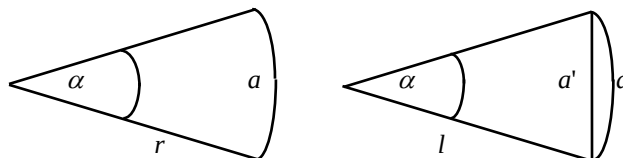


ZÁKLADNÍ POJMY SVĚTELNÉ TECHNIKY

1. Rovinný úhel

$$\alpha \text{ (rad)} = \text{arc } \alpha = a/r = a'/l \text{ (pro malé, zorné, úhly)}$$

$$\text{arc } \alpha / 2\pi = \alpha / 360^\circ \text{ (malým se rozumí } r/a > 3 \text{ až } 5)$$



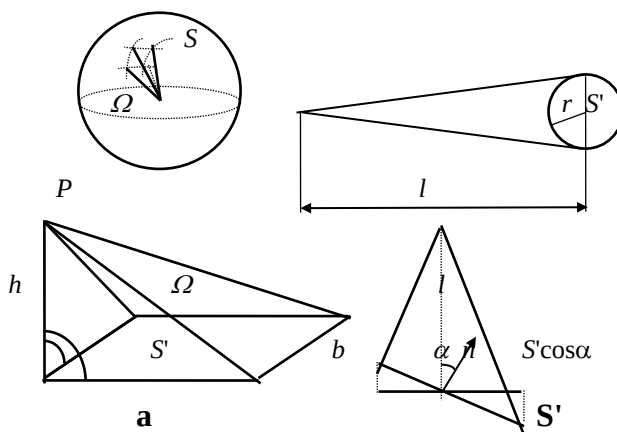
2. Prostorový úhel

$$\Omega = S/r^2 \text{ (sr) steradián, } \Omega = 4\pi$$

$$\Omega = S'/l^2 \text{ (pro malé, zorné, úhly) } S' - \text{zorný průmět}$$

$$\Omega = \arctg \frac{a \cdot b}{h \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}}$$

$$\text{natočená rovina (pro } l \gg d) \quad \Omega = S' \cdot \cos \alpha / l^2$$



3. Svítivost

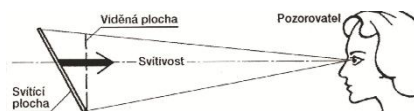
I (cd) kandela je kolmá svítivost $1/60\text{cm}^2$ absolutně černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny (2046,5 K) za normálního tlaku.

4. Světelný tok

$$d\Phi = I \cdot d\Omega \quad (\text{lm; cd, sr})$$

5. Jas

$$L = \frac{I}{S} \quad (\text{cd/m}^2; \text{cd, m}^2)$$



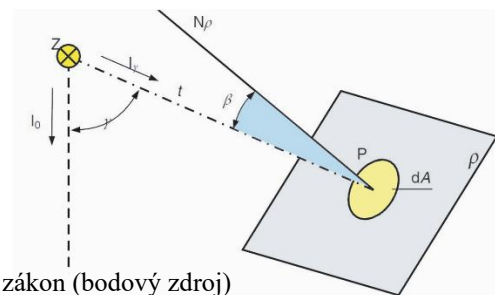
6. Osvětlenost (intenzita osvětlení)

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (\text{lx; lm, m}^2)$$

$$E = \frac{I \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (\text{lx; cd, } ^\circ, \text{ m})$$

dopadající tok

čtvercový a cosinový zákon (bodový zdroj)



7. Světlení

$M = \frac{\Phi}{S} = \rho \cdot E$	(lm/m ² ; lm, m ²)	odražený tok
$M = \pi \cdot L$	(lm/m ² ; cd/m ²)	dokonalý rozptylovač

8. $\alpha + \rho + \tau = 1$

$\Phi_{\tau} = \Phi \tau$	činitel prostupu
$\Phi_{\rho} = \Phi \rho$	činitel odrazu
$\Phi_{\alpha} = \Phi \alpha$	činitel pohlcení

Příklady

1) Jak velká je úhlová výchylka α (zorný úhel) dvou pozorovaných bodů, jejichž vzájemná vzdálenost je $a = 2$ m, jsou-li oba od pozorovatele vzdáleny $r = 30$ m?

$$\alpha = a/r = 2/30 \text{ rad} = 3,82^\circ$$

2) Určete vzdálenost, ze které je vidět lidským okem délka 1 mm při rozlišovací schopnosti oka 1'!

$$r = \frac{a}{\alpha} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{\text{arc}(1')} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{0,29 \cdot 10^{-3}} = 3,44 \text{ m}$$

$$(1' = \frac{1}{60}^\circ = \frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180} \text{ rad} = \frac{\pi}{10800} \text{ rad} \approx 0,00029088 \text{ rad})$$

3) Jak velký je prostorový úhel příslušný k části koule o ploše $S = 15$ m² a $r = 3$ m?

$$\Omega = S / r^2 = 15/3^2 = 1,67 \text{ sr}$$

4) Jak velký je zorný průmět a prostorový úhel svítící koule o průměru $d = 40$ cm pro pozorovatele vzdáleného od koule o $l = 10$ m?

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,2 = 0,1257 \text{ m}^2$$

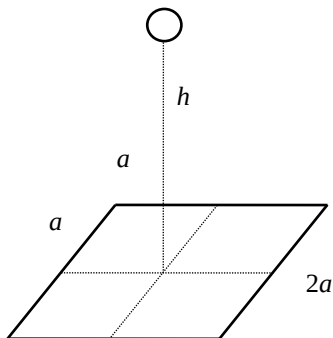
$$\Omega = \frac{S}{l^2} = \frac{0,1257}{10^2} = 1,257 \cdot 10^{-3} \text{ sr}$$

5) Určete Ω čtvercové podlahy o straně 6 m pro svítidlo, které se nachází uprostřed místnosti ve výšce $h = 4$ m. Svítivost zdroje $I = 300$ cd. Vypočtěte světelný tok dopadající na podlahu a stanovte **střední osvětlenost** podlahy.

$$\Omega = 4 \cdot \arctg \frac{a^2}{h \cdot \sqrt{a^2 + a^2 + h^2}} = 4 \cdot \arctg \frac{3^2}{4 \cdot \sqrt{2 \cdot 3^2 + 4^2}} = 1,47 \text{ sr}$$

$$\Phi = I \cdot \Omega = 300 \cdot 1,47 = 441 \text{ lm}$$

$$E = \Phi / S = 441 / 6^2 = 12,25 \text{ lx}$$



6) Stanovte světelný tok zdroje, jehož průměrná svítivost do horního poloprostoru je $I_h = 10$ cd a do dolního $I_d = 20$ cd.

$$\Phi = 2 \cdot \pi \cdot I_h + 2 \cdot \pi \cdot I_d = 2 \cdot \pi \cdot (10 + 20) = 189 \text{ lm}$$

7) Jaká je svítivost bodového zdroje světla, který vydává světelný tok $\Phi = 126,5$ lm?

$$I = \Phi / \Omega = 126,5 / 4\pi = 10 \text{ cd}$$

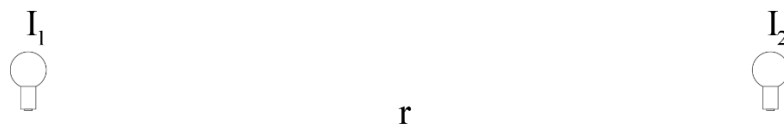
8) Na fotometrické lavici jsou dvě žárovky o svítivostech $I_1 = 25$ cd a $I_2 = 35$ cd vzdáleny 3 m. Kde mezi nimi bude fotočlánek při vyrovnané osvětlenosti?

$$E_1 = E_2$$

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}$$

$$\sqrt{\frac{I_2}{I_1}} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{(3 - r_1)}{r_1}$$

$$r_1 = \frac{3}{1 + \sqrt{\frac{35}{25}}} = 1,37 \text{ m} \text{ a } r_2 = 3 - 1,37 = 1,63 \text{ m}$$



9) Koule z vrstveného skla má průměr $d = 30$ cm. V kouli je žárovka $P = 200$ W, se světelným tokem. $\Phi_z = 2740$ lm. Světelná účinnost svítidla je $\eta = 70$ %. Předpokládáme rovnoměrný rozptyl a jas.

Určete: Φ , I_0 , M , L !

$$\Phi = \Phi_z \cdot \eta = 2740 \cdot 0,7 = 1920 \text{ lm}$$

$$I_0 = \Phi / 4\pi = 1920 / 4\pi = 153 \text{ cd}$$

$$M = \Phi / S = I_0 / r^2 = 153 / 0,15^2 = 6780 \text{ lm/m}^2$$

$$L = M / \pi = 6780 / \pi = 2160 \text{ cd/m}^2$$

$$L = I_0 / (\pi \cdot r^2) = \Phi / (4 \cdot \pi^2 \cdot r^2) = M / \pi$$

Určení toku rotačně symetrických difúzních ploch

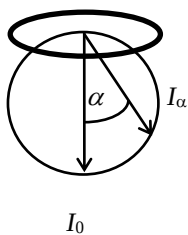
$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} I_{\alpha\beta} \cdot \sin\alpha \, d\alpha \, d\beta = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{\pi} I_{\alpha} \cdot \sin\alpha \, d\alpha$$

a) koule

$$I_{\alpha} = I_0 \quad \Phi = 2\pi \cdot I_0 \int_0^{\pi} \sin\alpha \, d\alpha = 4\pi \cdot I_0$$

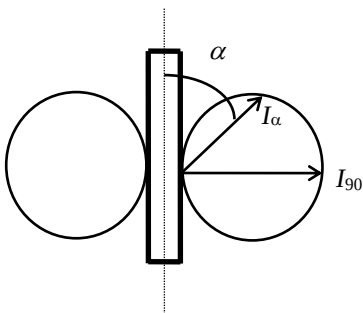
b) plocha

$$I_{\alpha} = I_0 \cdot \cos\alpha \quad \Phi = 2\pi \cdot I_0 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\alpha \cdot \cos\alpha \, d\alpha = \pi \cdot I_0$$



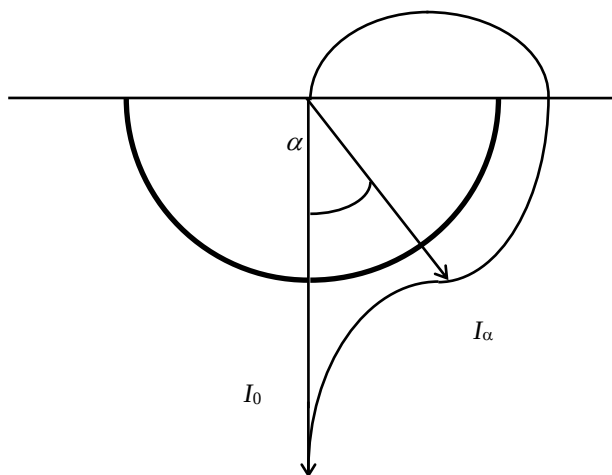
c) válec

$$I_{\alpha} = I_{90} \cdot \sin\alpha \quad \Phi = 2\pi \cdot I_{90} \int_0^{\pi} \sin^2\alpha \, d\alpha = \pi^2 \cdot I_{90}$$



d) polokoule

$$I_{\alpha} = I_0 / 2 \cdot (1 + \cos \alpha) \quad \Phi = 2\pi \cdot I_0 / 2 \cdot \int_0^{\pi} (1 + \cos \alpha) \cdot \sin \alpha \, d\alpha = 2\pi \cdot I_0$$



Příklady

10) Vypočítejte jas a maximální svítivost světelného zdroje $\Phi_Z = 2200 \text{ lm}$. Délka zdroje $l = 1,2 \text{ m}$, průměr $d = 38 \text{ mm}$! Předpokládá se rovnoměrný rozptyl a jas.

$$M = \pi \cdot L = \frac{\Phi}{S} \quad S = 2\pi \cdot r \cdot l$$

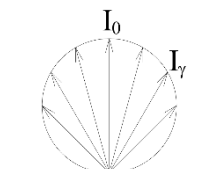
$$L = \frac{\Phi}{\pi \cdot S} = \frac{2200}{\pi \cdot (2\pi \cdot 0,019 \cdot 1,2)} = 4890 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$I_{90} = \frac{\Phi}{\pi^2} = 223 \text{ cd}$$

11) Rovinná plocha $S = 0,4 \text{ m}^2$ má ve směru $\alpha = 60^\circ$ od normály svítivost $I_{\alpha} = 150 \text{ cd}$. Jaký je jas plochy za předpokladu rovnoměrného rozptylu po ploše?

$$I_0 = \frac{I_{\alpha}}{\cos \alpha} = 300 \text{ cd}$$

$$L = \frac{I_0}{S} = \frac{300}{0,4} = 750 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$$



12) Kruhová plocha z difuzoru o průměru 1 m má maximální svítivost $I_0 = 1500 \text{ cd}$. Vypočítejte, za předpokladu rovnoměrného rozptylu, její jas a světelný tok.

$$L = \frac{I_0}{S} = \frac{1500}{\pi \cdot 0,5^2} = 1910 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\Phi = \pi \cdot I_0 = \pi \cdot 1500 = 4700 \text{ lm}$$

$$\Phi = M \cdot S = L \cdot \pi \cdot S = \pi \cdot I_0$$

13) Vypočítejte svítivost I_α pro 80° , tok Φ , maximální svítivost I_0 a jas polokoule s $d = 50 \text{ cm}$! Svítidlo s rovnoměrným rozptylem je z mléčného skla s $\eta = 54 \%$, žárovka má výkon 200 W a tok 2740 lm .

$$\Phi = \Phi_z \cdot \eta = 0,54 \cdot 2740 = 1480 \text{ lm}$$

$$I_0 = \frac{\Phi}{2\pi} = 236 \text{ cd}$$

$$L = \frac{I_0}{S} = \frac{236}{\pi \cdot 0,25^2} = 1200 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$I_\alpha = \frac{I_0}{2 \cdot (1 + \cos \alpha)} = \frac{236}{2 \cdot (1 + 0,174)} = 138 \text{ cd}$$

14) Vypočítejte jas světelně činné plochy a nakresli křivku svítivosti v polárních souřadnicích. Světelný tok světelného zdroje je $12,5 \text{ klm}$. Světelně činná plocha svítidla má průměr $d = 520 \text{ mm}$. Zadány jsou svítivosti pro 1 klm .

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,26^2 = 0,212 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{I_0}{S}$$

$$I_\alpha = \frac{\Phi_z}{1000} \cdot I_{\alpha \text{ NORM}}$$

$$\text{Pro } \alpha = 20^\circ \quad I_{20^\circ} = \frac{12500}{1000} \cdot 340 = 4250 \text{ cd}$$

$$L_\alpha = \frac{I_\alpha}{S \cdot \cos \alpha}$$

$$\text{Pro } \alpha = 20^\circ \quad L_{20^\circ} = \frac{I_{20}}{S \cdot \cos 20^\circ} = \frac{4250}{0,212 \cdot \cos 20^\circ} = 21333 \text{ cd/m}^2$$

$\alpha (^{\circ})$	0	10	20	30	40	50	60	70
$I_{\alpha \text{NORM}} (\text{cd}/\text{klm})$	345	345	340	309	245	160	80	0
$L_{\alpha} (\text{kcd}/\text{m}^2)$	20,3	20,6	21,3	21,0	18,9	14,7	9,4	0

Maximum jasu je při úhlu 20° , výstupní otvor je menší a jasnější.

15) Vypočítejte jas svítidla zářivkového vaničkového typu se čtyřmi zářivkami 40 W / 2700 lm pro příčnou rovinu a úhly 60° a 70° ! Světelná účinnost je 57 %, rozměry 1270 x 595 x 90 a pozorovací vzdálenost větší než pětinašobek délky svítidla. Svítivosti (normalizované) pro 1 klm: $I(60^{\circ}) = 86,5 \text{ cd}$, $I(70^{\circ}) = 65,7 \text{ cd}$.

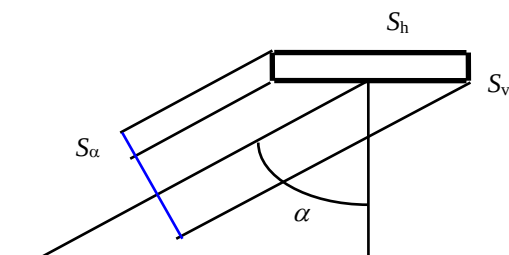
$$S_h = 1,27 \cdot 0,595 = 0,755 \text{ m}^2 \quad S_v = 1,27 \cdot 0,09 = 0,114 \text{ m}^2$$

$$S(60^{\circ}) = S_h \cdot \cos \alpha + S_v \cdot \sin \alpha = 0,755 \cdot \cos 60^{\circ} + 0,114 \cdot \sin 60^{\circ} = 0,477 \text{ m}^2$$

$$S(70^{\circ}) = 0,755 \cdot \cos 70^{\circ} + 0,114 \cdot \sin 70^{\circ} = 0,366 \text{ m}^2$$

$$L_{60^{\circ}} = \frac{\frac{\Phi_z}{1000} \cdot I_{\alpha \text{NORM}}}{S(60^{\circ})} = \frac{\frac{4 \cdot 2700}{1000} \cdot 86,5}{0,477} = 1,96 \text{ kcd}/\text{m}^2$$

$$L_{70^{\circ}} = \frac{\frac{4 \cdot 2700}{1000} \cdot 65,7}{0,366} = 1,94 \text{ kcd}/\text{m}^2$$



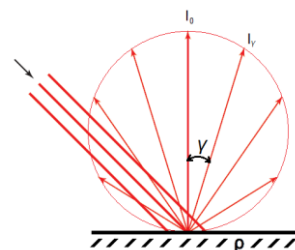
16) Jaká je osvětlenost plochy $S = 2 \text{ m}^2$, dopadá-li na ni pod úhlem 45° světelný tok 150 lm?

$$E = \Phi/S = 150/2 = 75 \text{ lx}$$

17) Lambertova (difuzní) plocha 1,8 x 0,5 m s odrazností $\rho = 0,8$ je osvětlována tokem $\Phi = 4200 \text{ lm}$. Jaká je její osvětlenost, světlení, jas a svítivost ve směru kolmém?

$$E = \Phi/S = 4200/(1,8 \cdot 0,5) = 4670 \text{ lx}$$

$$M = \rho \cdot E = 0,8 \cdot 4670 = 3730 \text{ lm}/\text{m}^2$$



$$L = M/\pi = 3730/\pi = 1190 \text{ cd/m}^2$$

$$I_0 = L \cdot S = 1190 \cdot 1,8 \cdot 0,5 = 1070 \text{ cd}$$

18) Opálovým (difuzním) sklem zasklený podhled stropu o rozměrech 3 x 4 m a propustnosti $\tau = 0,5$ je prosvětlován tokem 60 klm. Jak velký je jeho jas a svítivost ve směru kolmém a v úhlu 45° ?

$$L = \frac{M}{\pi} = \frac{\tau \cdot \Phi}{S} = \frac{0,5 \cdot 60 \cdot 10^3}{(3 \cdot 4)} = 796 \text{ cd/m}^2$$

$$I_0 = L \cdot S = 796 \cdot (3 \cdot 4) = 9550 \text{ cd}$$

$$I(45^\circ) = I_0 \cdot \cos \alpha = 9550 \cdot \cos 45^\circ = 6750 \text{ cd}$$

19) Určete jas fotbalového hřiště při letním denním osvětlení $E = 60 \text{ klx}$, je-li stanovená odraznost difuzní venkovní plochy $\rho = 0,14$.

$$L = \frac{M}{\pi} = \frac{\rho \cdot E}{\pi} = \frac{0,14 \cdot 60 \cdot 10^3}{\pi} = 2670 \text{ cd/m}^2$$

20) Vypočítejte osvětlenost od úplňku Měsíce, když jeho vzdálenost od Země je 356 000 km, poloměr Měsíce 1730 km a jas $L = 2500 \text{ cd/m}^2$.

$$I = L \cdot S = 2500 \cdot \pi \cdot (1,73 \cdot 10^6)^2 = 2,35 \cdot 10^{16} \text{ cd}$$

$$E = \frac{I}{l^2} = \frac{2,35 \cdot 10^{16}}{(3,56 \cdot 10^8)^2} = 0,185 \text{ lx}$$

Základní pojmy záření

1. Zářivý tok

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad (W; J, s) \quad Q - \text{množství zářivé energie}$$

2. Zářivost

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega} \quad (W/sr)$$

3. Zář

$$L_e = \frac{d^2\Phi_e}{d\Omega \cdot dS \cdot \cos\vartheta} \quad (W/sr/m^2)$$

4. Ozářenost

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dS} \quad (W/m^2)$$

5. Intenzita vyzařování

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dS} \quad (W/m^2)$$

6. Spektrální zářivý výkon

$$\Phi_{e,\lambda} = \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \quad \text{a} \quad \Phi_e = \int_{\lambda 0}^{\lambda \infty} \Phi_{e,\lambda} \cdot d\lambda$$

7. Planckův zákon – spektrální intenzita vyzařování absolutně černého tělesa

$$M_{e,\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1 \right)} \quad (W/m^3; m, K)$$

$$c_1 = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 = 3,742 \cdot 10^{-16} \quad (W \cdot m^2)$$

$$c_2 = h \cdot c / k = 1,439 \cdot 10^{-2} \quad (m \cdot K)$$

$c = 2,998 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1})$ – rychlost světla, $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ – Planckova konstanta, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – Boltzmannova konstanta

8. Wienův posuvný zákon

$$\lambda_m = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T} \quad (m; K)$$

9. Stefan-Boltzmannův zákon

$$M_e = \int_0^{\infty} M_{e,\lambda} \cdot d\lambda = \sigma \cdot T^4 \cong 5,67 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (\text{W/m}^2; \text{m, K})$$

$\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$ - Stefanova-Boltzmannova konstanta

10. Světelný tok – viditelné světlo

$$\Phi = \int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} \cdot k_{\lambda} \cdot d\lambda \quad (\text{lm}; \text{W/m, lm/W, m})$$

k_{λ} je spektrální světelná účinnost citlivost lidského oka:

$$k_{\lambda} = \frac{\Phi_{\lambda}}{\Phi_{e,\lambda}} = k_m \cdot V_{\lambda} \quad k_m = 683 \text{ lm / W pro } \lambda = 555 \text{ nm}$$

V_{λ} je poměrná světelná účinnost monochromatického záření na lidské oko.

$$\Phi = 683 \cdot \int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} \cdot V_{\lambda} \cdot d\lambda \quad (\text{lm}; \text{W/m, m})$$

Příklady

21) Určete rozsah frekvencí a kvant energií pro viditelné záření!

$$f = c/\lambda = 2,998 \cdot 10^8 / (380 \text{ resp. } 780) \cdot 10^9 = 384 \text{ až } 789 \text{ THz}$$

$$W = h \cdot f = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot (384 \text{ resp. } 789) \cdot 10^{12} = 2,54 \text{ až } 5,23 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

22) Kolik fotonů vyzáří monochromatický světelný zdroj o výkonu 1 W na frekvenci $5 \cdot 10^{14}$ Hz?

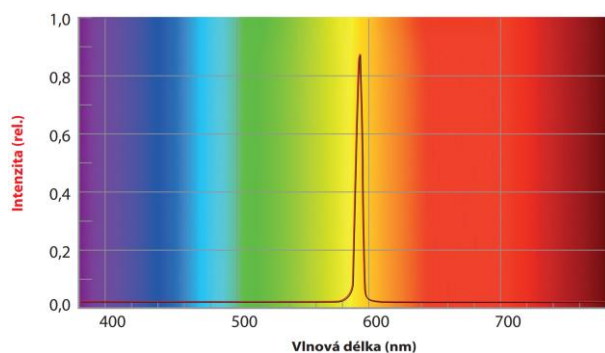
$$W = h \cdot f = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 5 \cdot 10^{14} = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad \text{je energie fotonu}$$

$$n = P/W = 1/3,31 \cdot 10^{19} = 3,02 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1} \quad \text{fotonů za sekundu}$$

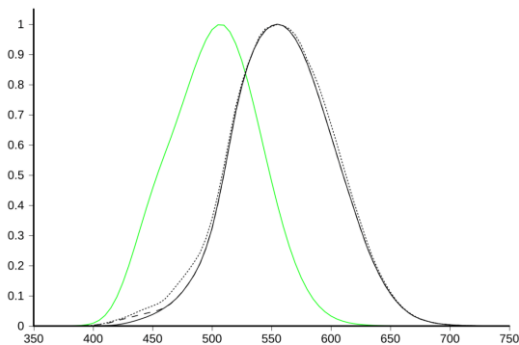
$$\text{Planckova konstanta: } h = 6,626 \cdot 10^{-34} \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

23) Jaký je světelný tok sodíkové výbojky, která v oblasti viditelného záření vyzařuje následující toky:

λ (nm)	467	475	498	515	568,5	589/589,6	616
$\Phi_{e\lambda}$ (W)	0,5	0,55	1,1	0,6	0,95	60,0	1,6
$V(\lambda)$ (-)	0,075	0,113	0,33	0,608	0,95	0,785	0,44



Spektrum sodíkové výbojky



Křivka citlivosti lidského oka (fotopická i skotopická)

$$\Phi = 683 \cdot \sum_1^7 \Phi_{e\lambda} \cdot V_{\lambda} = 683 \cdot (0,5 \cdot 0,075 + 0,55 \cdot 0,113 + 1,1 \cdot 0,33 + 0,6 \cdot 0,608 + 0,95 \cdot 0,95 + 60 \cdot 0,785 + 1,6 \cdot 0,44) =$$

$$= 33,6 \text{ klm}$$