

Úloha I.5 ... Mince

7 bodů; průměr 4,58; řešilo 52 studentů

K vyřešení této úlohy si sežňte malou minci (desetikorunu) a skleničku. Minci umístěte na světlou podložku (například list papíru), poté na ni položte prázdnou skleničku.

- (1) Nejdříve se na minci dívejte z boku přes sklenici. Vidíte ji? Pak do sklenice nalijte vodu. Změnilo se něco? Svá pozorování popište.
- (2) Zjistěte, proč pozorovaný jev nastává.
- (3) Nakreslete obrázek světelných paprsků, které prochází skleničkou a odráží se od mince v případě, že je sklenička naplněna vodou.
- (4) Jakou kapalinou můžeme nahradit vodu ve skleničce, aby tento jev nenastal?

Položíme-li na minci skleničku a podíváme se na ni z boku, nic zvláštního se nestane – podle očekávání uvidíme minci ležící pod skleničkou. Ve chvíli, kdy do skleničky nalijeme vodu, však mince zdánlivě zmizí. Čím je to však způsobeno?

Trocha teorie

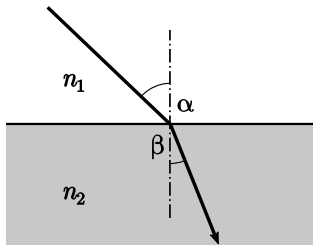
Tento jev je způsoben tím, že v různých materiálech světlo cestuje různou rychlostí – například ve vzduchu cestuje prakticky stejnou rychlostí jako ve vakuu (asi $3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), avšak ve vodě cestuje rychlostí pouze $2,3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro jednodušší popis různých rychlostí šíření světla je odvozen index lomu n , fyzikální veličina, která je definována jako poměr rychlosti světla ve vakuu c a rychlosti světla v dané látce, $n = c/v$.

Jinak řečeno, indexy lomu všech materiálů budou větší nebo rovny jedné, přičemž vyšší hodnota indexu lomu znamená nižší rychlost šíření světla. Většina materiálů má index lomu blízký jedné (např. index lomu vzduchu je 1, vody 1,33, skla asi 1,5), ale například diamant má index lomu až 2,5.

Dopadne-li světlo na rovinné rozhraní dvou prostředí s různými indexy lomu n_1 a n_2 , dojde k jeho lomu. Úhel, pod kterým se světlo zlomí, je dán Snellovým zákonem:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta,$$

kde $\sin \alpha$ značí *sinus* úhlu α . Než matematický zápis je pro nás důležitější, že platí-li $n_1 < n_2$, tak $\alpha > \beta$ a naopak (tzv. lom *ke kolmici* a lom *od kolmice*) – viz obrázek 1.



Obr. 1: Znárodnění lomu ke kolmici (tzn. pro indexy lomu $n_1 < n_2$).

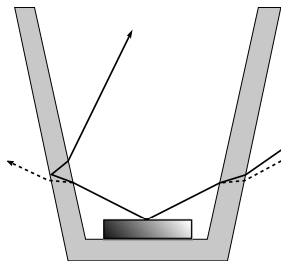
Při lomu od kolmice však může nastat také situace, kdy se světlo nezlomí, ale od rozhraní se odrazí. Tomuto jevu říkáme *totální odraz* a nastává pro úhly α větší než tzv. mezní úhel.

Popis průchodu světla skleničkou

Světlo se při průchodu sklenicí a odrazu od mince (jinak bychom minci neviděli) láme nekolikrát. Poprvé k lomu dojde na rozhraní vzduch-sklo a podruhé na rozhraní sklo-vzduch (je-li sklenice prázdná) resp. sklo-voda (je-li sklenice naplněna vodou). První lom je lomem ke kolmici a druhý lomem od kolmice, neboť sklo má větší index lomu než vzduch i voda.

Pak se světlo odráží od mince a směřuje k okraji sklenice, kde dochází k dalším lomům. V případě prázdné sklenice dojde k lomu na rozhraní vzduch-sklo a hned poté na rozhraní sklo-vzduch. První z lomů je tedy ke kolmici a druhý od kolmice. Pak světlo vstupuje do oka pozorovatele, který tak může pozorovat minci na dně sklenice.

V případě sklenice naplněné vodou je situace trochu odlišná. I zde dojde na rozhraní voda-sklo k lomu ke kolmici, no paprsek se zlomí méně než v případě prázdné sklenice (hodnota indexu lomu vody se od hodnoty pro sklo příliš neliší). Tím pádem bude úhel dopadu na další rozhraní sklo-vzduch větší než v předešlém případě. Dokoce se stane to, že tento úhel bude větší než mezní úhel a dojde k totálnímu odrazu paprsku (viz obrázek). Paprsek odražený zpět do sklenice pak pozorovatel vidět nemůže, tzn. zdá se mu, že mince v sklenici zmizela.



Obr. 2: Průchod světelných paprsků sklenicí. Plná čára znázorňuje paprsek procházející plnou sklenicí, čárkovaná čára popisuje průchod paprsku prázdnou sklenicí (respektive „naplněnou“ vzduchem).

Chceme-li tomuto jevu zabránit, musíme do sklenice nalít kapalinu s indexem lomu pokud možno nejbližší indexu lomu vzduchu (tedy blízké jedničky). Podobné indexy mají ale pouze plyny (sklenička se dá „napustit“ plynem těžším než vzduch) a tekuté helium, jehož index lomu je asi 1,03.

Jiří Blaha

jirka@vyfuk.mff.cuni.cz

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.