

## 5.4.6 Radiometrické a fotometrické veličiny

### Předpoklady:

Chceme změřit míru osvětlení (kde je málo nebo hodně světla)

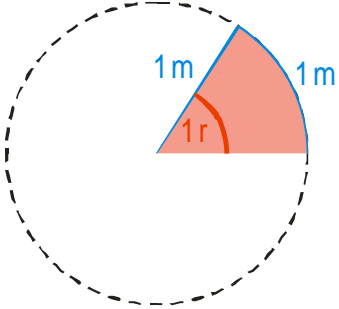
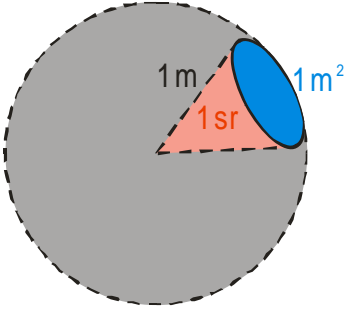
⇒ měření bychom mohli založit na energii, kterou přenáší záření (tam, kde by to záření neslo hodně energie, bylo by velké osvětlení a naopak)

**problém:** oko není detektor energie ⇒ různé vlnové délky vnímá různě (nejlépe žlutozelené světlo) ⇒ při osvětlení UV zářením dopadá hodně energie a není vidět nic

⇒ používají se 2 sady jednotek:

1. **radiometrické** – založené na tom, kolik energie se přenese zářením (fyzikálně objektivní, ale neříkají moc o tom, jestli bude dost světla na přečtení knížky)
2. **fotometrické** – založené na tom, jak to záření působí na lidský zrak (poznáme z toho, jestli je místnost dost osvětlená, ale nejsou spravedlivé k energii, kterou záření přenáší)

Nejdříve si musíme osvěžit jednotky úhlů:

rovinný úhel $\varphi$	prostorový úhel $\Omega$
<b>1 radián [1 r]</b> (přirozená jednotka úhlu)	<b>1 steradián [1 sr]</b> (analogie radiánu v prostoru)
	
1 radián – úhel, který vytkne na jednotkové kružnici oblouk o délce 1 m obvod kruhu: $o = 2\pi r \Rightarrow$ celý kruh je tedy $360^\circ = 2\pi r \Rightarrow 1r = 57^\circ 18'$	1 steradián – úhel, který ze středu vytkne na jednotkové kouli plochu $1\text{ m}^2$ plocha koule: $S = 4\pi r^2 \Rightarrow 1\text{ sr}$ je přibližně $1/12,5$ část celého prostorového úhlu
výpočet délky oblouku: $l = \varphi \cdot r$	výpočet plochy na kouli: $S = \Omega \cdot r^2$

teď si můžeme udělat přehled veličin

### Přehled veličin

#### RADIOMETRICKÉ

Kolik energie se vyzáří celkem (do všech směrů kam svítíme)?

Zářivý tok:  $\phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t}$  [J/s = W]

#### FOTOMETRICKÉ

Světelný tok:  $\phi$  [lm – lumen]

v něm se vyjadřuje výkon projektorů (typická velikost 2200 ANSI lumenů)

**Kolik z vyzářeného připadá na prostorový úhel?**

(vyzáření určitého množství energie do úzkého paprsku má jiné důsledky než když stejnou energii

vyzáříme do celého prostoru)

$$\text{Zářivost: } I_e = \frac{\Delta \phi_e}{\Delta \Omega} \quad [\text{W/sr}] \qquad \text{Svítivost: } I = \frac{\Delta \phi}{\Delta \Omega} \quad [1 \text{ cd} - \text{kandela}]$$

### Kolik z vyzářeného připadá na plochu?

(paprsek světla se se vzdalováním od zdroje rozšiřuje a plocha ve větší vzdálenosti je méně osvětlená než plocha přímo u zdroje).

Hustota zářivého toku (Intenzita vyzařování) Osvětlení:  $E_0 = \frac{\Delta \phi}{\Delta S} \quad [1 \text{ lx} - \text{lux}]$

$$J_e = \frac{\Delta \phi_e}{\Delta S} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Kandela je poslední jednotkou SI.

**Definice kandely:** 1 cd je svítivost povrchu černého tělesa o obsahu  $\frac{1}{600000} \text{ m}^2$  při teplotě tuhnutí platiny  $1773^\circ$  za normálního tlaku 101 325 Pa .  
1cd odpovídá přibližně svítivosti 1 svíčky

**Př. 1:** Rozhodni, která z uvedených veličin se používá u technických norem, které popisují instalaci osvětlení v budovách.

Používá se osvětlení, udává množství světla dopadajícího na plochu a zohledňuje tak i vzdálenost plochy od zdroje.

Osvětlení za některých situací:

- hranice tmy: 0,1 lx
- hranice šera: 1 lx
- den při zatažené zimní obloze: 5000 lx
- letní sluneční den: 70000 lx
- doporučená hodnota pro déletrvající zrakovou činnost: 2000 lx

**Př. 2:** Urči světelný tok svíčky o svítivosti 1 cd. Předpokládej, že svíčka svítí do všech stran stejně

$$I = \frac{\Delta \phi}{\Delta \Omega}$$

$$\Delta \phi = I \cdot \Delta \Omega = 1 \cdot 4 \cdot \pi$$

$$\Delta \phi = 12,6 \text{ lm}$$

Světelný tok svíčky je přibližně 13 lm (téměř 200x menší než u projektoru).

**Př. 3:** 100 W žárovka vytváří světelný tok 1300 lm. Urči její svítivost. Jaké osvětlení vyváří na stole vzdáleném 1,7 m?

$$\phi = 1300 \text{ lm} \quad , \quad r = 1,7 \text{ m} \quad , \quad I = ? \quad , \quad E_0 = ?$$

$$I = \frac{\Delta \phi}{\Delta \Omega} \quad \text{žárovka svítí do celého prostoru} \quad \Rightarrow \quad \Delta \Omega = 4 \pi$$

$$I = \frac{\Delta \phi}{\Delta \Omega} = \frac{1300}{4 \pi} \text{ cd} = 103 \text{ cd}$$

$$E_0 = \frac{\Delta \phi}{\Delta S} \quad \text{žárovka svítí do celého prostoru} \quad \Rightarrow \quad \Delta S = 4 \pi \cdot r^2 \quad (\text{plocha koule o poloměru}$$

1,7 m)

$$E_0 = \frac{\Delta \phi}{4\pi \cdot r^2} = \frac{1300}{4\pi \cdot r^2} \text{ lx} = 35,8 \text{ lx}$$

100 W žárovka má svítivost 103 cd a vytváří osvětlení 35,8 lx.

**Př. 4:** Urči průměrnou svítivost a průměrné osvětlení na zdi, které způsobuje projektor o světelném toku 2400 lm. Projektor je umístěn 3 m od zdi, na které vytváří obdélník 2 x 1,5 m.

$$\phi = 2400 \text{ lm} \quad , \quad r = 3 \text{ m} \quad , \quad a = 2 \text{ m} \quad , \quad b = 1,5 \text{ m} \quad , \quad I = ? \quad , \quad E_0 = ?$$

$$\text{plocha obrazu: } S = a \cdot b = 2 \cdot 1,5 \text{ m}^2 = 3 \text{ m}^2$$

$$E_0 = \frac{\Delta \phi}{\Delta S} \quad \text{projektor osvětluje plochu } S = 3 \text{ m}^2$$

$$E_0 = \frac{\Delta \phi}{\Delta S} = \frac{2400}{3} \text{ lx} = 800 \text{ lx}$$

Jak spočítat prostorový úhel, který projektor osvětluje?

osvětlený obdélník je přibližně částí povrchu koule o poloměru 3 m  $\Rightarrow$  použijeme vztah

mezi prostorovým úhlem a plochou na kouli:  $S = \Omega \cdot r^2 \Rightarrow \Omega = \frac{S}{r^2} = \frac{3}{3^2} \text{ sr} = 0,33 \text{ sr}$

$$I = \frac{\Delta \phi}{\Delta \Omega}$$

$$I = \frac{\Delta \phi}{\Delta \Omega} = \frac{2400}{0,33} \text{ cd} = 7200 \text{ cd}$$

Projektor vytváří na zdi osvětlení 400 lx, jeho svítivost je 7200 cd.

**Poznámka:** Z předchozích dvou příkladů je vidět, daleko větší svítivost projektoru oproti žárovce nezpůsobuje ani tak jeho větší světelný tok jako jeho schopnost soustředit paprsky do úzkého kuželu.

**Př. 5:** Žárovka 60 W vytváří se stínítkem lampičky světelný kužel o svítivosti 1400 cd. Urči v jaké vzdálenosti od lampičky bude osvětlení dosahovat doporučené hodnoty 2000 lx.

$$I = 1400 \text{ cd} \quad , \quad E_0 = 2000 \text{ lx} \quad , \quad r = ? \quad (\text{výkon žárovky nás nezajímá})$$

nemáme vztah mezi  $I$  a  $E_0 \Rightarrow$  hledáme ve vztazích, které známe:  $E_0 = \frac{\Delta \phi}{\Delta S}$  ,

$$I = \frac{\Delta \phi}{\Delta \Omega} \Rightarrow \Delta \phi = I \cdot \Delta \Omega$$

$$E_0 = \frac{\Delta \phi}{\Delta S} = \frac{I \cdot \Delta \Omega}{\Delta S} \quad \text{dosadíme vztah: } \Delta S = \Delta \Omega \cdot r^2$$

$$E_0 = \frac{\Delta \phi}{\Delta S} = \frac{I \cdot \Delta \Omega}{\Delta \Omega \cdot r^2} = \frac{I}{r^2} \Rightarrow r^2 = \frac{I}{E_0} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{I}{E_0}} = \sqrt{\frac{1400}{2000}} \text{ m} = 0,84 \text{ m} = 84 \text{ cm}$$

Osvětlení lampičky dosahuje doporučené hodnoty ve vzdálenosti 84 cm.

**Shrnutí:** Míru osvětlení určujeme pomocí dvou sad veličin: radiometrických (objektivní) a fotometrických (subjektivní, podle působení na lidský zrak).