

## Optika

### Základní vlastnosti světla

Optika - nauka o světle; Světlo je elmg. vlnění, které vyvolává vjem v našem oku.

Přehled elmg. vlnění:

- dlouhé vlny
  - střední
  - krátké
  - velmi krátké
- } rozhlasové
- infračervené záření
  - viditelné z. (380 (400) nm – 760 (790) nm)
  - ultrafialové z.
  - rentgenové z.
  - $\gamma$ záření
  - kosmické z.  $\lambda < 10^{-4}$  nm

Vývoj názorů na podstatu světa

1) Huygensova vlnová teorie (r. 1678)

Světlo je podélné vlnění velmi řídké látky, tzv. světelného éteru.

2) Newtonova korpuskulární teorie

Podstata světla jsou částice (korpuskule), které se obrovskou rychlostí šíří od zdroje.

3) Současná teorie

Světlo je elektromagnetické vlnění, mající vlnový i částicový charakter.

Základní pojmy:

Světelný zdroj: mění různé druhy energie (vnitřní, el., chem., jader.) na světelnou.

Optické prostředí: prostředí, ve kterém se světlo šíří

Druhy opt. prostředí: průhledné - propouští světlo bez podstatného zeslabení, přes toto prostředí vidíme předměty  
nepřůhledné - nepropouští světlo – rozptyluje ho nebo odráží  
průsvitné - propouští světlo a současně ho rozptyluje  
stejnorodé(izotropní) prostředí - takové, které má všude stejné opt. vlastnosti – světlo se v něm šíří přímočaře

Vlnoplocha, světelný paprsek – Světlo se šíří v kulových vlnoplochách podle Huygensova principu.

Přímka kolmá na vlnoplochu udává směr, kterým se světlo šíří, a nazývá se světelný paprsek.

## Monochromatické světlo (světlo určité $\lambda$ )

bílé sv. = č o ž z m f  
 760 nm – 400 nm

## Rychlost světla

Galileo Galilei (1564 – 1642) „Dvě nové vědy“: rozhovor mistra Sagreda a žáků.

Sagredo: „Avšak zač a za jak velikou musíme považovat tuto rychlost světla? Je okamžitá, ihned pomíjející, nebo potřebuje určitou dobu jako ostatní pohyby? Nemůžeme to rozhodnout pokusem?“

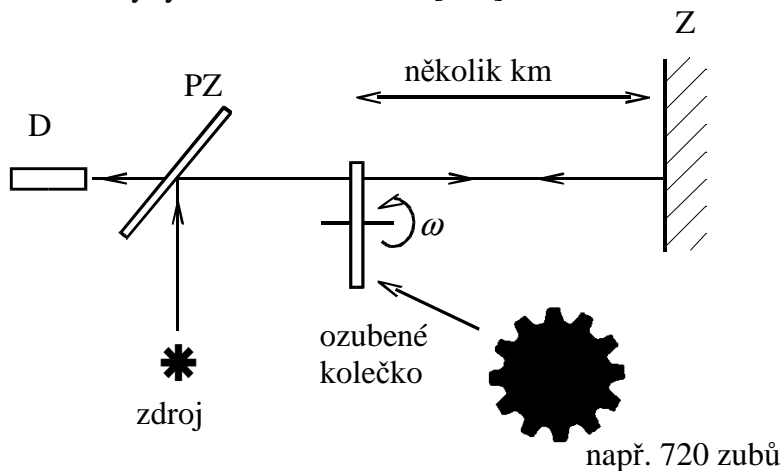
Simplicio: „Denní zkušenost ukazuje, že šíření světla je okamžité, neboť vidíme-li ve velké vzdálenosti výstřel, dorazí záblesk k našim očím bez časové ztráty; hřmot však dospěje k uchu teprve po značné chvíli.“

Sagredo: „Nuže Simplicio, jediný závěr, který mohu učinit z tohoto dobře známého zjevu, je ten, že zvuk dospívající k našemu uchu se šíří pomaleji než světlo; nic mi však neříká, zda světlo dorazí okamžitě, nebo k tomu přece jen potřebuje nějakou dobu, i když velmi krátkou...“

Galilei vymyslel jak určit rychlost světla (neproveditelný pokus): Dva muži se svítilnou v určité vzd. od sebe, *A* odstíní, *B* odstíní po obdržení signálu a měří se čas.

- r. 1675 dánský astronom Eric Röhrmer, ze zákrytu Jupiterova měsíce

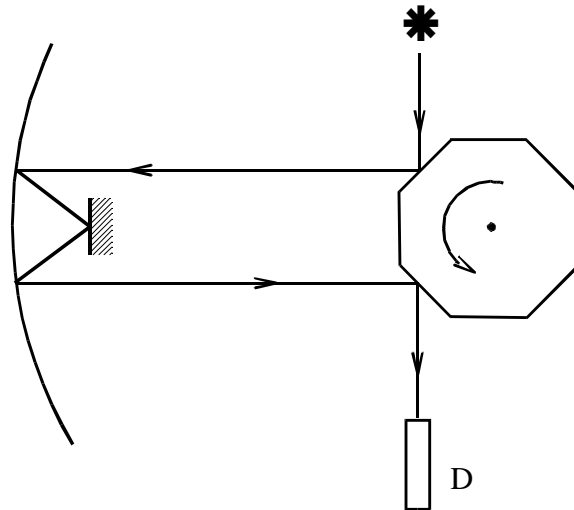
- r. 1849 francouzský fyzik Armand Fizeau [fizó]



Za polopropustným zrcadlem *PZ* je ozubené kolečko, které se otáčí. Jakmile světlo projde otvorem mezi zuby kolečka, postupuje k zrcadlu *Z*, odkud se po odrazu vrací zpět. Když na zpáteční cestě světlo projde týmž otvorem nebo dalším, vidí pozorovatel v dalekohledu *D* světelný zdroj. Když světlo dopadne na zub, nevidí nic. Při jisté úhlové frekvenci otáčení kolečka pak lze určit velikost rychlosti světla.

20. století (přibl. 1907 – N.C.) Albert Abraham Michelson [majklzon]

americký fyzik - metoda rotujících zrcátek ↓



Metoda rotujících zrcátek pracuje na podobném principu jako Fizeauova metoda.

$$c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$c \doteq 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

mezní rychlost pohybujících se hmotných objektů ve vakuu

Definice metru:

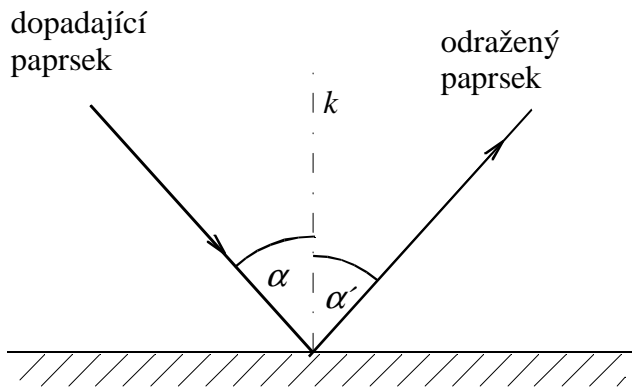
Metr je dráha, kterou světlo urazí ve vakuu za  $\frac{1}{299\,792\,458}$  s.

Ve vakuu nezávisí  $c$  na  $f$ . V každém jiném prostředí je rychlost světla  $v < c$  a zároveň závisí na  $f$  světla.

## Odraz a lom světla

Při dopadu světla na rozhraní dvou opt. prostředí může nastat odraz a lom a část světla se pohlcuje prostředími.

Odraz: Světlo se po odrazu od rozhraní vrací do původního prostředí.



$k$  – kolmice dopadu

$\alpha$  – úhel dopadu

$\alpha'$  – úhel odrazu

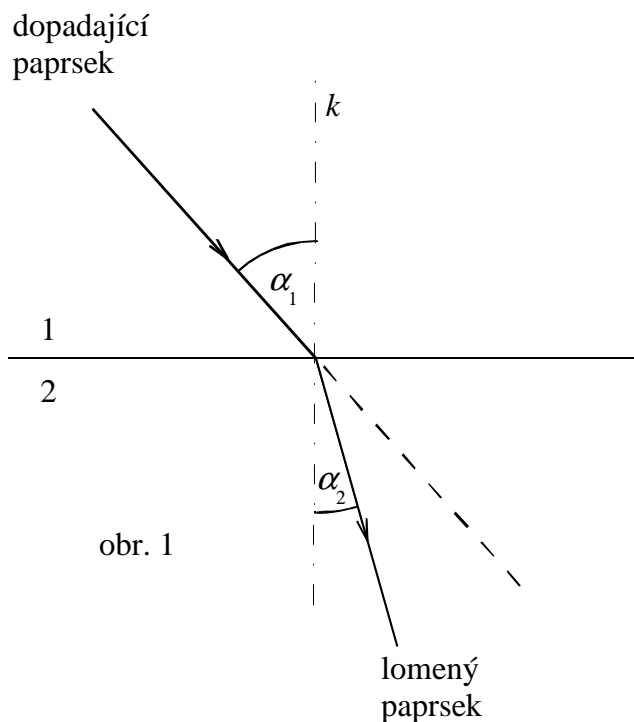
Platí: 1) Úhel odrazu se rovná úhlu dopadu .

$$\alpha' = \alpha \text{ [Zákon odrazu]}$$

2) Odražený paprsek zůstává v rovině dopadu (ta je dána dopadajícím paprskem a kolmicí dopadu).

3) Úhel odrazu nezávisí na  $\lambda$  dopadajícího světla.

Lom: Světlo po dopadu na rozhraní dvou prostředí proniká do druhého prostředí.



obr. 1

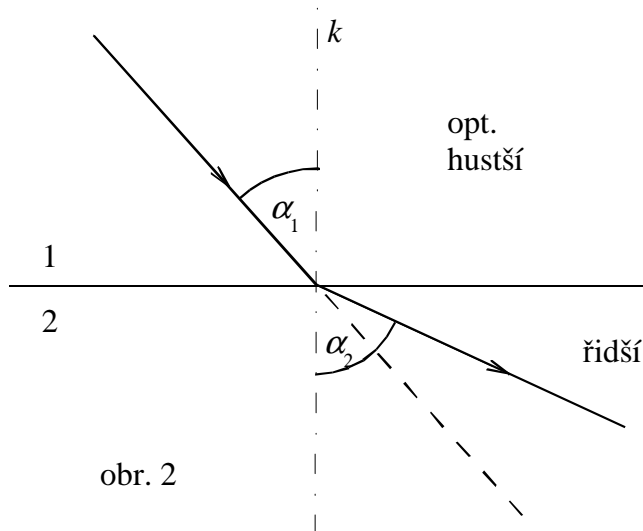
Platí: 1) Zákon lomu = Snellův zákon lomu - Willebrord Snell (1591-1626):

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \text{konst.}$$

Poměr sinů úhlu dopadu a úhlu lomu je roven poměru rychlostí světla v prvním a druhém prostředí.

- 2) Lomený paprsek zůstává v rovině dopadu.
- 3) Úhel lomu závisí na vlnové délce světla.

Lom světla ke kolmici (obr. 1) nastává tehdy, jestliže se světlo šíří z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího.  $\alpha_2 < \alpha_1 \Rightarrow \sin \alpha_2 < \sin \alpha_1 \Rightarrow v_2 < v_1$



Lom světla od kolmice (obr. 2) nastává tehdy, jestliže se světlo šíří z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího (např. ze skla do vzduchu).

$$\alpha_1 < \alpha_2 \Rightarrow \sin \alpha_1 < \sin \alpha_2 \Rightarrow v_1 < v_2$$

## Index lomu

Absolutní index lomu je podíl rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí.

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{bezrozměrná veličina; čím větší } n, \text{ tím menší } v \text{ (tím opticky hustší prostředí)}$$

Charakterizuje optické prostředí, udává, kolikrát je větší rychlost světla ve vakuu než v daném prostředí, závisí na  $\lambda$ , tzn. na  $f$  (barvě, energii) ... (užíváme  $n$  žlutého sodíkového světla)

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{c}{c} = \frac{c}{v_2} \cdot \frac{v_1}{c} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\boxed{\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}}$$

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

Vakuum a vzduch ...  $n = 1$

sklo	... $n = 1,5$
voda	... $n = \frac{4}{3}$

Příklady:

- 1) Vypočítejte rychlost světla ve vodě ( $n = \frac{4}{3}$ ).

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{\frac{4}{3}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\underline{\underline{v = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

- 2) Rychlost červeného světla ve skle je  $199\,200 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , fialového světla  $196\,700 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . Určete index lomu skla pro červené a fialové světlo.

$$n = \frac{c}{v}$$

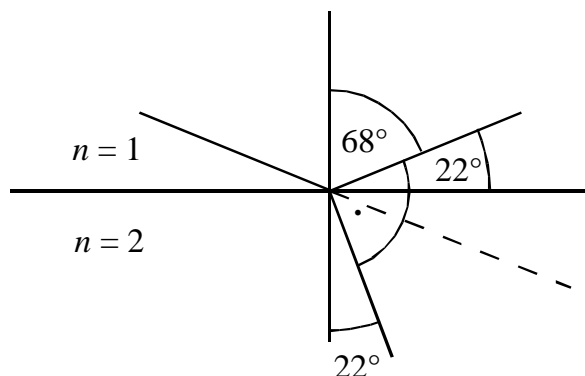
$$\Rightarrow n_c = \frac{300\,000}{199\,200} = \underline{\underline{1,506}}, \quad n_f = \frac{300\,000}{196\,700} = \underline{\underline{1,525}}$$

- 3) Index lomu ledu je 1,31; vody 1,33; oleje 1,47; skla 1,51. Jaká je rychlost světla v uvedených prostředích?

$$v = \frac{c}{n} \quad v_{\text{led}} = 229\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \quad v_{\text{voda}} = 226\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_{\text{olej}} = 204\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \quad v_{\text{sklo}} = 199\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

- 4) Žluté světlo sodíkové lampy dopadá ze vzduchu ( $n \doteq 1$ ) na stěnu diamantu pod úhlem  $68^\circ$ , lomený paprsek je kolmý na odražený. Jaký je index lomu pro diamant?



Řešení:

Z obrázku plyne:

$$\frac{\sin 68^\circ}{\sin 22^\circ} = \frac{n_d}{n_1} = n_d = 2,48$$

Index lomu diamantu je 2,48.

## Úplný odraz světla

Může nastat při lomu paprsku dopadajícího z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího (např. ze skla do vzduchu).

Pro jistý úhel -  $\alpha_m$  (mezný úhel) je úhel lomu  $\alpha_2 = 90^\circ$ .

Pro  $\alpha > \alpha_m$  se světlo neláme do řidšího prostředí, ale úplně se odráží do původního prostředí.

Nastane úplný (totální) odraz světla

(lesk bublin v kapalině, ve skle, „mokřý“ asfalt v dálce v letních dnech).

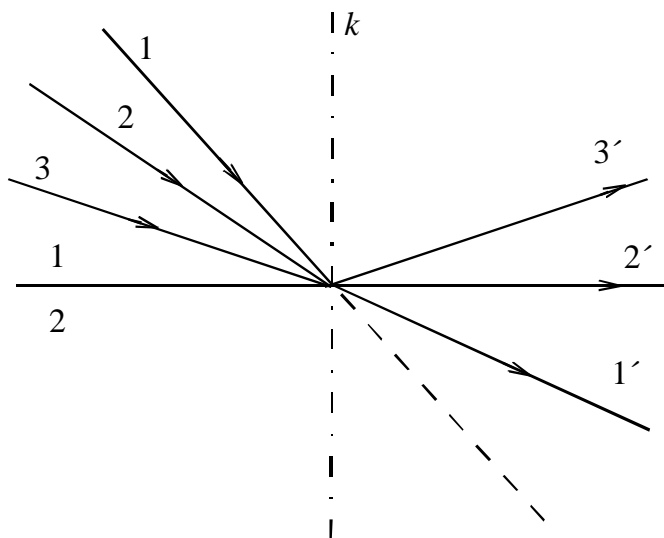
$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{\overbrace{n_2}^1}{n_1}$$

$$\underbrace{\sin \alpha_2}_1$$

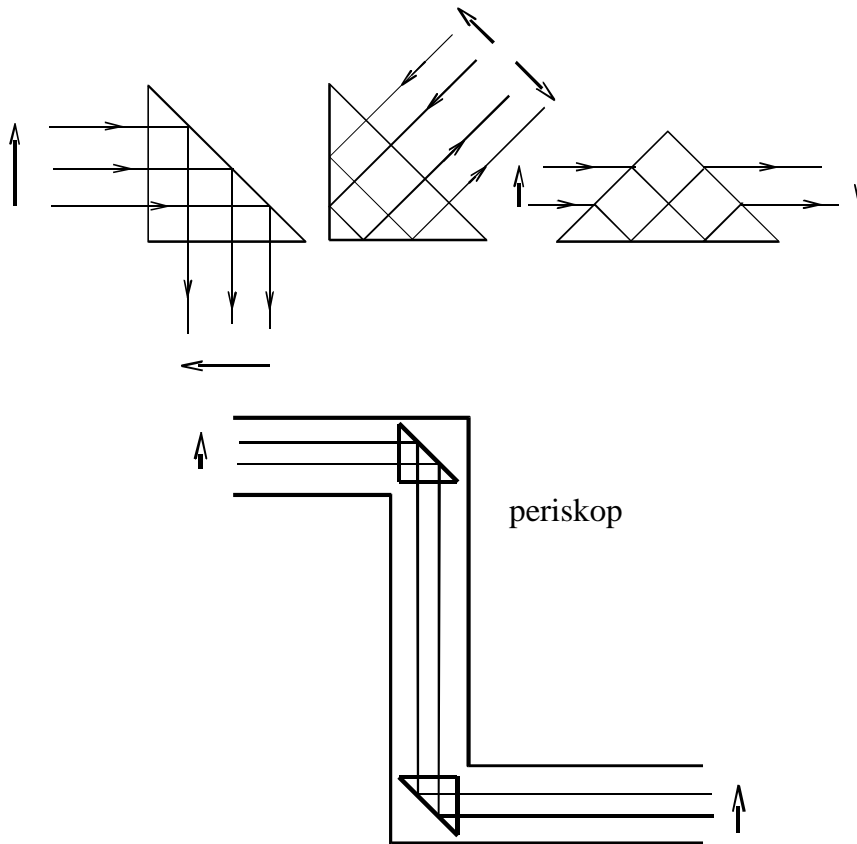
Vztah pro mezný úhel na rozhraní daného prostředí a vzduchu(vakua):

$$\boxed{\sin \alpha_m = \frac{1}{n_1}}$$

Obr. K úplnému odrazu:



Užití totálního odrazu: V odrazných hranolech místo zrcadel v mnoha opt. přístrojích – např. skleněný trojboký hranol (v periskopu):



Dále se užívá totálního odrazu ve světlovodných vláknech.

Příklad:

Při jakém úhlu dopadu nastává úplný odraz, jestliže světlo prochází:

a) ze skla ( $n = 1,5$ ) do vzduchu;

b) z vody ( $n = 1,3$ ) do vzduchu;

c) ze skla do vody?

---


$$\sin \alpha_m = \frac{1}{n_1}$$

sklo:  $\alpha_m = 41^\circ 49'$

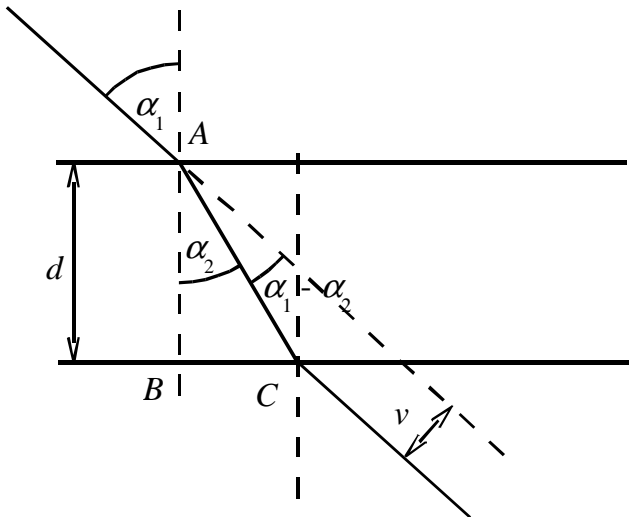
voda:  $\alpha_m = 50^\circ 17'$

ze skla do vody:  $\sin \alpha_m = \frac{n_{\text{voda}}}{n_{\text{sklo}}}$ ,  $\alpha_m = 60^\circ 04'$



## Lom světla planparalelní deskou

Dopadající paprsek se láme dvakrát – jednou při vstupu do planparalelní desky a po druhé při výstupu. Spočtěme, jaké bude posunutí  $v$  dopadajícího paprsku a paprsku na výstupu:



$$v = |AC| \cdot \sin(\alpha_1 - \alpha_2)$$

$$|AC| = \frac{d}{\cos \alpha_2}$$

$$\Rightarrow v = d \cdot \frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}{\cos \alpha_2}$$

$$v = d \cdot \frac{\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_1}{\cos \alpha_2}$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

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

$$\sin \alpha_2 = \frac{\sin \alpha_1}{n}$$

$$\Rightarrow v = d \cdot \left( \sin \alpha_1 - \frac{\sin \alpha_1 \cos \alpha_1}{n \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_2}} \right)$$

$$v = d \cdot \sin \alpha_1 \cdot \left( 1 - \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_1}}{n \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha_1}{n^2}}} \right)$$

$$v = d \cdot \sin \alpha_1 \cdot \left( 1 - \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_1}}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1}} \right)$$

Užití lomu na planparalelní desce:

Studium soustavy rovnoběžných vrstev o různém indexu lomu. Mění-li se index lomu plynule, lomená čára paprsku přejde v plynulou křivku - př. průchod světla atmosférou, tzv. atmosférická refrakce

### Příklad:

Na skleněnou desku tloušťky 5 cm dopadá světelný paprsek pod úhlem  $22^\circ 30'$ . Určete posunutí, je-li  $n = 1,5$ .

$$v = d \cdot \sin \alpha_1 \left( 1 - \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_1}}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1}} \right)$$

$$\underline{\underline{v = 0,695 \text{ cm}}}$$