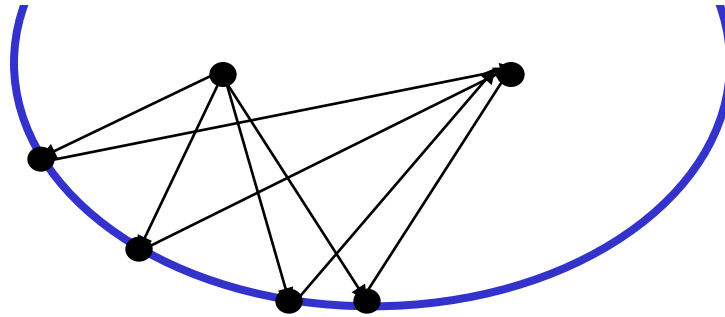
Droga optyczna $\sum_i n_i \ell_i$ promienia

Pierre de Fermat
1601-1665

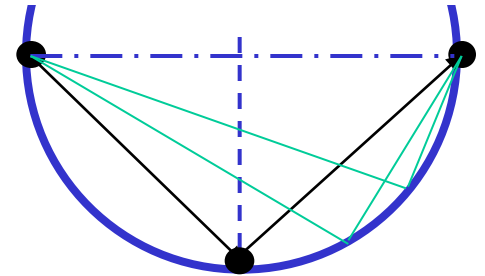
przyjmuje wartość ekstremalną (lub stałą)



min



const



max

Jak to się ma do równań Maxwell'a?

Równania Maxwell'a w układzie SI:

Uwaga: małe litery oznaczają pola *eksplicite* zależne od czasu.

$$\nabla \times \vec{h} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{d}}{\partial t} \quad \nabla \vec{d} = \rho$$

$$\nabla \times \vec{e} = -\frac{\partial \vec{b}}{\partial t} \quad \nabla \vec{b} = 0$$

$$\vec{d} = \varepsilon_0 \vec{e} + \vec{p}$$

$$\vec{b} = \mu_0 \mu_r \vec{h}$$

\vec{h}	- natężenie pola magnetycznego
\vec{e}	- natężenie pola elektrycznego
\vec{b}	- indukcja pola magnetycznego
\vec{d}	- indukcja pola elektrycznego
\vec{p}	- (prąd) polaryzacji
\vec{j}	- prąd przewodnictwa: $\vec{j} = \sigma \vec{e}$

W dielektryku: $\vec{p} \propto \vec{e}$, albo $\vec{p} = \varepsilon_0 \kappa \vec{d}$ (κ - podatność dielektryczna ośrodka).

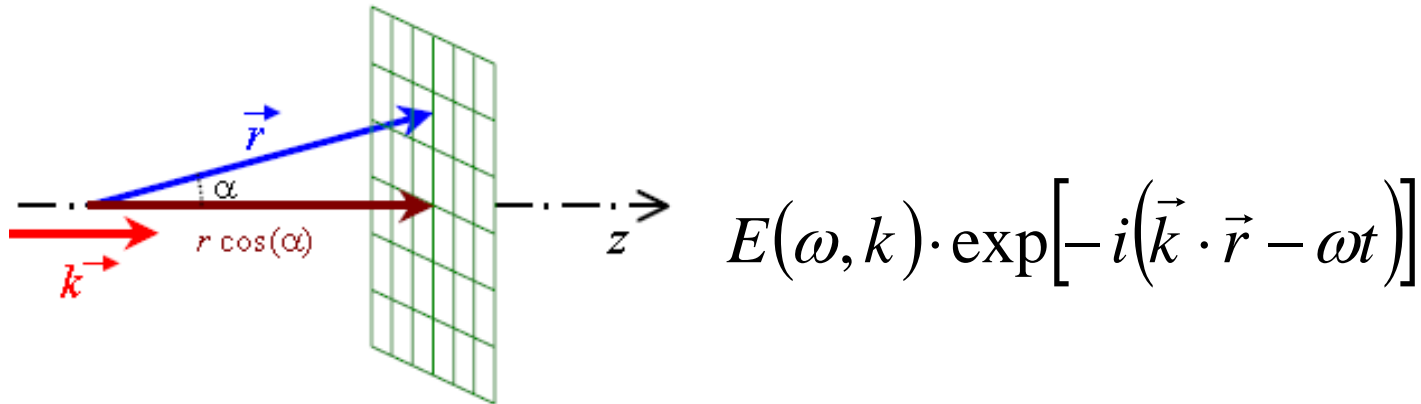
Tak więc:

$$\vec{d} = \varepsilon_0 \vec{e} + \varepsilon_0 \kappa \vec{e} = \varepsilon_0 (1 + \kappa) \vec{e} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{e} \quad (\varepsilon_r = n^2 \text{ jeżeli } \kappa \text{ jest skalarem})$$

$$\nabla^2 \vec{e} - \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial^2 \vec{e}}{\partial t^2} = 0$$

$$\frac{1}{v^2} = \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r, \text{ w próżni: } \frac{1}{c^2} = \mu_0 \varepsilon_0$$

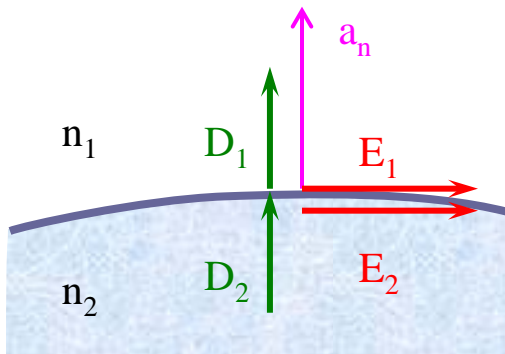
Fala płaska: wygodny model



Składowe **normalne indukcji** są zachowane:

$$\vec{a}_n \cdot (\vec{D}_2 - \vec{D}_1) = 0$$

$$\vec{a}_n \cdot (\vec{B}_2 - \vec{B}_1) = 0$$

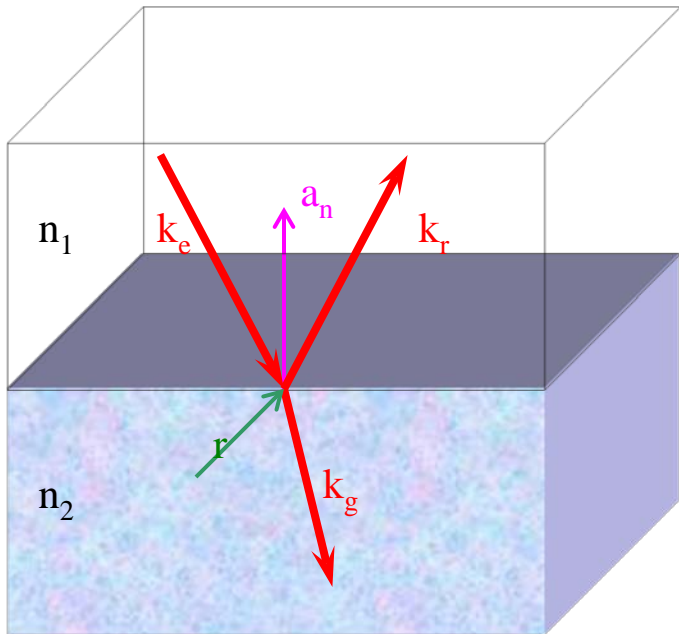


Składowe **styczne natężeń** są zachowane:

$$\vec{a}_n \times (\vec{E}_2 - \vec{E}_1) = 0$$

$$\vec{a}_n \times (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = 0$$

Pola $\vec{E}, \vec{D}, \vec{H}, \vec{B}$ wszystkie zależą od $\exp[-i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)]$



Równość odpowiednich składowych oznacza, że każdym punkcie powierzchni granicznej musi być zachowany iloczyn skalarny $\vec{k} \cdot \vec{r}$

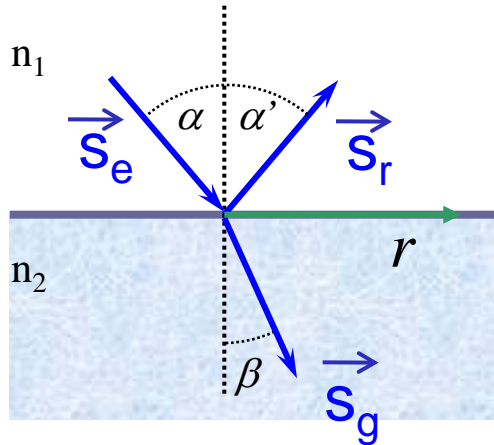
$$\vec{k}_e \cdot \vec{r} = \vec{k}_r \cdot \vec{r} = \vec{k}_g \cdot \vec{r}$$

\vec{r} jest dowolnym promieniem wodzącym, może być na przykład jak na rysunku: w płaszczyźnie rozdziału, prostopadły do \vec{k}_e

$$\text{Wówczas: } \vec{k}_e \cdot \vec{r} = 0 = \vec{k}_r \cdot \vec{r} = \vec{k}_g \cdot \vec{r} \Rightarrow \vec{k}_r, \vec{k}_g \perp \vec{r}$$

Wniosek 1: wszystkie wektory k leżą w jednej płaszczyźnie

Uwzględniając współczynniki załamania w ośrodkach można napisać:



$$n_1 \frac{2\pi}{\lambda_0} \vec{S}_e \cdot \vec{r} = n_1 \frac{2\pi}{\lambda_0} \vec{S}_r \cdot \vec{r} = n_2 \frac{2\pi}{\lambda_0} \vec{S}_g \cdot \vec{r}$$

teraz wektor \vec{r} wodzący leży w płaszczyźnie padania i stycznie do powierzchni rozdziału ośrodków

Podstawiając do wyrażen na iloczyny skalarne odpowiednie cosinusy uzyskamy:

$$n_1 \frac{2\pi}{\lambda_0} \cos(90^\circ - \alpha) = n_1 \frac{2\pi}{\lambda_0} \cos(90^\circ - \alpha') = n_2 \frac{2\pi}{\lambda_0} \cos(90^\circ - \beta)$$

$$n_1 \sin(\alpha) = n_1 \sin(\alpha') = n_2 \sin(\beta)$$

$$\alpha = \alpha' \quad n_1 \sin(\alpha') = n_2 \sin(\beta)$$

Przybliżenie optyczne

Jeżeli ośrodek nie jest jednorodny, to dla funkcji $\vec{E}(\vec{r}) \exp\left[-i\frac{2\pi}{\lambda} J(\vec{r})\right]$ RM prowadzą do:

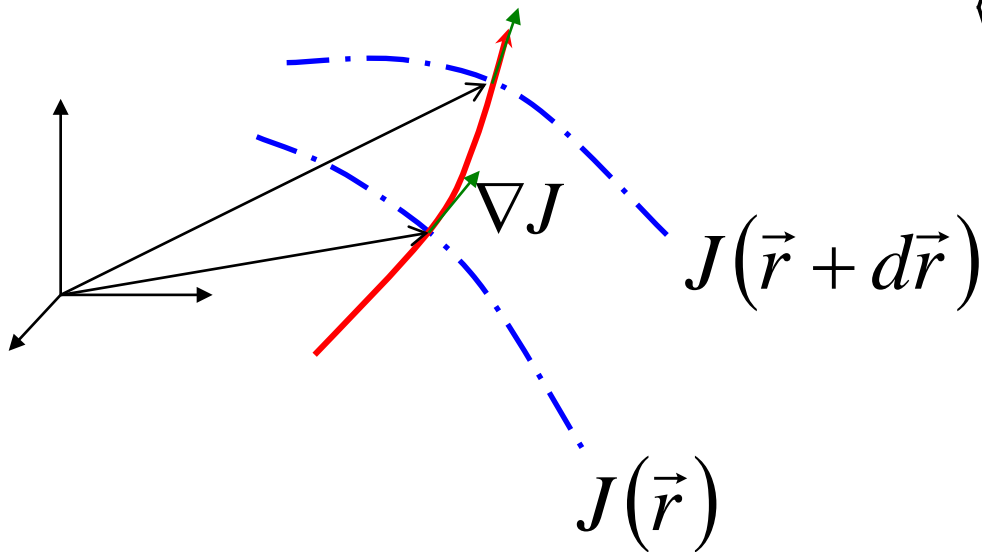
$$\nabla J(\vec{r}) \times \vec{E}(\vec{r}) - c\mu_r(\vec{r})\mu_0\vec{H}(\vec{r}) = 0$$

$$\nabla J(\vec{r}) \times \vec{H}(\vec{r}) + c\varepsilon_r(\vec{r})\varepsilon_0\vec{E}(\vec{r}) = 0$$

Równanie eikonału:

$$|\nabla J(\vec{r})| = n(\vec{r})$$

$$\langle \vec{S} \rangle = \frac{c}{n(\vec{r})^2} \langle w \rangle \nabla J(\vec{r})$$



Promień światła to **trajektorie** w kierunku wektora Poytinga (przepływu energii). Tak więc są to trajektorie w kierunku ∇J **prostopadłe** do powierzchni falowych.

Optyka geometryczna = optyka promieni

Manipulowanie światłem za pomocą odbicia i załamania

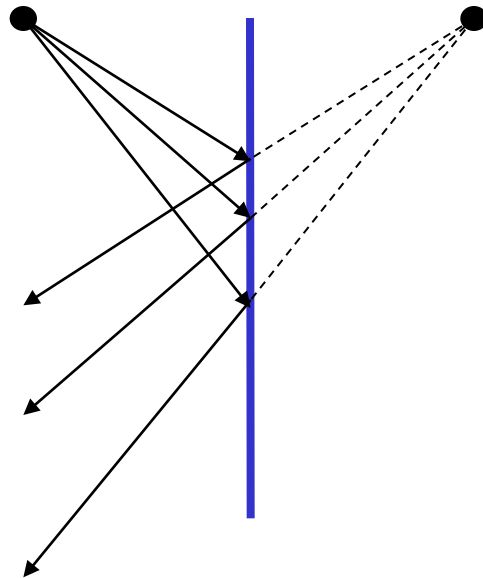
Zwierciadła (płaskie, kuliste, inne)

Pryzmaty i inne

Soczewki (sferyczne, asferyczne)

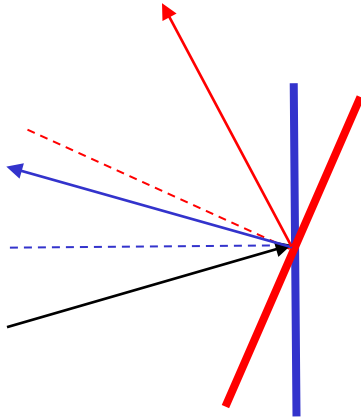
Zwierciadło płaskie

Odwzorowanie stygmatyczne: punkt w punkt.
Odwraca przód z tyłem a nie lewo prawo
(ręka od okna pozostaje ręką od okna)



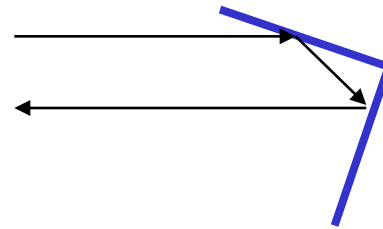
Zwierciadło płaskie

Zwierciadło w galwanometrze



skrócenie zwierciadła o α powoduje
skrócenie promienia odbitego o 2α

Retroreflektor



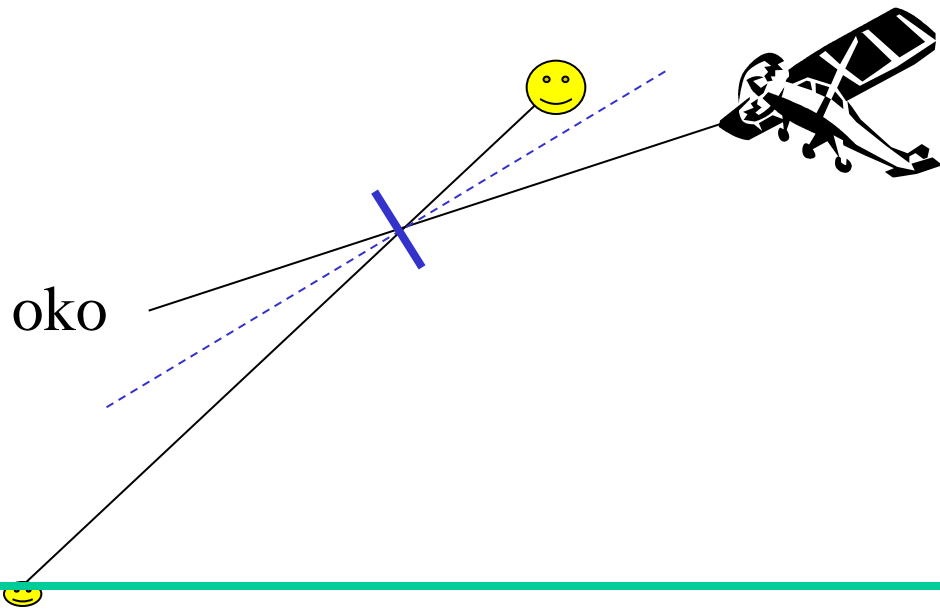
Pomiary odległości (również do Księżyca)

Optyczne linie opóźniające

Mikroretroreflektory rozproszdzone na powierzchni: znaki
drogowe, naszywki odblaskowe,

pokaz

Zwierciadło płaskie może Ci uratować życie. Jak celować?



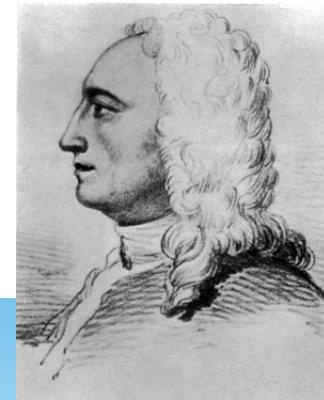
Otwór w zwierciadélku

Jeśli zobaczymy jednocześnie plamkę słoneczną na podłodze (w zwierciadle) i samolot (bezpośrednio przez otwór), to odbity promień Słońca trafi w samolot.

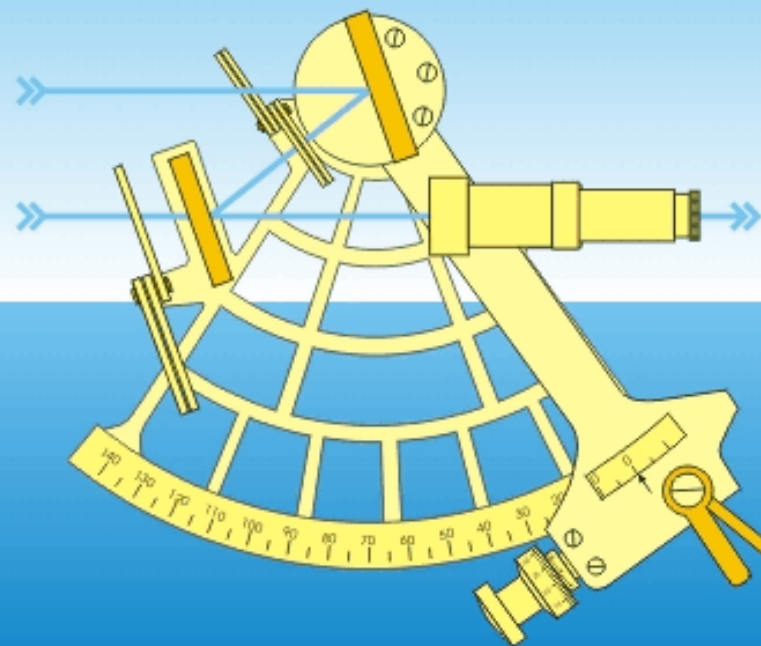
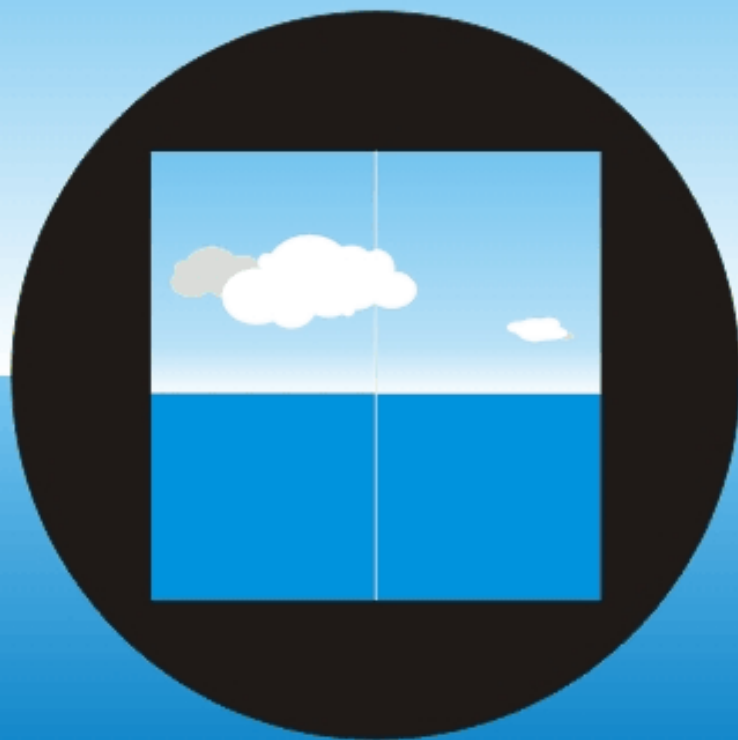
Samolot uchwycić w V z palców. Oświetlić palce odbitym światłem Słońca.

Zwierciadło płaskie - sekstant

John Hadley - 1731



1



(Wikipedia)