# Lom svetla. Lom svetla hranolom, optickým klinom a planparalelnou doštičkou

## Zákon lomu

Na rozhraní dvoch prostredí sa svetelný lúč láme tak, aby prešiel dráhu z bodu A do bodu B za najkratší možný čas. Teda v opticky hustejšom prostredí svetlo prejde kratšiu vzdialenosť a v opticky redšom prostredí vzdialenosť väčšiu ( ako záchranár, ktorý radšej dlhšie beží po piesku a potom časť pláva tak, aby minimalizoval čas potrebný k dostaniu sa k topiacemu sa).

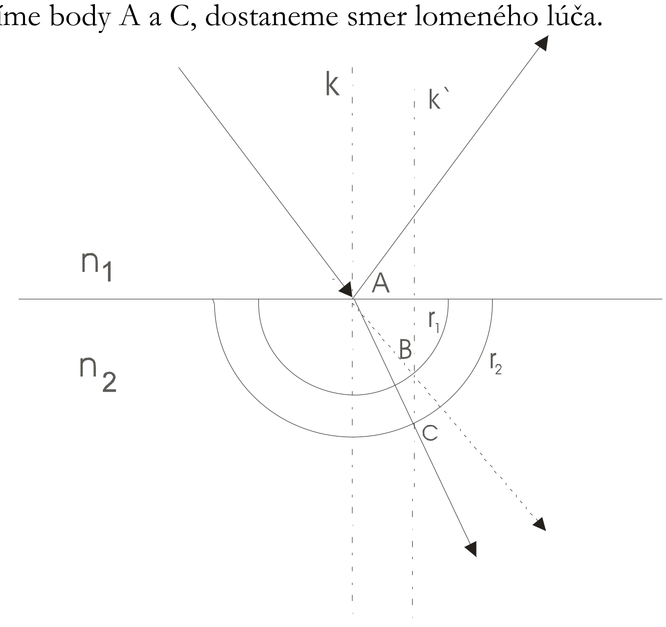
Uhol, pod ktorým sa lúč láme závisí len od relatívnych indexov lomu dvojice prostredí a od uhla dopadu podľa Snellovho zákona

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

Smer lomeného lúča môžeme určiť graficky pomocou tzv. Reuschovej konštrukcie, kedy okolo bodu A narysujeme dve kružnice s polomermi $r_1$ a $r_2$, ktoré sú v pomere:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

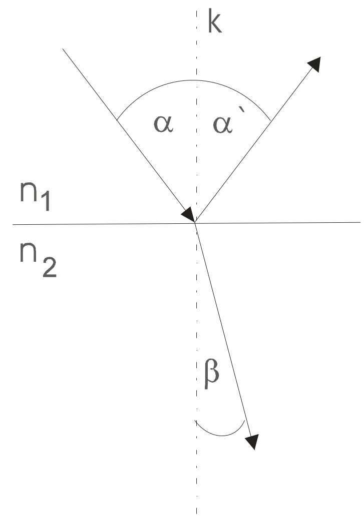
Bod B leží na priesečníku kružnice z polomerom $r_1$ a priamky vedenej ako predĺženie dopadajúceho lúča. Ním vedieme rovnobežku s kolmicou dopadu. Bod C vznikne na priesečníku rovnobežky a kružnice s polomerom $r_2$. Keď spojíme body A a C, dostaneme smer lomeného lúča.




**Obr. 1: Reuschova kružnica**

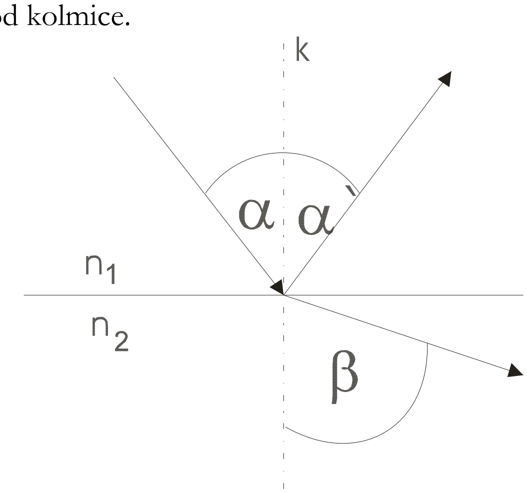
Pri prechode svetla optickým rozhraním môžu nastať tieto situácie:

a) obe optické prostredia majú rovnaký index lomu, a teda k lomu nedochádza
b) lúč prechádza z opticky redšieho prostredia do opticky hustejšieho prostredia ($n_1 < n_2$; napr. zo vzduchu do vody) – svetlo sa láme ku kolmici.




**Obr.2: Lom ku kolmici**

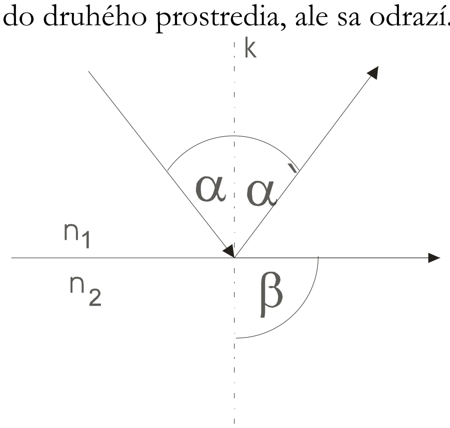
c) lúč prechádza z opticky hustejšieho prostredia do opticky redšieho prostredia ($n_1 > n_2$; napr. z vody do vzduchu) – svetlo sa láme od kolmice.




**Obr. 3: Lom od kolmice**

**Úplný odraz svetla a medzný uhol**

Keď zväčšujeme uhol dopadu svetla v treťom prípade ($n_1 > n_2$), uhol lomu sa zväčšuje. V určitom momente lomený lúč prechádza optickým rozhraním, teda uhol lomu je 90°. V tom prípade hovoríme o tzv. **medznom uhle** dopadu. Ak budeme pokračovať vo zväčšovaní uhla dopadu, nastane tzv. **úplný odraz.** Teda svetlo sa nebude vôbec lámať do druhého prostredia, ale sa odrazí.

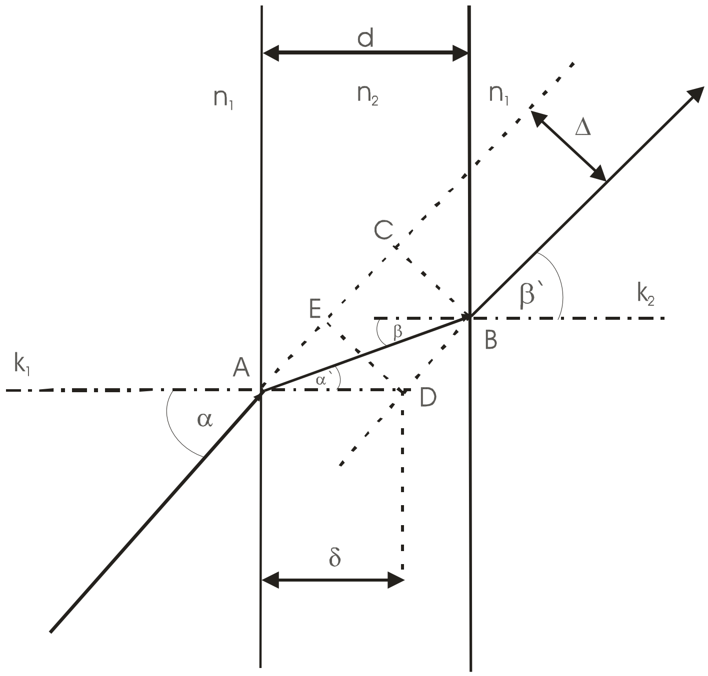



**Obr. 4: Úplný (totálny) odraz**

Tento jav sa v praxi uplatňuje najmä v odrazových hranoloch, ktoré sa využívajú v optických prístrojoch namiesto zrkadiel, a v optických vláknach.

**Planparalelná doštička**

Planparalelná doštička (s indexom lomu $n_2$) je optické prostredie vymedzené od prostredia s indexom lomu $n_1$ dvoma rovnobežnými rovinami ($\varphi = 0$). Planparalelná doštička lúč nevychyľuje zo smeru, ale ho rovnobežne posúva.




**Obr. 5: Planparalelná doštička**

Dôležité sú dve posunutia - kolmo na lúč Δ a kolmo na steny doštičky δ (pozri obr.5). Preto pri pozorovaní predmetu cez planparalelnú doštičku dochádza nielen k jeho stranovému posunutiu, ale aj k zmene vnímanej vzdialenosti v smere k pozorovateľovi (predmet sa javí bližšie ako v skutočnosti je). Pre posunutie Δ platí:

$$\Delta = d.\sin\alpha.(1 - \frac{\cos\alpha}{\sqrt{n_2^2 - \sin^2\alpha}})$$

Pre posunutie δ platí:

$$\delta = \frac{\Delta}{\sin\alpha},$$

$$\delta = d.(1 - \frac{\cos\alpha}{\sqrt{n_2^2 - \sin^2\alpha}})$$

Pre **malý uhol dopadu α** pre posunutie Δ platí:

$$\Delta = d.\alpha.\frac{n_2 - n_1}{n_2},$$

kde $n_2$ je index lomu skla doštičky a $n_1$ je index lomu prostredia obklopujúceho doštičku, d je hrúbka doštičky. Ak je doštička vo vzduchu, platí vzťah:

$$\Delta = d.\alpha.\frac{n-1}{n},$$

kde n je index lomu skla doštičky, **α je uhol dopadu svetla v radiánoch.**

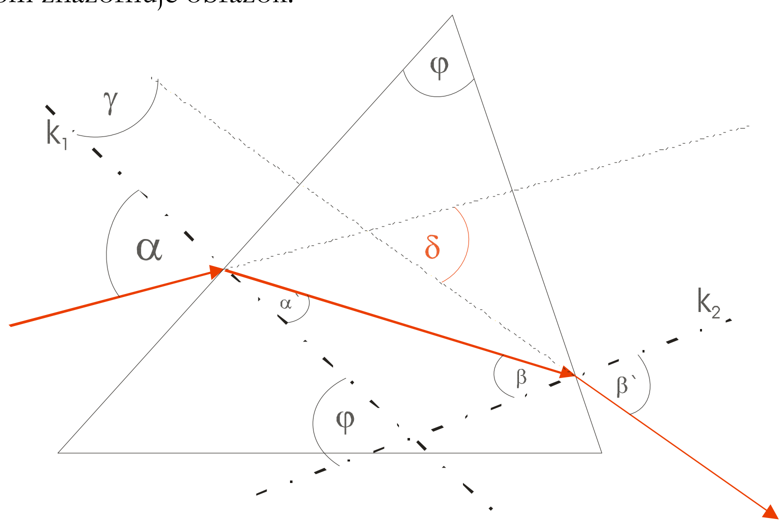
Pre posunutie δ v tomto prípade (α malé, doštička vo vzduchu) platí:

$$\delta = d.\frac{n-1}{n}$$

Ako je vidieť zo vzťahov, posunutie lúča Δ závisí aj od uhla dopadu svetla (hoci je uhol veľmi malý), kým na posunutie δ uhol dopadu nemá vplyv.

**Lom svetla hranolom**

Hranol je priehľadné prostredie vymedzené dvoma rovinami, ktorý zvierajú **lámavý uhol φ.** Oproti podstave hranola sa steny hranola pretínajú v tzv. **lámavej hrane.** Každá rovina kolmá na lámavú hranu vytína tzv. hlavný rez hranola, ktorý má tvar trojuholníka.
Prechod svetla hranolom znázorňuje obrázok.




**Obr. 6: Chod svetelného lúča hranolom**

Uhol, ktorý zviera vstupujúci a vystupujúci lúč, sa nazýva **deviácia δ.** Pre veľkosť deviácie platí:

$$\delta = \alpha + \beta` - \varphi$$

Veľkosť deviácie závisí od indexu lomu hranola, lámavého uhla a od uhla dopadu. Pre konkrétne hodnoty φ a n, je deviácia funkciou uhla dopadu:

$$\delta = \alpha + \arcsin\left[\sin(\varphi)\sqrt{n^2 - \sin(\alpha)^2} - \cos(\varphi)\sin(\alpha)\right] - \varphi$$

Táto funkcia nadobúda pre určitú veľkosť uhla dopadu globálne minimum – **minimálna deviácia.** Možno dokázať, že toto nastane vtedy, ak svetlo prechádza hranolom kolmo na os lámavého uhla. Teda je to prípad, kedy je **uhol lomu α` je rovný φ/2**. Vtedy sú uhol dopadu α a uhol lomu β`, pod ktorým svetlo opúšťa hranol, zhodné. Pre minimálnu deviáciu môžeme v tomto prípade napísať:

$$\delta_m = 2\alpha - \varphi$$

Danú veličinu môžeme aj merať pomocou spektrometra. Na tomto princípe sa zakladá Fraunhoferova metóda určovania indexu lomu skla. Pre index lomu platí:

$$n = \frac{\sin\frac{1}{2}(\delta_m + \varphi)}{\sin\frac{\varphi}{2}}$$

**Optický klin**

Optický klin je hranol s veľmi malým (do 5°) lámavým uhlom. Ak na takýto klin dopadá svetlo pod malým uhlom, môžeme zapisovať:

sin α = α. (α v radiánoch)

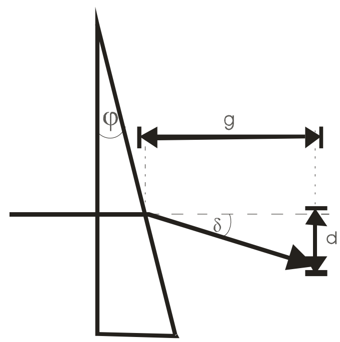
V takom prípade aj Snellov zákon môžeme prepísať (označenie ako v obr.6):

$$\frac{\alpha}{\alpha`} = \frac{n_2}{n_1} \quad ,$$

Dá sa odvodiť (pozri prezentácia Lom-svetla.pps) vzťah pre deviáciu:

$$\boldsymbol{\delta = (n-1).\varphi}$$

Zo vzťahu je vidieť, že deviácia závisí iba od indexu lomu a lomného uhla hranola.




**Obr. 7: Prizmatický efekt optického klinu**

Deviáciu optických klinov (hranolových skiel) označujeme ako **hranolový účinok (prizmatický efekt) Δ** a vyjadrujeme ho v prizmatických dioptriách (pdpt, resp. PD).

Je definovaný (obr.6).:

$$\boxed{\Delta = \frac{d}{g} \ [\text{pdpt}],}$$

kde g [m] a d [cm].

Prizmatický efekt **Δ =** 1PD má taký optický klin, ktorý vo vzdialenosti 1m odkloní kolmo dopadajúci lúč o 1cm.

Medzi deviáciou a prizmatickým efektom **Δ** klinu platí vzťah:

$$\boldsymbol{\Delta}=100.\ \text{tg}\ \delta = 100.\ \text{tg}\ [(n-1).\varphi]$$

Aby mal optický klin zo skla s indexom lomu n prizmatický efekt **Δ**, musí mať lámavý uhol:

$$\varphi = \frac{1}{n-1} \arctan \frac{\Delta}{100}$$

Optický klin sa využíva na korekciu škúlenia (strabizmu) a v prístrojoch na vychýlenie lúča o malý uhol.

**Príklady:**

1. Rozhodnite, či sa dopadajúci lúč na rozhraní sklo (n=1,5) – vzduch (n=1) zlomí, alebo odrazí, ak uhol dopadu je 48°, 30°, 41°48`.
   Pomocou Reuschovej konštrukcie znázornite ten prípad, keď sa lúč zlomí.
2. Aký veľký je medzný uhol pre rozhranie sklo-voda (n=1,3) a voda-vzduch? /60°04´; 50°17´/
3. Pokúste sa vysvetliť, prečo sa sneh javí ako biely a nepriehľadný, keď sa skladá z priehľadných bezfarebných kryštálikov.
4. Vypočítajte obidve posunutia lúča planparalelnou doštičkou s indexom lomu 1,5 a hrúbkou 10mm pre uhol:
   a) 1° /0,06mm; 3,40mm/

b) 30° / 1,94mm; 3,88mm/

**5.** Určte deviáciu lúča dopadajúceho na prvú stenu hranola pod uhlom 30°, keď lámavý uhol hranola je 50° a index lomu 1,5. Načrtnite. /29°38´/
*Pozn.: Je potrebné vyrátať zo zákona lomu $\alpha$\`, následne z trojuholníka $\alpha$\`+ $\beta=\varphi$; a znova zo zákona lomu uhol $\beta$\`). Nezabudnite premieňať desatinné čísla na minúty.*

**6.** Určte minimálnu deviáciu vyššie uvedeného hranola. /28°40´/

**7.** Pri hranole s lámavým uhlom 60° bola spektrometrom nameraná minimálna deviácia 30°. Určte index lomu skla. /1,41/

**8.** Vypočítajte prizmatický efekt optického klina s lámavým uhlom 4°35\` a indexom lomu 1,5. /4 PD/