



OPTIKA

Fotometrie

TENTO PROJEKT JE SPOLUFINANCOVÁN EVROPSKÝM SOCIÁLNÍM FONDEM A STÁTNÍM ROZPOČTEM ČESKÉ REPUBLIKY.



Fotometrie

definuje a studuje veličiny charakterizující působení světelného záření na lidské oko.

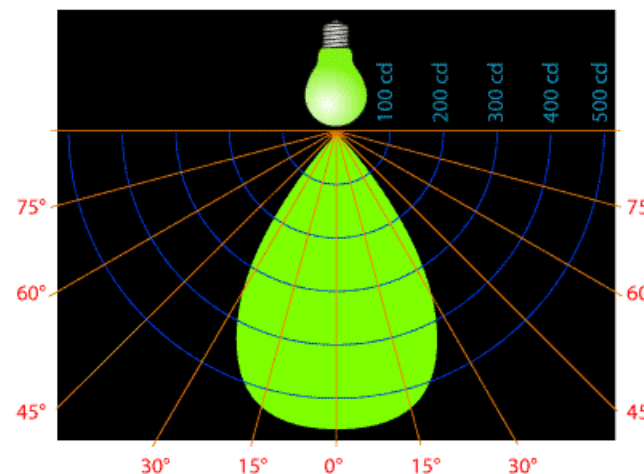
Obor vlnových délek záření, které budí v oku zrakový vjem (**obor viditelného záření**), sahá asi od 400 do 750 nm. Avšak oko není pro celý obor viditelného záření stejně citlivé. Nejméně je citlivé na vlnové délky ležící na okrajích oboru viditelného záření, citlivější je na vlnové délky, jež jsou přibližně uprostřed tohoto oboru, a nejcitlivější je na žlutozelené světlo vlnové délky 555 nm.

Přímé měření je obtížné, proto velikost záření zdrojů porovnáváme se zářením určitého normálního zdroje. Zrakem poznáváme, že různé světelné zdroje nevysílají stejné množství světla. Říkáme, že mají různou **svítivost I** , tedy různou schopnost přibližně bodového zdroje světla (tj. zdroje, jehož rozměry jsou zanedbatelné v porovnání se vzdáleností z které ho pozorujeme) vyvolat v daném směru zrakový vjem. Svítivost tělesa závisí na jeho teplotě. Jednotkou svítivosti je kandela; značíme ji cd.

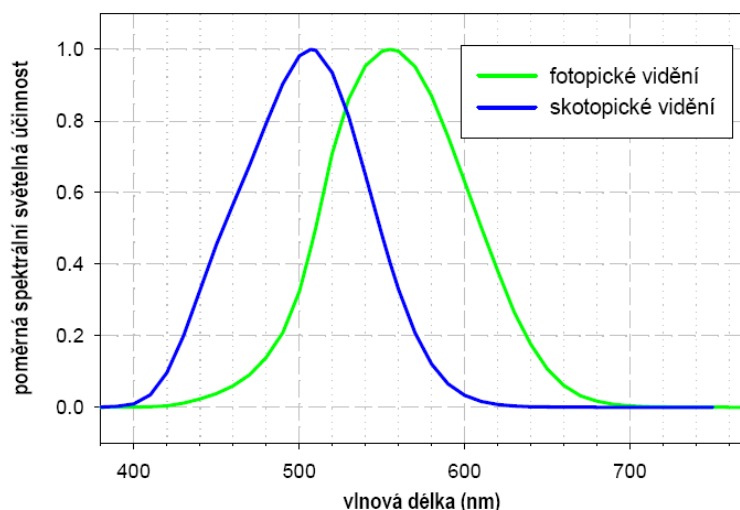
Svítivost 1 kandela je potom definována jako svítivost zeleného zdroje světla o vlnové délce 555 nm (na které je oko nejcitlivější) mající výkon 0,00146 Wattů na 1 steradián. Tato podivná definice vznikla ryze historicky. Jelikož koule má asi 12,6 steradiánů (4π), tak 1 kandela vyzáří kolem dokola asi 18,4 mW (za předpokladu rovnoměrného svitu do všech směrů), což odpovídá přibližně světlu z 1 svíčky.

Svítivost	Zdroj
0,005 cd	LED dioda
1 cd	Svíčka
135 cd	100 W žárovka
100 000 cd	Reflektory auta (směr vpřed)
1 000 000 cd	Fotografický blesk (špičková hodnota)

Proč je definována tak složitě? Světelné zdroje mají totiž tu vlastnost, že nesvítí do všech úhlů stejně. Reflektory auta svítí velmi silně dopředu, do stran jen málo a dozadu vůbec. Svítivost zdroje je tak užitečné popsat právě přes prostorový úhel. Výrobci světelných zdrojů potom uvádějí diagramy, které distribuci světla do různých směrů zobrazují.



Citlivost lidského oka za běžného denního světla je však významně jiná než citlivost při nočním vidění. Při přechodu od denního světla v soumrak tj. při slabém osvětlení je citlivost oka na červeném okraji spektra (delší vlnové délky) nižší a na modré straně spektra (kratší vlnové délky) vyšší. To je tzv. **Purkyňův jev**.



Máme-li dva papíry, červený a modrý, tak se nám při obvyklém denním světle jeví modrý papír tmavší než červený. Zatemníme-li dostatečně (ale ne úplně) místnost, jakmile se oko akomoduje na tmou, modrý papír se nám zdá světlejší než červený. Za silného osvětlení převládá vnímání čípků, při němž rozlišujeme barvy (fotopické, denní vidění). Při slabém osvětlení převládá vnímání tyčinek, takže vidíme jen různé odstíny modrošedé (skotopické, soumrakové vidění).

Pro všechny jednotky měřící světlo se však používá jen fotopická citlivost.

Energie, kterou daný zdroj vyzáří za jednotku času, nazýváme *celkový zářivý tok* Φ_e .

Dílčím *zářivým tokem* nazýváme energii procházející částí prostoru, např. kolik energie vyzáří žárovka oknem. Údaj zářivého toku však nic neříká o tom, jak bude dané záření vnímat oko. Např. žárovka září jak v infračervené oblasti, kterou nevidíme, tak ve viditelném spektru. Zhodnocení výkonu přenášeného zářením normálním lidským okem vzhledem k rozdílné citlivosti na různé barvy,

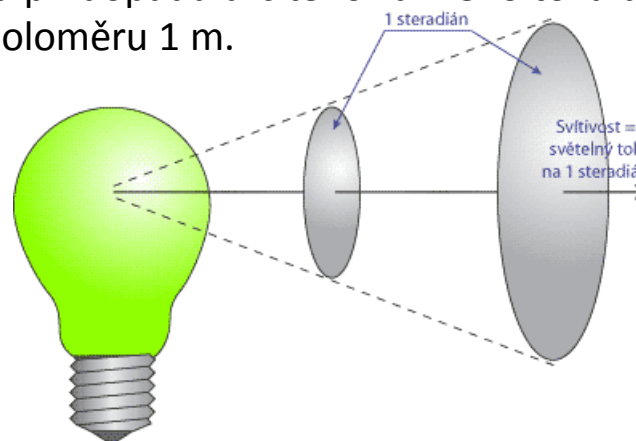
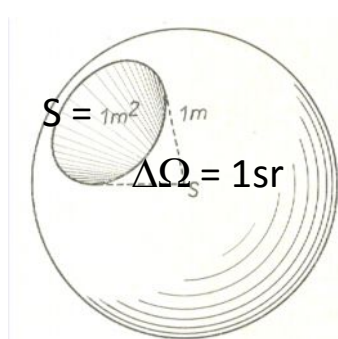
nazýváme **světelným tokem** Φ ;

$$\Phi = K\Phi_e,$$

kde K je tzv. *světelná účinnost záření*.

Největší spektrální světelná účinnost K_m je 683 lm/W při fotopickém (denním) vidění *pro monochromatické světelné záření* o vlnové délce 555 nm , pro skotopické (za šera) vidění $K'_m = 1700 \text{ lm.W}^{-1}$ při $\lambda = 507 \text{ nm}$.

Světelný tok Φ vychází tedy ze subjektivního vjemu při dopadu určitého zářivého toku do oka: Kolem bodového zdroje opišeme kulovou plochu poloměru 1 m .



Světelný tok je množství světelné energie procházející určitou částí této kulové plochy S za 1 s , či vyzařované do prostorového úhlu $\Delta\Omega$ za 1 s .

Jednotkou světelného toku je lumen; značíme jej lm .

Světelný zdroj, který má ve všech směrech svítivost 1 cd , vysílá do celého prostoru světelný tok $\Phi = 4\pi \text{ [lm]}$, světelný zdroj svítivosti $I \text{ cd}$ vysílá světelný tok $\Phi = 4\pi I \text{ [lm]}$.

$$\Phi = I \cdot \Delta\Omega \text{ [lm = cd.sr]}$$

Dopadá-li světelný tok na plochu, osvětluje ji. **Osvětlení E** plochy S je podíl světelného toku Φ na ni dopadajícího a velikosti této plochy S :

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} \left[lx = \frac{lm}{m^2} \right]$$

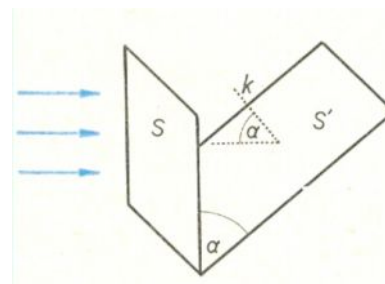
Příklady hodnot osvětlení:

sluneční letní den	> 70 000 lx
jasná noc za úplňku	0,5 lx
veřejné osvětlení	2 lx

Světelný tok na povrchu koule poloměru R , která je opsána okolo bodového zdroje, jehož svítivost je ve všech směrech stejná, je $\Phi = 4\pi I$. Dosadíme-li za $S = 4\pi R^2$, dostaneme osvětlení při kolmém dopadu paprsků:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{4\pi I}{4\pi R^2} = \frac{I}{R^2}$$

Dopadají-li paprsky na plochu šikmo pod úhlem α , prochází plochou S' též světelný tok jako plochou S při kolmém dopadu.



Protože platí: $S = S' \cdot \cos \alpha$, $S' = \frac{S}{\cos \alpha}$,

je osvětlení plochy S'

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S'} = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Phi \cos \alpha}{S} = \frac{4\pi I \cos \alpha}{4\pi R^2} = \frac{I \cos \alpha}{R^2} \dots \dots E = \frac{I \cos \alpha}{R^2}$$

Doporučené intenzity osvětlení pro různá pracoviště

pracoviště	Intenzita osvětlení [lux]	Žárovky [W/m ²]	Zářivky [W/m ²]
Skladiště, byty, restaurace, divadla	120	20 až 30	7 až 9
Učebny, pokladny, jednoduchá montáž	250	40 až 55	13 až 18
Kanceláře, čítárny, výpočetní střediska, výzkum	500	75 až 105	25 až 35
Výstavy, obchodní domy, jemná montáž	750	115 až 160	38 až 53
Montáž elektroniky, retuš	1000	-	50 až 70
Jemná montáž, elektronika	1500	-	75 až 105
Hodinářství, subminiaturní elektronika	2000	-	100 až 140

S použitím:

- J. Zámečník. *Prehľad stredoškolskej fyziky*. 2. vydání. Praha 1988: SNTL. od str. 358.
- F. Vencálek, M. Kutílek, K. Semerád. *Fyzika pro I. ročník SPŠ*. 8. vydání. Praha 1978: SPN. str. 327
- dr. Eva Pešková, prof. Hana Kropáčková. *Fyzika*. Praha 1992: ORFEUS. od str. 255.
- http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_1p_01_photometry.html1
- http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_304.pdf

vypracoval: Ing. Milan Maťátko
