

## 2.1.13 Uspěchané světlo

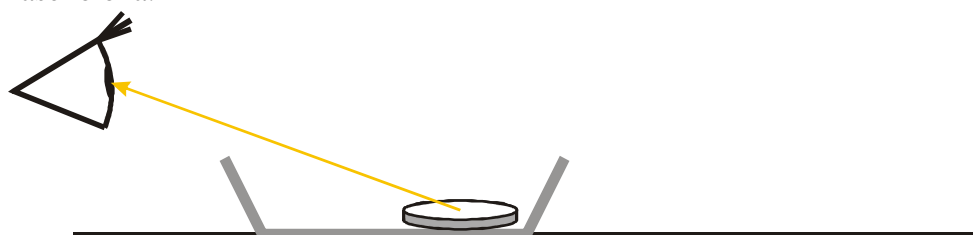
**Předpoklady:** 020112

**Pomůcky:** miska, pětikoruna, voda, laserové ukazovátko, akvárium, hranol, průhledné pravítko, optická vlákna

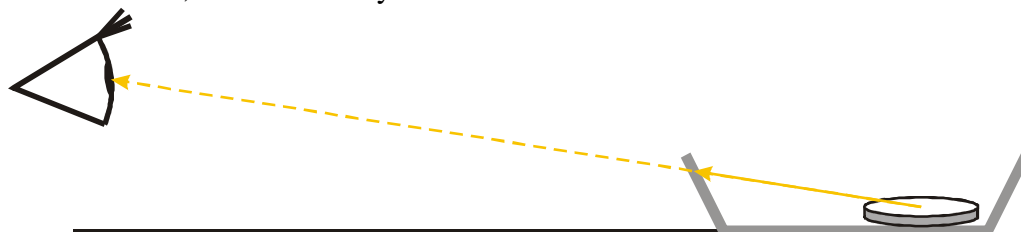
**Pedagogická poznámka:** Domácí pokus neopakují, pouze ho rozebíráme. Kdo ho chtěl udělat, měl doma dost možností.

Záznam domácího pokusu

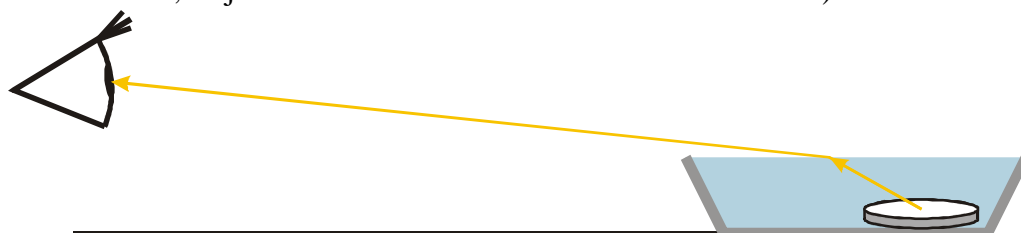
Nejdříve pětikorunu vidíme, paprsky, které se od ní odrážejí, mohou přímou cestou letět do našeho oka.



Když posuneme talířek dál, pětikoruna vidět není. Paprsky, které se z ní odrážejí směrem k našemu oku, narazí do stěny talířku a do oka nedoletí.



Voda nalitá do talířku, musí změnit dráhu paprsků. Zřejmě se lámou na rozhraní vody a vzduchu, lomený paprsek pak může přes hranu talířku doletět do našeho oka (při pohledu na talířek se zdá, že je dno talířku trochu nakloněné směrem k nám).



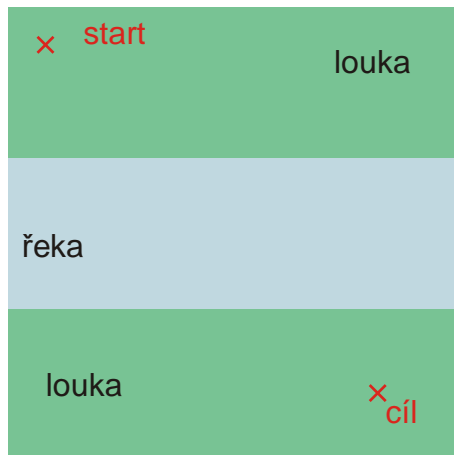
Lámání světla si ve tmě můžeme snadno přímo ukázat laserovým ukazovátkem.

**Pedagogická poznámka:** Svítím ukazovátkem do akvária s vodou. Pokus ukazují i při nasvícení zespodu (jde o situaci, která je nejbližší obrázkům domácího příkladu). Ukážu i totální odraz, ale zatím na něj neupozorňuji.

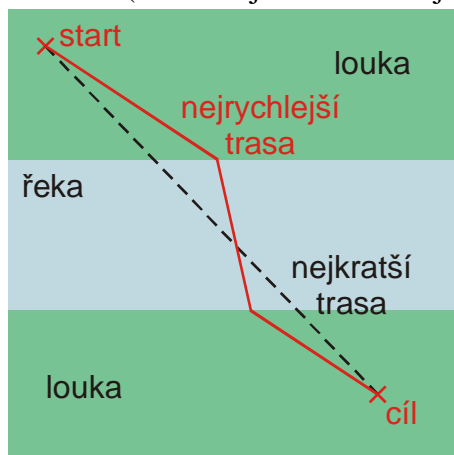
Proč to světlo dělá?

**Pedagogická poznámka:** Následující příklad je dvojsečný, pokud připustíte diskusi o tom, která dráha je nejvýhodnější, může se to velmi protáhnout. Většina žáků navíc navrhuje překonávat řeku kolmo. Podávám krátké vysvětlení uvedené níže a víc se o problému snažím nebavit.

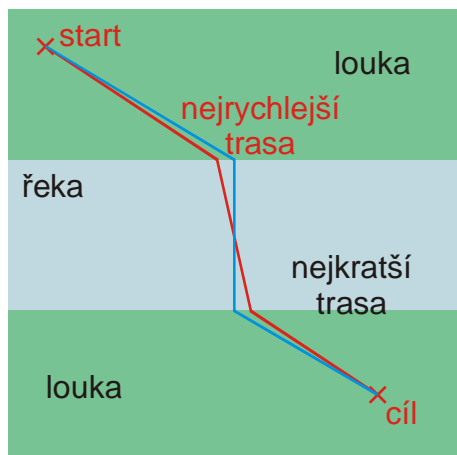
**Př. 1:** Na obrázku je mapa táborového závodu. Zvítězí ten, kdo doběhne ze startu do cíle nejrychleji. Řeka není hluboká, vody ani ne po pás, dá se v ní běžet (samozřejmě ale podstatně pomaleji než na louce). Je nejvýhodnější běžet přímou (nejkratší trasou)? Pokud ne, navrhni nejrychlejší trasu.



Výhodnější než běh nejkratší přímou cestou bude trasa, při které si cestu vodou podstatně zkrátíme (zkrácení je tím důležitější, čím je běh ve vodě vůči běhu na louce pomalejší).



Proč není nejvýhodnější zkrátit si cestu vodou ještě více a pohybovat se kolmo na tok řeky?

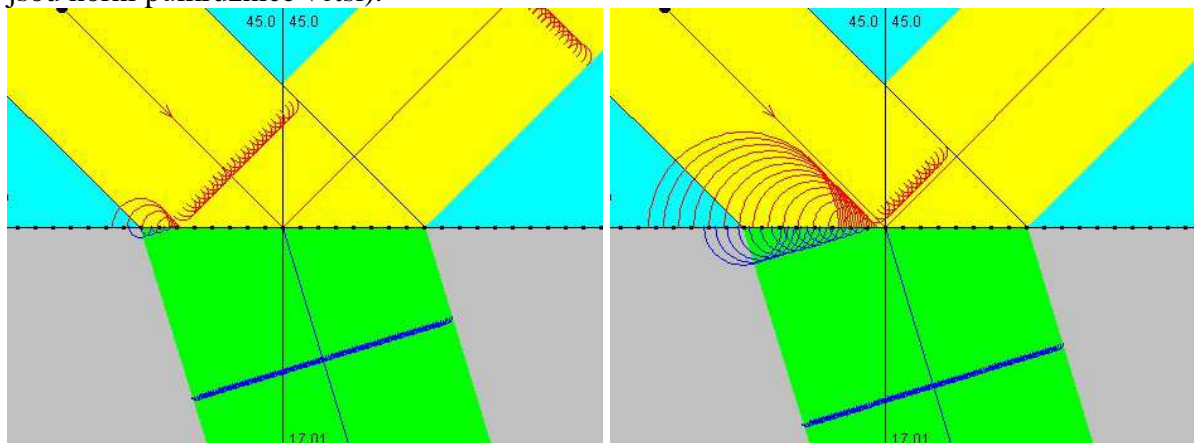


Modrá trasa (kolmá na řeku) je sice ze všech tras ve vodě nejkratší, ale vliv zkrácení cesty ve vodě je menší než prodloužení cesty na louce, proto se přechodem z červené dráhy na modrou celkový čas prodlouží.

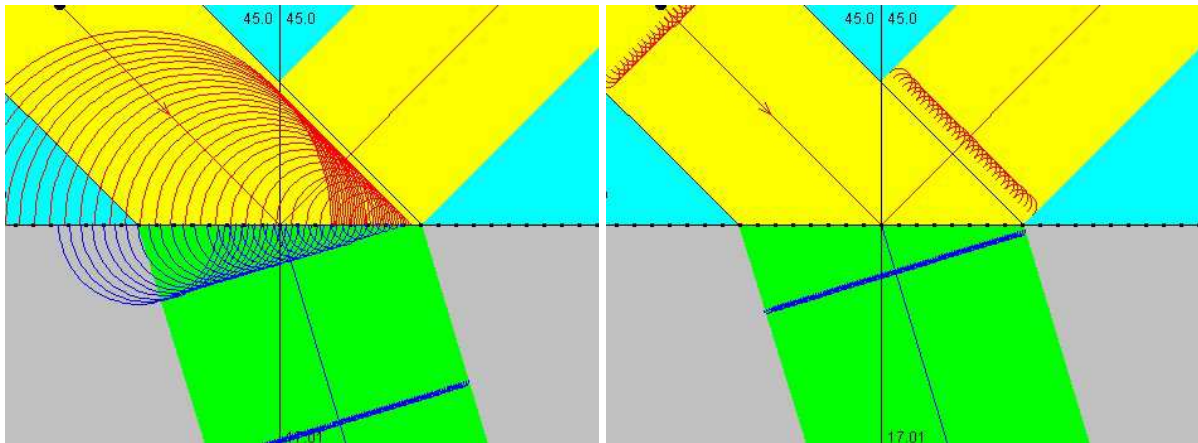
**Pedagogická poznámka:** Následující dotaz často padá. Snažím se proto o alespoň přibližnou odpověď, samozřejmě neočekávám, že by žáci měli reprodukovat.

Jak světlo pozná, o jaký úhel má zatočit?

Světlo se šíří tak, že z každého místa, do kterého se dostane, vytváří malé kroužky (jako by se z každého takového místa začínalo šířit z ničeho), které se poskládají a dohromady vytvoří o trochu posunutou vlnu. Pokud dorazí světlo na rozhraní, dělá to samé, jen tentokrát netvoří kružnice, ale dvě půlkružnice s rozdílnými poloměry (podle toho, jak rychle se v daném prostředí světlo šíří - na obrázcích se v horním prostředí šíří rychleji, než v dolním a proto jsou horní půlkružnice větší).

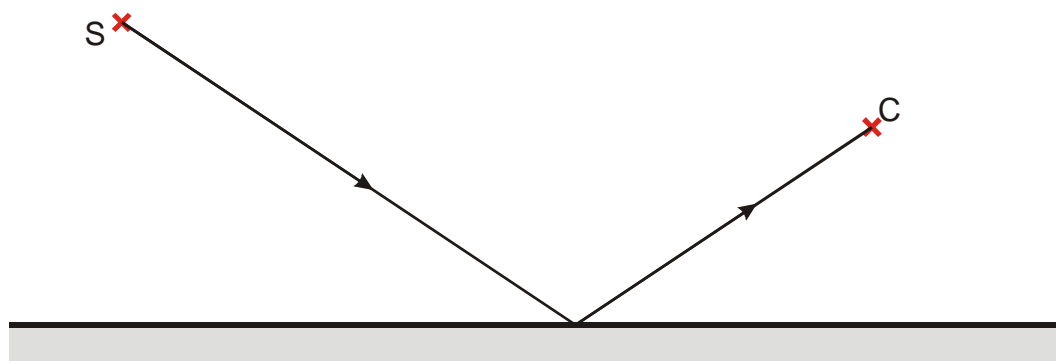


Z obrázků je zřejmé, že se menší půlkružnice skládají do vlny, která je jinak zalomená než vlna, která na rozhraní dopadala (a čím bude světlo v dolním prostředí pomalejší, tím menší půlkružnice se vytvoří a tím zalomenější vlnu složí dohromady).

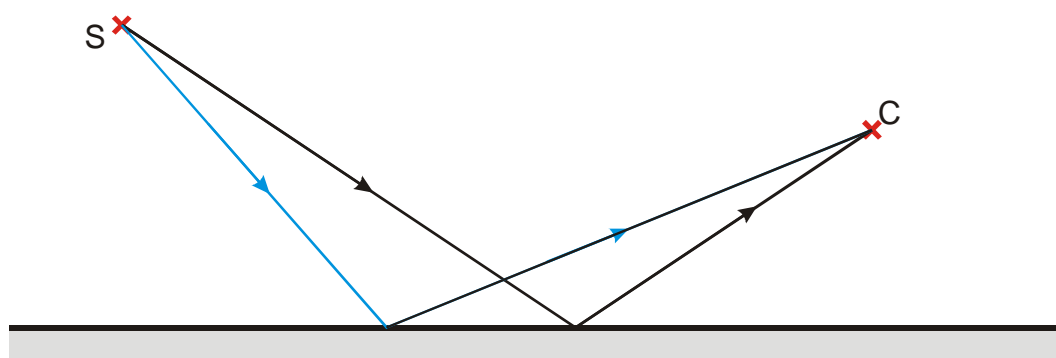


Platí pravidlo o nejkratším času i pro jiné dráhy světla?

**Př. 2:** Na obrázku je nakreslen paprsek, který letí z bodu  $S$  do bodu  $C$  a po cestě se odráží od zrcadla. Nakreslená dráha splňuje zákon odrazu. Nakresli do obrázku jinou dráhu, po které by se mohl paprsek s odrazem o zrcadlo z bodu  $S$  do bodu  $C$  dostat (bez splnění zákona odrazu, tedy způsobem, kterým se ve skutečnosti nešíří). Porovnej časovou náročnost obou drah.



Během celého letu se světlo šíří ve vzduchu  $\Rightarrow$  doba letu závisí pouze na délce dráhy  $\Rightarrow$  změříme skutečnou dráhu a porovnáme ji s délkou jiné dráhy, kterou si libovolně zvolíme.



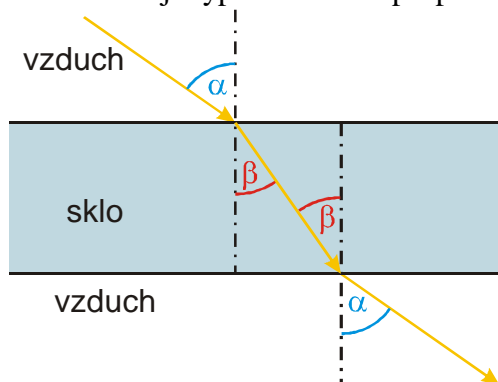
Skutečná dráha je dlouhá 11,9 cm. Zakreslená modrá dráha má délku 12,2 cm, je tedy delší (a tím i pomalejší).

**Pedagogická poznámka:** Předchozí příklad je bezpečný a přesvědčivý. Určitě vyjde a navíc je možné na žákovských papírcích ukázat, že čím víc se zvolená dráha liší od dráhy skutečné, tím je pomalejší.

**Světlo se vždy šíří ze zdroje do cíle po dráze, kterou urazí za nejkratší čas.**

Nejrychlejší je světlo ve vakuu. Ve vzduchu je jen nepatrně pomalejší, v běžných prostředích je znatelně pomalejší než ve vzduchu. Ve vodě zpomaluje přibližně o čtvrtinu, ve skle i více než o třetinu (podle druhu skla).

Na obrázku je typická situace při průchodu světla skleněnou destičkou.



**Ve skle je světlo pomalejší  $\Rightarrow$  snaží se zkrátit dráhu sklem  $\Rightarrow$  láme se ke kolmici. Když se paprsek projde sklem na rozhraní se vzduchem, dostává se do prostředí, kde je rychlejší  $\Rightarrow$  cestu si prodlužuje  $\Rightarrow$  láme se od kolmice (a vrací se do původního směru).**

**Př. 3:** Kde je světlo nejrychlejší? Kde je nejpomalejší?

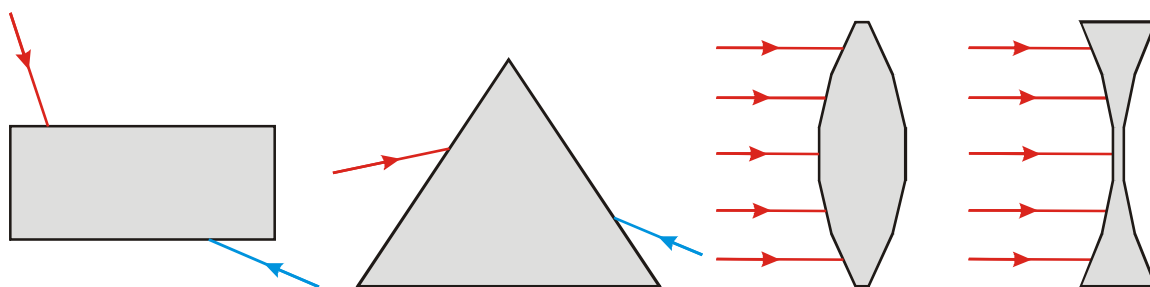


Rychlost světla odpovídá směru světelného paprsku (čím je paprsek víc odkloněný od kolmice, tím je světlo v prostředí rychlejší)  $\Rightarrow$  pořadí prostředí od nejrychlejšího: 2, 3, 1, 4.

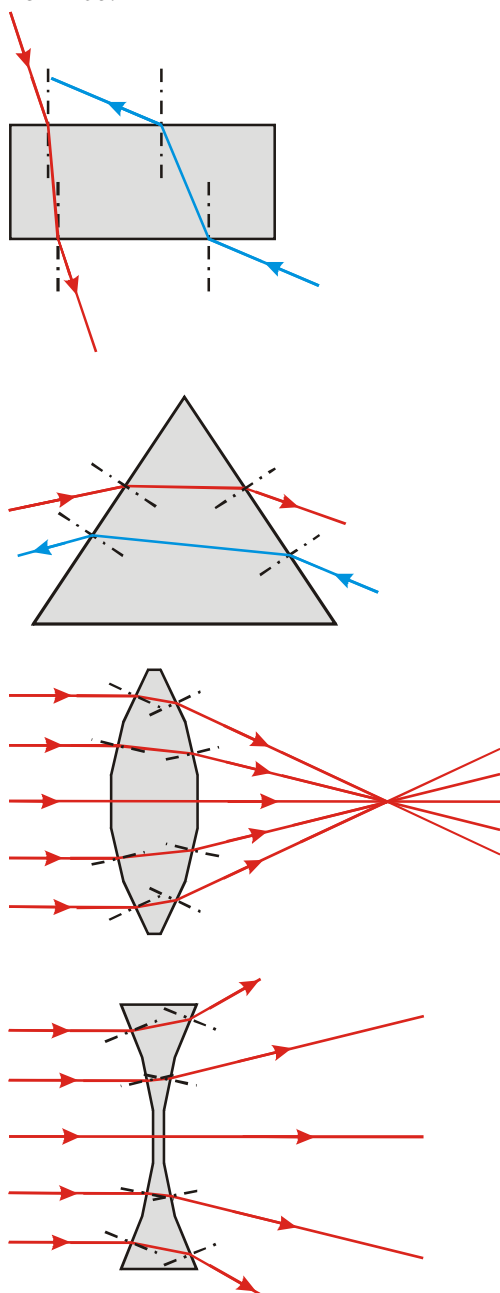
**Pedagogická poznámka:** Z následujících obrázků žáci v hodině stihnou pouze některé.

Řešení příkladu přerušíme tak, abychom stihli zbytek hodiny (tak 10 minut před koncem hodiny). Protože nejsou dány indexy lomu, není možné nakreslit lomy přesně (se určitou hodnotou úhlu) je možné sledovat pouze kvalitativní správnost (zde se ve správných okamžicích láme ke kolmici nebo od ní).

**Př. 4:** Dokresli do obrázku chod paprsků ve skle.



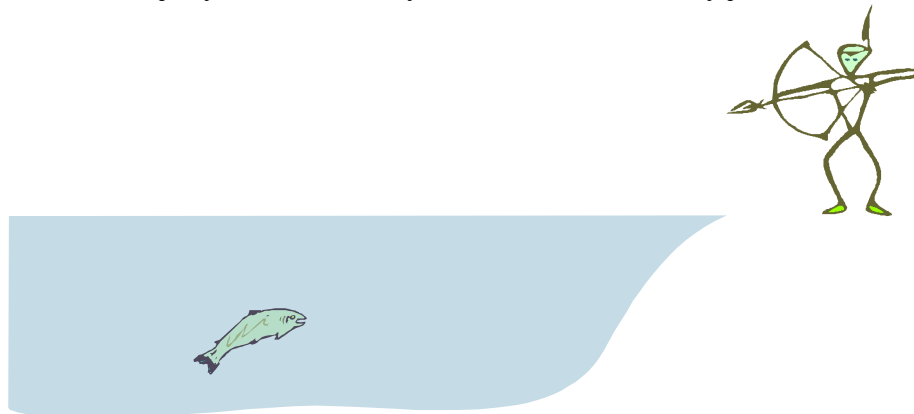
Při přechodu světla do skla se světlo láme ke kolmici, přechodu ze skla do vzduchu od kolmice.



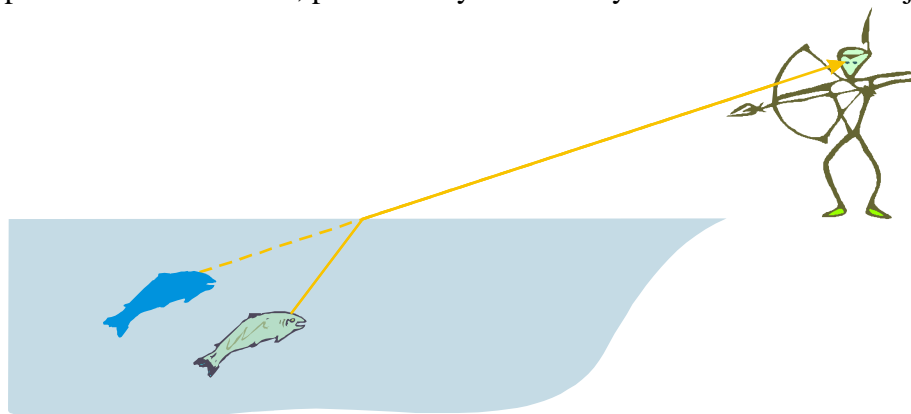
**Pedagogická poznámka:** Většinu špatných obrázků řeší nakreslení kolmic. Je zajímavé, že žáci natolik přivyknou scházení paprsků v jednom bodě, že většina z nich u nápodoby

čočky spojí paprsky v jenom bodě, ačkoliv to z informací v zadání není vůbec jasné. každopádně na získání základní představy o důležitosti tvaru na funkci u obou druhů čoček jsou oba obrázky velmi přínosné.

**Př. 5:** Na obrázku je rybář. Kde vidí rybu? Jak musí mířit, aby ji trefil?



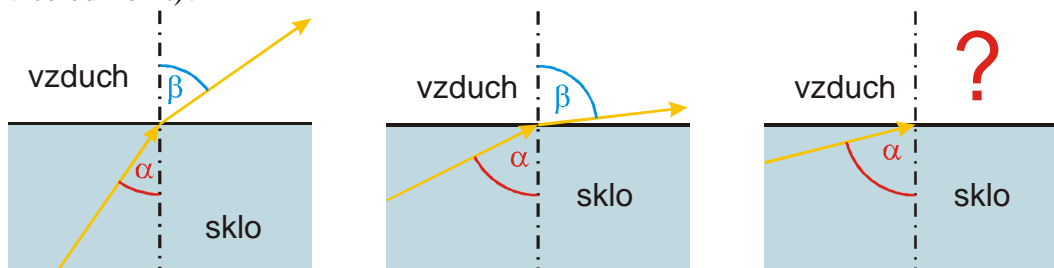
Světlo se při přechodu z vody do vzduchu láme od kolmice. Lovec předpokládá (podvědomě) přímočaré šíření světla, proto vidí rybu dále a výše než ve skutečnosti je (modrý obrys)



Pokud chce lovec rybu zasáhnout, musí mířit před ní (jak moc, by se dalo spočítat, ale lovec zřejmě bude muset vycházet ze zkušenosti).

**Př. 6:** Nakresli obrázek světelného paprsku jdoucího ze skla do vzduchu. Jak se bude obrázek měnit, když se bude úhel dopadu (úhel mezi paprskem a kolmicí) zvětšovat?

Paprsek světla se musí lámat od kolmice (přechází do prostředí, kde je světlo rychlejší)  $\Rightarrow$  problém: co se stane, když bude úhel dopadu hodně velký (světlo už nebude mít možnost se více odklonit)?



Pokus: při dostatečně velkém úhlu světlo ze skla do vzduchu vůbec nepronikne a odrazí se zpátky do vody  $\Rightarrow$  dojde k **úplnému (totálnímu odrazu)**.

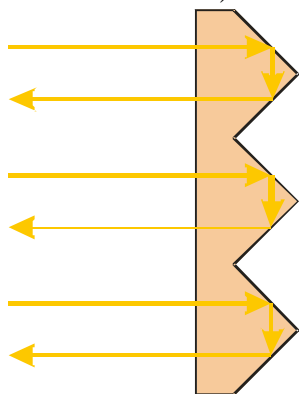
**Pedagogická poznámka:** Totální odraz pozorujeme jednak přímo a pak také pomocí stopy lomeného paprsku na stěně. V okamžiku, kdy totální odraz nastane, stopa na zdi náhle zmizí.

Uvěznění světla ve skle (nebo v jiném průhledném materiálu), může být velmi užitečné. Efekt můžeme vyzkoušet i na obyčejném průhledném umělo hmotném pravítku: pokud svítíme do pravítka z jedné boční strany, druhá strana se rozsvítí, i když pravítko ohneme  $\Rightarrow$  získali jsme **optické vlákno**.

Optická vlákna slouží k:

- přenosu informací (většina kabelů pro datové sítě mimo vnitřních rozvodů uvnitř budov je optických),
- přenosu světla (například u endoskopu - zařízení pro pozorování vnitřku organismu).

Úplný odraz také využívá odrazka (proto jsou zrcátka jednotlivých koutů zdánlivě odvrácená na druhou stranu).



**Shrnutí:** Světlo se při průchodu různými prostředími láme tak, aby se šířilo nejrychlejší trasou.