



## Výfučení: Světlo aneb proč a jak vidíme svět

Co je vlastně světlo – je to vlna nebo částice? Proč je obloha přes den modrá a západ slunce oranžový? Jak vzniká duha a proč vidíme barvy? To vše a mnohem více se dozvíte v tomto Výfučení.

Začneme úplným základem – podstatou světla. Světlo můžeme chápat jako druh energie; tato energie má dvojí podstatu (odborně říkáme duální charakter). To znamená, že se světlo může chovat buď jako proud částic (fotonů), nebo jako vlna. Je proto vlněním i částicí současně, jen záleží na tom, jak se na něj díváme a jakou fyzikální veličinu zrovna měříme.

### Světlo jako vlna

Pokud se zajímáme o šíření světla, lom, odraz nebo vznik barev, na světlo nahlížíme jako na vlnění. Vlny jsou charakterizovány vlnovou délkou  $\lambda$ , což je vzdálenost mezi dvěma sousedními vrcholy vlny.

Vlnová délka určuje, jakou má světlo energii. Čím kratší je vlnová délka, tím větší má záření energii. Proto se například ultrafialové záření, které má vlnovou délku menší než 400 nm, používá jako dezinfekce v mikrobiologických laboratořích nebo na úpravu pitné vody.

Světlo s vlnovou délkou v rozsahu 400 nm až 750 nm se nazývá viditelná oblast světla. Na tyto vlnové délky jsou totiž citlivé světločivné buňky v lidském oku – konkrétně čípky. Čípku má lidské oko tři typy, které rozlišují tři základní barvy (vlnové délky) světla, dopadajícího na sítnici – červenou (s vlnovou délkou 620 nm – 750 nm), zelenou (490 nm – 570 nm) a modrou (420 nm – 490 nm). Kombinací těchto tří barev, respektive spoluprací tří základních typů čípků, vznikají doplňkové barvy – např. žlutá, oranžová a fialová.

Světlo s vlnovou délkou nad 750 nm (až 1 mm), označované jako infračervená oblast, se dle vlnové délky dále dělí na blízkou infračervenou, střední infračervenou a dalekou infračervenou oblast. Infračervené světlo můžeme cítit jako teplo. Jde o záření, které je produkováno hlavně pohybem molekul a atomů v tělesech. Každé těleso s teplotou nad absolutní nulou tak vyzařuje infračervené záření. Čím větší teplotu těleso má, tím více světla vyzařuje. Velkým zdrojem infračerveného záření je například Slunce, večerní táborák nebo radiátor v místnosti. Využití infračerveného světla spočívá také v dálkových ovladačích, optických vláknech nebo termokamerách.

Světlo také charakterizuje frekvence  $f$ , která se udává v jednotkách hertz (Hz). Ta obecně udává, kolikrát se určitý děj zopakuje za jednu sekundu. V kontextu světla je to počet vrcholů vln, které projdou daným místem za jednu sekundu. Mezi vlnovou délkou a frekvencí platí vztah

$$f = \frac{c}{\lambda},$$

kde  $c = 299\,792\,458\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  je rychlost světla.

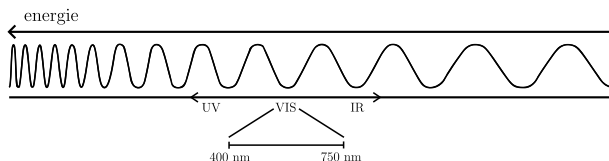
### Světlo jako částice

Teď se podívejme na světlo z jiného úhlu pohledu – jako na kvanta světla (fotony). Fotony jsou částice, které přenášejí nějaké množství energie (můžeme si je tedy představit jako takové balíčky). Jak jsme již naznačili, množství energie souvisí s vlnovou délkou světla a tedy i s frekvencí,

a to tím způsobem, že energie se snižuje s rostoucí vlnovou délkou. Energii jednoho fotonu můžeme zapsat jako

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda},$$

kde  $h$  je Planckova konstanta, která má hodnotu  $6,626 \cdot 10^{-34}$  J·s. Energie fotonů tak závisí pouze na jejich vlnové délce.



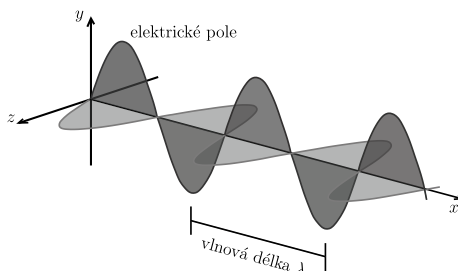
Obrázek 1: Vlnové délky elektromagnetického záření

Na fotonech je zajímavé, že přestože mají nulovou klidovou hmotnost, nesou kromě energie také hybnost. Ta souvisí s ostatními zmíněnými veličinami následovně

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Ve vakuu se fotony pohybují vždy rychlostí světla  $c \doteq 300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tato hranice rychlosti nemůže být nikdy překonána žádnou částicí při libovolném urychlování. Velmi blízko rychlosti světla ve vakuu mají částice v urychlovačích jako je např. urychlovač LHC (Large Hadron Collider) v Cernu. Čím blíže je částice rychlosti světla, tím více energie jí musíme dodat, aby ještě více zrychlila. Částicím bychom tak museli dodat nekonečné množství energie, aby této rychlosti dosáhly. A dodat nekonečné množství energie prostě nelze.

V kvantové fyzice se fotony považují za přenašeče elektromagnetické síly. Světlo totiž není jedna samostatná vlna, ale má dvě složky. Skládá se ze dvou vln, které kmitají stejným směrem a jsou na sebe navzájem kolmé. V kontextu světla hovoříme o tzv. elektromagnetickém záření – elektrická složka „se vlní“ nahoru a dolů a magnetická složka doprava a doleva – velmi zjednodušeně řečeno.



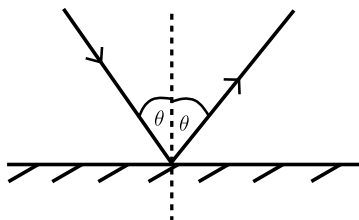
Obrázek 2: Světlo jako elektromagnetická vlna

## Barvy objektů a odraz světla

Světlo může materiály procházet nebo jimi může být částečně nebo úplně pohlceno či odraženo. Odraz světla se řídí jednoduchým zákonem

$$\theta_d = \theta_o,$$

kde  $\theta_d$  je úhel mezi dopadajícím paprskem a kolmicí k povrchu, od kterého se odrazilo, a  $\theta_o$  je úhel mezi odraženým paprskem a kolmicí k danému povrchu. Od hladkých povrchů se proto světlo odráží tak, že úhel dopadu je vždy stejný jako úhel odrazu. Pokud je ale povrch hrubý, světlo se od každé nerovnosti odrazí jinak a zákon nebude obecně platit pro celý povrch.



Obrázek 3: Odraz světla

Díky tomuto jevu vidíme odražený zrcadlový obraz na vodní hladině či v zrcadle. Náš mozek si odražené paprsky interpretuje, jakoby vycházely přímo z vodní hladiny nebo zrcadla.

Tělesa nemusí světlo jen odrážet, ale mohou ho i pohlcovat – buď úplně, a objekt se tak jeví jako černé těleso, nebo se odrazí pouze část (určité vlnové délky) záření. Například červené materiály odrážejí červenou část spektra a ostatní vlnové délky pohlcují. Zelené materiály odrážejí zelené světlo, žluté materiály odrážejí červené a zelené světlo apod.

Některé materiály světlo propouštějí a můžeme je využít pro optické filtry. Optické filtry propouštějí určitou vlnovou délku a ostatní pohlcují nebo odrážejí (červený filtr propouští červené barvy, zelený propouští zelené atd.). Každodenně používaným příkladem optického filtru jsou sluneční brýle.

## Lom světla

Světlo se obvykle šíří po přímce, ale když narazí na hranici mezi dvěma prostředními, tedy přechází například ze vzduchu do vody, změní svůj směr o určitý úhel. Tomuto jevu se říká lom světla a je dán tzv. optickou hustotou prostředí. Světlo se ve vodě šíří pomaleji než ve vzduchu a změna jeho rychlosti se projeví právě ohnutím směru paprsku. Čím větší je rozdíl v optických hustotách prostředí, tím více se paprsek zlomí. Tohoto jevu si můžeme všimnout například při pozorování brčka ve sklenici vody – brčko se jeví jinak velké, než ve skutečnosti je. Jak moc světlo v daném prostředí změní směr, můžeme popsat indexem lomu. Index lomu vyjádříme pomocí vzorce

$$n = \frac{c}{v},$$

kde  $c$  je rychlost světla ve vakuu, která je konstantní, a  $v$  je rychlost světla v daném prostředí (například ve vodě je to  $225\,000\,000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Index lomu tedy vyjadřuje, kolikrát je světlo v daném prostředí zpomaleno oproti vakuu. Různé vlnové délky ale mají ve stejném prostředí

rozdílné rychlosti, a tak i různé indexy lomu. Lomu světla se využívá především v optických čočkách, které mohou podle typu paprsky světla buď koncentrovat do jednoho bodu, nebo je naopak rozptýlit.

Díky lomu světla také vzniká duha. Bílé denní světlo tvořené vzájemným překryvem světla všech vlnových délek se za deště nebo při průchodu optickým hranolem láme a rozkládá se podle vlnové délky od fialové po červenou.<sup>1</sup> Každá barva mění směr trochu jinak. Krátké vlny se lámou více, a tak je fialová barva vždy naspod duhy. Tento jev se nazývá disperze světla.

Pro lom světla platí Snellův zákon

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 ,$$

kde  $n_1$ ,  $n_2$  jsou indexy lomu obou prostředí,  $\theta_1$  je úhel dopadu (vztahuje se k normále, tedy kolmici k povrchu materiálu) a  $\theta_2$  úhel zlomeného světla. Vidíme tak, že úhel lomu závisí na tom, jak se liší indexy lomu  $n_1$  a  $n_2$ . Pokud tak vlna prochází mezi prostředími se stejným indexem lomu, paprsek se vůbec nezlomí. Také můžeme vidět, že při přechodu do prostředí s nižším indexem lomu se úhel paprsku vůči normále zvětší, zatímco při přechodu do prostředí s větším indexem lomu se zmenší.

## Závěr

V tomto Výfučení jsme si ukázali, co je to světlo a proč s ním někdy počítáme jako s vlnou a někdy jako s částicí. Vysvětlili jsme si, jak se podle vlnové délky liší druhy světla a popsali jsme si, k čemu se mohou využívat. Ukázali jsme si vztahy pro energii a hybnost fotonů a naučili jsme se počítat lom světla pomocí Snellova zákona.

*Julie Weisová*

julie.weisova@vyfuk.org

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.

Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

<sup>1</sup>Někdy může vznikat i takzv. „bílá duha“, často se tak děje v řidší mlze, ve které nejsou kapky vody dostatečně velké na to, aby se barvy rozdělily.