

## 5.1.5 Úplný odraz světla

**Předpoklady:** 5102, 5103

**Pomůcky:** Laserové ukazovátko, kousek bílého pravítka, akvárium s vodou, troška mléka, odrazky

**Př. 1:** Světelný paprsek prochází z vody do vzduchu a ve vodě dopadá na hladinu pod úhlem  $35^\circ$ . Urči, pod jakým úhlem projde do vzduchu.

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin \alpha_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \alpha_1, \text{ ale pozor index 1 má teď voda, vzduch má 2.}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \alpha_1 = \frac{1,33}{1} \cdot \sin 35^\circ \Rightarrow \alpha_2 = 49^\circ 33'$$

Do vzduchu se světlo zlomí pod úhlem  $49^\circ 33'$ .

**Př. 2:** Světelný paprsek prochází z vody do vzduchu. Urči pod jakým úhlem projde do vzduchu, pokud na rozhraní z vody dopadá pod úhlem  $80^\circ$ .

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin \alpha_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \alpha_1 \text{ index 1 má voda, vzduch má 2.}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \alpha_1 = \frac{1,33}{1} \cdot \sin 80^\circ = 1,31 \text{ neexistuje žádný úhel, jehož sinus by byl 1,31.}$$

$\Rightarrow$  Světlo se za podmínek z předcházejícího příkladu nemůže zlomit do vzduchu  $\Rightarrow$  veškeré světlo se odrazí zpátky do vody, do vzduchu se vůbec nedostane = **úplný (totální) odraz**.

K totálnímu odrazu může dojít pouze v případě, že světlo dopadá z opticky hustšího prostředí na rozhraní s prostředím opticky řidším (při dopadu světla z prostředí opticky řidšího se světlo láme ke kolmici).

**Př. 3:** Urči největší možný úhel, pod kterým může dopadnout světlo z vody na rozhraní s vzduchem, aby nedošlo k totálnímu odrazu.

$$\text{Největší úhel ve vzduchu } 90^\circ \Rightarrow \sin \alpha_2 = 1$$

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

$$\sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1,33} \Rightarrow \alpha_1 = 48^\circ 35'$$

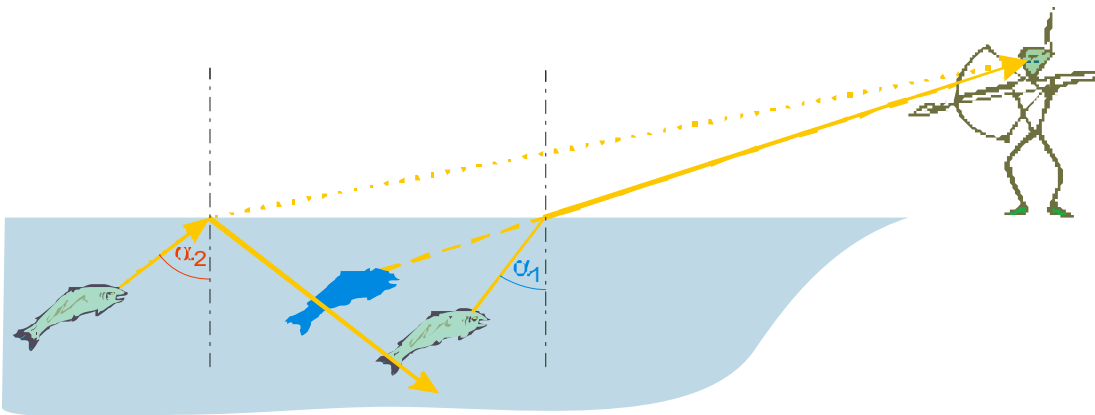
Světlo může z vody dopadnout na rozhraní se vzduchem pod maximálním úhlem  $48^\circ 35'$ .

Největší možný úhel pod kterým může dopadnout světlo na rozhraní, aby nedošlo k totálnímu odrazu se nazývá **mezní úhel**, značí se  $\alpha_m$ .

$$\text{Pokud je druhým prostředím vzduch platí: } \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{\sin \alpha_1}{1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{n} \Rightarrow \sin \alpha_m = \frac{1}{n}$$

### Projevy v běžném životě

Do vody je vidět pouze, když koukáme z výšky a po malým úhlem.



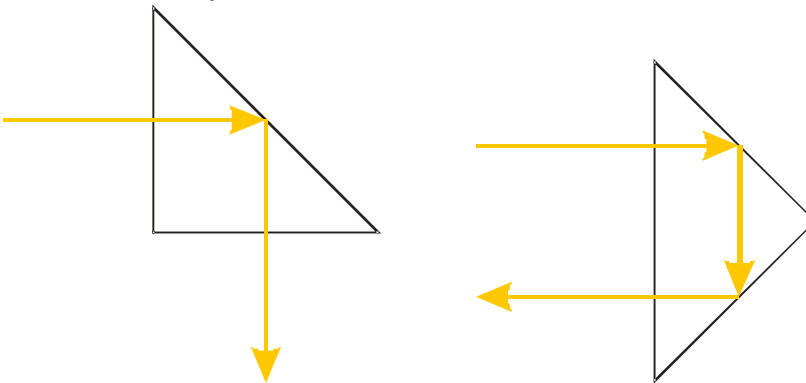
Lovec vzdálenější rybu nevidí, protože paprsky, které se od ryby šíří směrem k němu, se odrážejí úplným odrazem od hladiny zpět do vody ( $\alpha_1 < \alpha_m < \alpha_2$ ).

### Využití totálního odrazu refraktometry

Měří mezní úhel látky a tím určí její  $n$  (velmi přesné).

Protože index lomu závisí například na koncentraci roztoků, používají se k určování koncentrace látky v roztoku (například cukru).

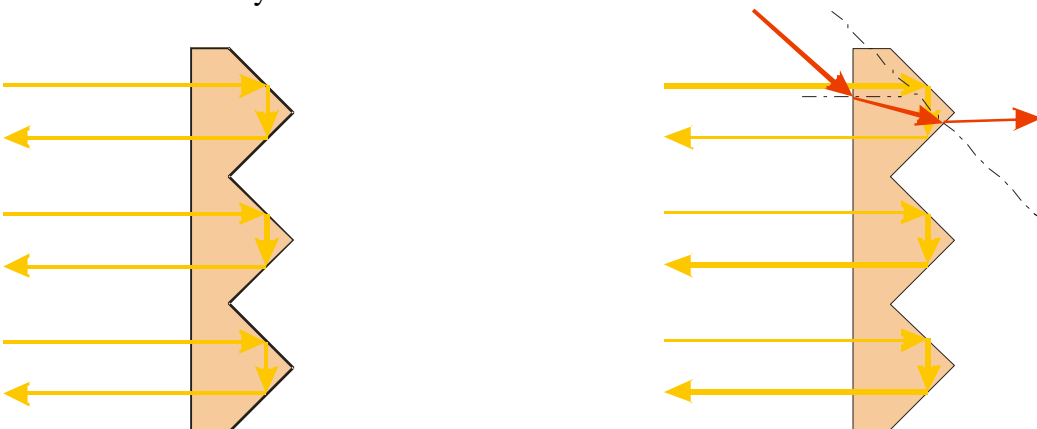
### odrazné hranoly



Mění směr průchodů paprsků (fotoaparáty, dalekohledy, projektory...).

### odrazka

Zadní strana odrazky odráží totálním odrazem.



⇒ Materiál odrazky musí mít co nejvyšší index lomu (abychom udrželi úplný odraz pro větší rozsah úhlů), přesto světlo pro velké úhly odrazka neodrazí.

Materiál odrazky je trochu matný, aby se světlo částečně rozptylovalo a odráželo se i do trochu jiných směrů, než ze kterých přiletělo.

## optická vlákna

Tenké skleněné vlákno:

- vnitřní část (jádro) – velký index lomu,
- vnější část (plášť) – menší index lomu,

⇒ světlo, které se šíří jádrem, se odráží na rozhraní s pláštěm úplným odrazem (i když rozdíl indexů je typicky 1%).



Vlákna:

- jednovláková – pro jedinou frekvenci, velmi tenké jádro ( $8\ \mu\text{m}$ ), lepší pro šíření na velké vzdálenosti (telekomunikace),
- mnohavláková – pro více frekvencí, tlustší jádro ( $50\ \mu\text{m}$ ), datové přenosy na menší vzdálenosti.

Index lomu mezi jádrem a pláštěm se může měnit najednou (skokově) nebo postupně (gradientně).

## Endoskop

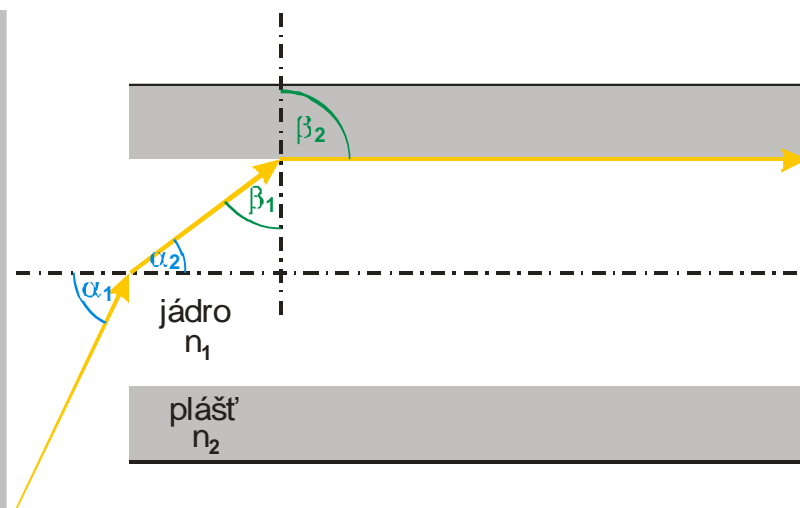
Zařízení pro pozorování vnitřku organismu.

Světlo, které je třeba na osvětlení vnitřku těla, je vedeno ohebnou hadicí na podobném principu jako optické vlákno.

## Senzor na dešť

Zařízení neustále zevnitř osvětluje sklo a na senzoru očekává totálně odražený paprsek. Když je sklo mokré, světlo se neodráží na rozhraní sklo-vzduch, ale na rozhraní sklo-voda ⇒ menší rozdíl indexů lomu ⇒ neprobíhá totální odraz ⇒ do senzoru dopadne méně světla. Z poměru mezi vyslaným a odraženým světlem je možné určit sílu deště.

**Př. 4:** Jádro optického vlákna má index lomu  $n_1=1,5$ , plášť má index lomu  $n_2=1,2$ . Urči, pod jakým největším úhlem (mezi vodorovnou osou vlákna a paprskem) může paprsek světla vstoupit do vlnovodu, aby se v něm šířil a nepronikl do pláště.



Počítáme od konce.

Největší úhel v plášti  $90^\circ \Rightarrow \sin \beta_2 = 1$ .

$$\frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin \beta_1 = \sin \beta_2 \cdot \frac{n_2}{n_1} = 1 \cdot \frac{1,2}{1,5} \Rightarrow \beta_1 = 53,1^\circ$$

Z obrázku můžeme určit úhel, kterým světlo proniká do jádra vlnovodu.

$$\alpha_2 = 90^\circ - \beta_1 = 90^\circ - 53,1^\circ = 36,9^\circ$$

Určíme úhel dopadu světla na přední hranu vlákna.

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_1}{n_v} \Rightarrow \sin \alpha_1 = \frac{n_1}{n_v} \sin \alpha_2 = \frac{1,5}{1} \sin 36,9^\circ \Rightarrow \alpha_1 = 64,2^\circ$$

Pokud se má světlo šířit vláknem musí dopadat na jeho přední stěnu pod maximálním úhlem  $\alpha_1 = 64,2^\circ$ .

**Shrnutí:** Pokud se světlo šíří do opticky řidšího prostředí a úhel dopadu je moc velký, všechno se odrazí zpátky.