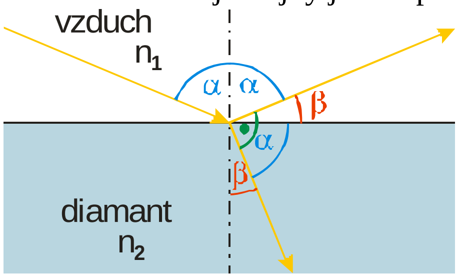
5.1.4 Lom světla II

Předpoklady: 5103

Pedagogická poznámka: Příklady v této hodině patří mezi učiteli k velmi populárním. Já je za příliš důležité nepovažuji, protože jejich řešení žáci většinou sami nezvládnou a i když se ho naučí, rychle ho zapomenou. Ani jeden z příkladů pak není důležitý k pochopení další látky. Pokud nemám přebytek času, tuto hodinu vynechávám.

Př. 1: Urči pod jakým úhlem musí dopadat světelný paprsek na rozhraní vzduch-diamant, aby byl lomený paprsek kolmý na odražený paprsek. Index lomu diamantu je 2,42.

Obrázek situace je stejný jako v předchozím příkladu.



Neznáme velikost úhlu α $\Rightarrow$ nemůžeme určit velikost úhlu β, pouze víme, že platí $\beta=90°-\alpha$.

Nyní můžeme dosadit do Snellova zákona: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{n_2}{n_1}$ $\Rightarrow$ $\frac{\sin\alpha}{\sin(90°-\alpha)}=\frac{n_2}{n_1}$.

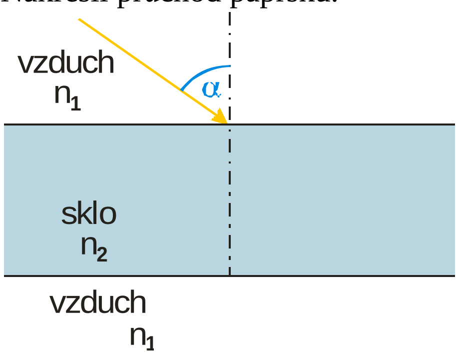
Potřebujeme, aby se úhel α vyskytoval v rovnici pouze jednou $\Rightarrow$ použijeme součtový vzorec: $\sin(90°-\alpha)=\sin 90°\cos\alpha-\cos 90°\sin\alpha=1\cdot\cos\alpha-0\cdot\sin\alpha=\cos\alpha$.

Dosadíme: $\frac{\sin\alpha}{\sin(90°-\alpha)}=\frac{n_2}{n_1}$ $\Rightarrow$ $\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}=\mathrm{tg}\,\alpha=\frac{n_2}{n_1}$.

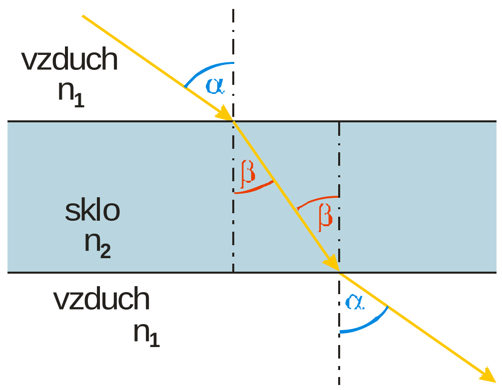
Dosadíme: $\mathrm{tg}\,\alpha=\frac{n_2}{n_1}=\frac{2{,}42}{1}\Rightarrow\alpha=67{,}5°$.

Paprsek světla musí dopadat na rozhraní pod úhlem $67{,}5°$.

Př. 2: Světelný paprsek dopadá na skleněnou destičku tvaru kvádru (planparalelní destička). Nakresli průchod paprsku.



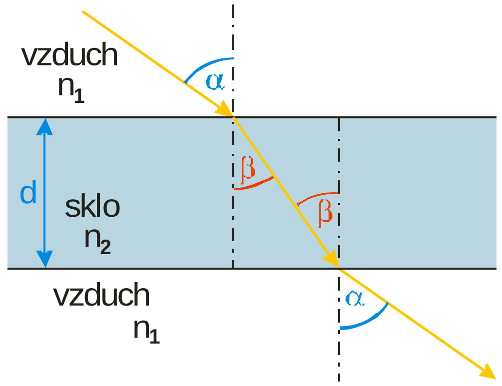
Paprsek při přechodu do skla zalomí ke kolmici, po návratu do vzduchu se zalomí od kolmice a vrátí se do původního směru.



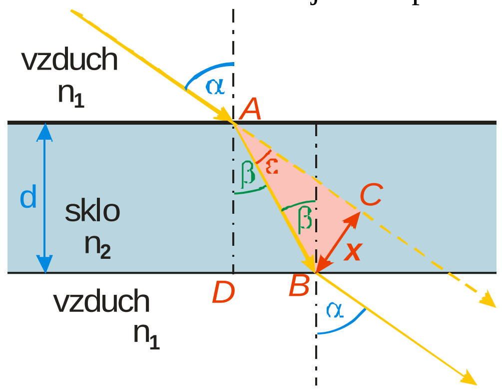
Pedagogická poznámka: Příklady 3 a 5 vyřeší sám jen málokdo, proto je třeba použít krokování u tabule.

Př. 3: Světelný paprsek se v předchozím příkladu po průchodu sklem vrátil do původního směru, ale paprsek se kvůli průchodu sklem posunul. Urči toto posunutí (kolmou vzdálenost mezi původním směrem a směrem posunutého paprsku), pokud paprsek dopadl na sklo pod úhlem 55° a index lomu skla je 1,7. Tloušťka destičky je 1,5 cm.

Nakreslíme si obrázek.



Hledanou vzdálenost nejsnáze spočítáme z pravoúhlého trojúhelníku *ABC*:



V pravoúhlém trojúhelníku *ABC* platí: $\sin\varepsilon = \frac{x}{|AB|} \quad \Rightarrow \quad x = \sin\varepsilon \cdot |AB|$.

Z úhlů u vrcholu *A* vidíme: $\varepsilon = \alpha - \beta$.

Z pravoúhlého trojúhelníka *ABD*: $\cos\beta = \frac{d}{|AB|} \quad \Rightarrow \quad |AB| = \frac{d}{\cos\beta}$.

Dosadíme do vztahu: $x = \frac{d \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos\beta}$.

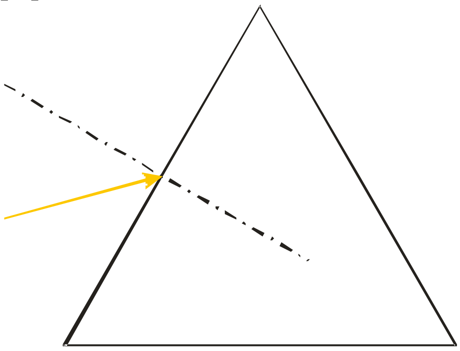
Ještě musíme určit velikost úhlu β : $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad \Rightarrow \quad \sin\beta = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin\alpha$.

Dosadíme: $\sin\beta = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin\alpha = \frac{1}{1{,}7} \cdot \sin 55° \Rightarrow \beta = 28{,}8°$.

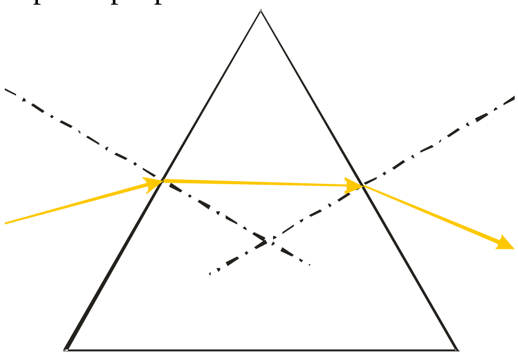
$$x = \frac{d \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos\beta} = \frac{1{,}5 \cdot \sin(55° - 28{,}8°)}{\cos 28{,}8°} \text{cm} = 0{,}76 \text{cm}$$

Paprsek se posunul o 0,76 cm.

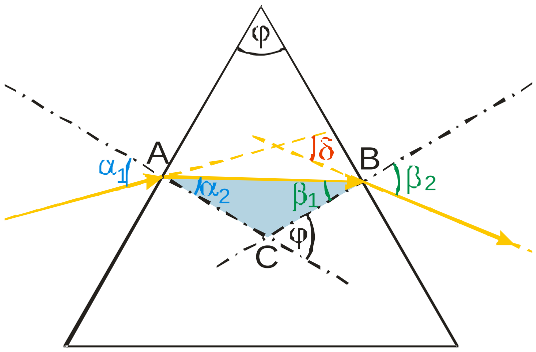
Př. 4: Světelný paprsek dopadá boční stěnu lámavého optického hranolu. Nakresli průchod paprsku hranolem.



Paprsek při průchodu do skla zlomí ke kolmici, při výstupu se láme od kolmice.



Př. 5: Světelný paprsek z předchozího příkladu projde hranolem. Urči odchylku mezi původním směrem paprsku a směrem paprsku, který vychází z hranolu. Vrcholový úhel hranolu je 60°, index lomu skla 1,5 a úhel dopadu $45°$ (není pravda, že by paprsek vycházel z hranolu pod stejným úhlem, pod jakým do něj dopadá).



Budeme postupně počítat jednotlivé úhly.

Výpočet α_2

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

Dosadíme: $\sin\alpha_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin\alpha_1 = \frac{1}{1{,}5} \cdot \sin 45°$ $\Rightarrow$ $\alpha_2 = 28{,}1°$.

Výpočet β_1

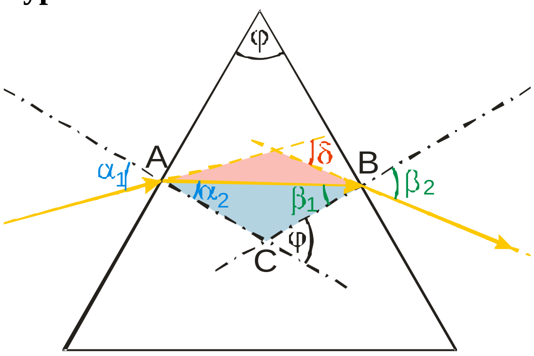
V modrém trojúhelníku platí: $180° = \alpha_2 + \beta_1 + (180° - \varphi)$ $\Rightarrow$ $\varphi = \alpha_2 + \beta_1$ $\Rightarrow$ $\beta_1 = \varphi - \alpha_2 = 60° - 28{,}1° = 31{,}9°$

Výpočet β_2

$\frac{\sin\beta_1}{\sin\beta_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin\beta_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin\beta_1$

Dosadíme: $\sin\beta_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin\beta_1 = \frac{1{,}5}{1} \cdot \sin 31{,}9°$ $\Rightarrow$ $\beta_2 = 52{,}4°$.

Výpočet δ



V červeném trojúhelníku platí: $180° = (\alpha_1 - \alpha_2) + (\beta_2 - \beta_1) + (180° - \delta)$ $\Rightarrow$ $\delta = (\alpha_1 - \alpha_2) + (\beta_2 - \beta_1)$ $\Rightarrow$ $\delta = (45° - 28{,}1°) + (52{,}4° - 31{,}9°) = 37{,}4°$.

Odchylka mezi původním směrem paprsku a směrem paprsku po průchodu hranolem (většinou se nazývá deviace) je $37{,}4°$.

Pedagogická poznámka: Žáci mají silnou tendenci (která vyplývá z jejich sklonu k přímočarým a časově nenáročným řešením) vyjít z rovnosti $\alpha_1 = \beta_2$, varování uvedené v zadání příkladu mnohdy nestačí.

Shrnutí: