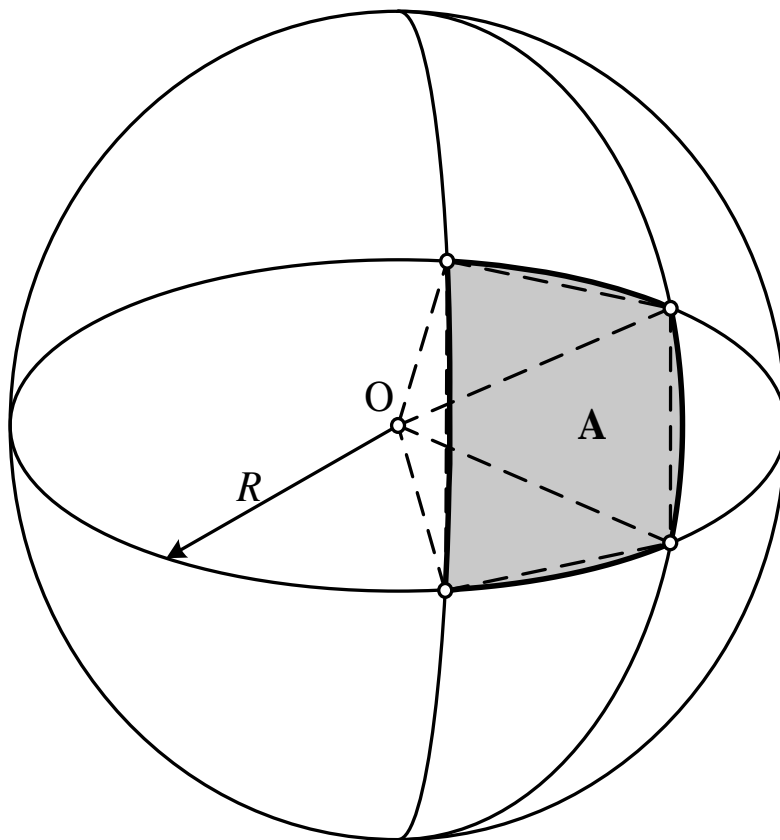


ГЛАВА 2

ОСНОВНИ СВЕЛТОТЕХНИЧКИ ГОЛЕМИНИ И ПОИМИ

- **Количество светлина Q [lm·s]**
 - енергија што светлинскиот извор ја емитира во вид на светлина
- **Светлински флуks $\Phi=Q/t$ [lm]**
 - количество светлина што изворот ја емитира во единица време
 - со светлинскиот флуks се дава информација само за моќноста на видливото зрачење на изворот, но не и за просторната распределба на тоа зрачење
- **Точкаст (пунктуален) светлински извор**
 - светлински извор чишто димензии се значително помали (приближно пет пати) од растојанието до површината што ја осветлува, односно од точката од која што се набљудува изворот

ДЕФИНИЦИЈА НА ПРОСТОРЕН АГОЛ



$$\Omega = \frac{A}{R^2}$$

Светлинска јачина I [cd]

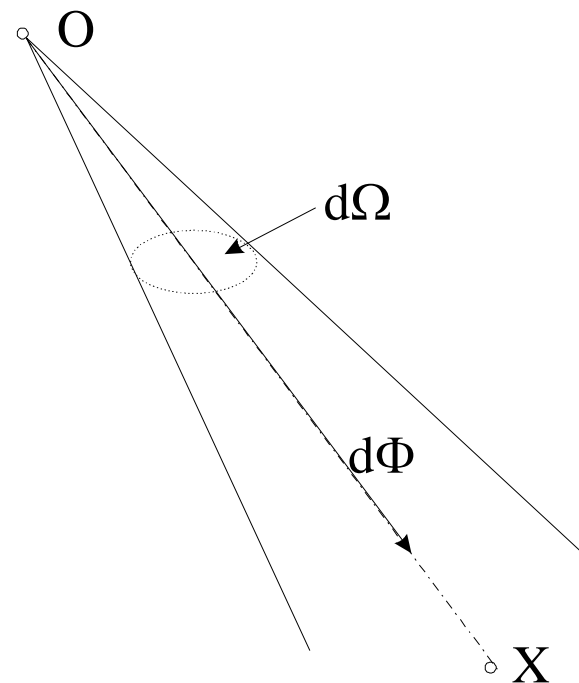
- светлинската јачина на еден точкаст извор во определен правец се дефинира како количник помеѓу флуксот и елементарниот просторен агол во којшто се израчува тој флукс

$$I_{O-X} = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

- ако изворот зрачи светлина со иста јачина во сите правци за него велиме дека е **униформен**

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} = \frac{\Phi_{\text{извор}}}{4 \cdot \pi}$$

- ако изворот не е униформен може да се дефинира средна светлинска јачина во определен просторен агол Ω

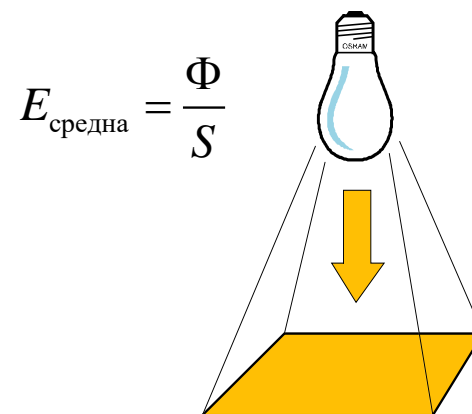
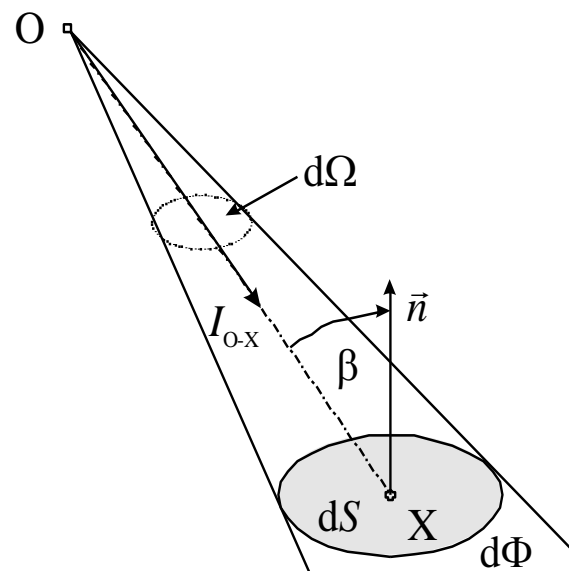


Осветленост E [$lx = lm/m^2$]

- осветленоста во една точка претставува густина на светлинскиот флуks $d\Phi$ на елементарната осветлуваната површина dS

$$E_X = \frac{d\Phi}{dS}$$

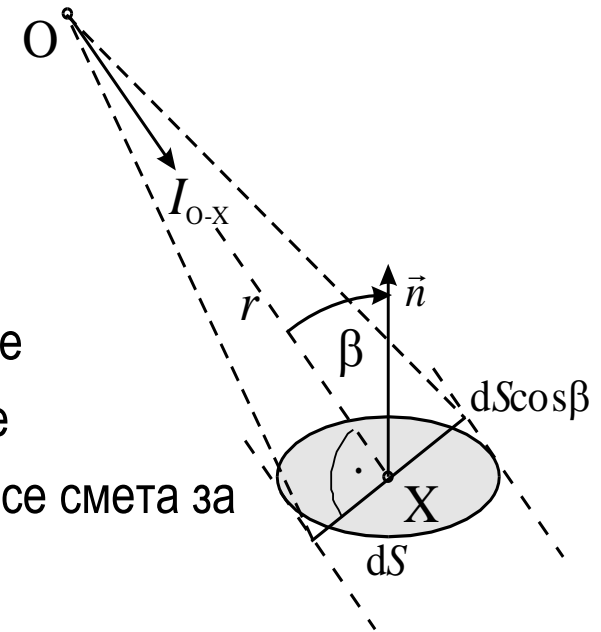
- ако површината врз којашто паѓа флуksот Φ не е елементарна, осветленоста во точките на површината не мора да биде еднаква; во тој случај дефинираме средна осветленост
- осветленоста секогаш се дефинира во однос на осветлуваната рамнина или во однос на некои референтни рамнини (хоризонтална или вертикална)



Осветленост во точка од точкаст извор

$$d\Phi = I_{O-X} \cdot d\Omega \quad d\Omega = \frac{dS \cdot \cos \beta}{\overline{OX}^2} \quad E_X = \frac{I_{O-X} \cdot \cos \beta}{\overline{OX}^2}$$

Ако точката не припаѓа на физичка рамнина треба да се постави фиктивна рамнина во точката X (најчесто тоа е хоризонтална или вертикална рамнина) и таа рамнина се смета за материјална рамнина



Осветленост во точка од повеќе точкасти извори O_i

при тоа се земаат предвид само изворите што се од едната страна на рамнината ($0 \leq \beta \leq \pi/2$)

$$E_X = \sum_{i=1}^n \frac{I_{O_i-X} \cdot \cos \beta_i}{\overline{O_i X}^2}$$

Осветленост во точка од извор што не е точкаст

$$dE_X = \frac{dI \cdot \cos \beta}{r^2}$$

$$E_X = \int_S \frac{\cos \beta}{r^2} dI$$

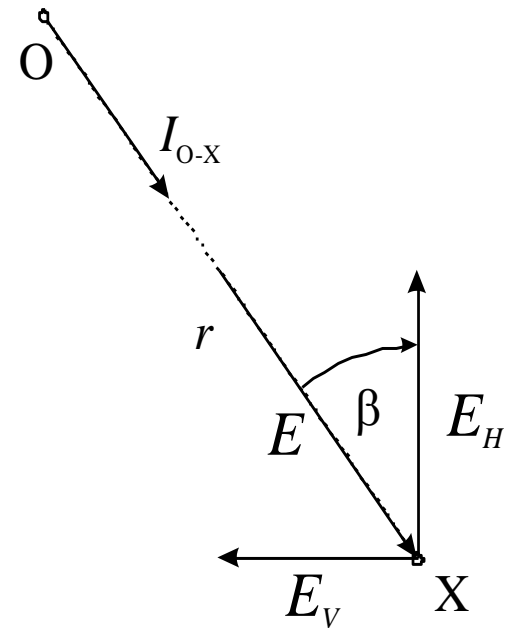
Вектор на осветленост E [lx]

$$E = \frac{I_{O-X}}{\overline{OX}^2} = \frac{I_{O-X}}{r^2}$$

$$E_{\text{хор.}} = E \cdot \cos \beta = \frac{I_{O-X} \cdot \cos \beta}{r^2}$$

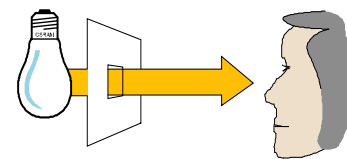
$$E_{\text{верт.}} = E \cdot \cos(90^\circ - \beta) = \frac{I_{O-X} \cdot \sin \beta}{r^2}$$

$$0 \leq \beta \leq \pi/2$$

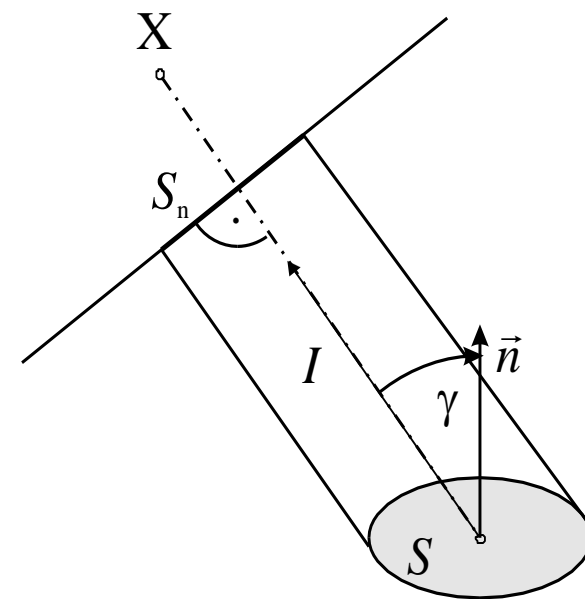
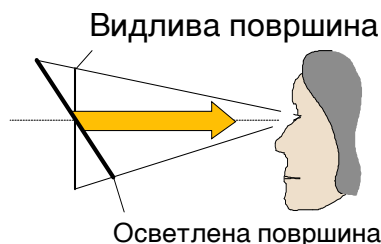


Сјајност L [cd/m^2]

- сјајноста на една површина се дефинира како светлинска јачина на единица проектирана површина на светлечкото тело
- сјајноста се пресметува како количник помеѓу светлинската јачина во набљудуваниот правец и плоштината на проекцијата на светлечкото тело врз рамнина нормална на правецот на набљудување



$$L = \frac{I}{S_n} = \frac{I}{S \cdot \cos \gamma}$$

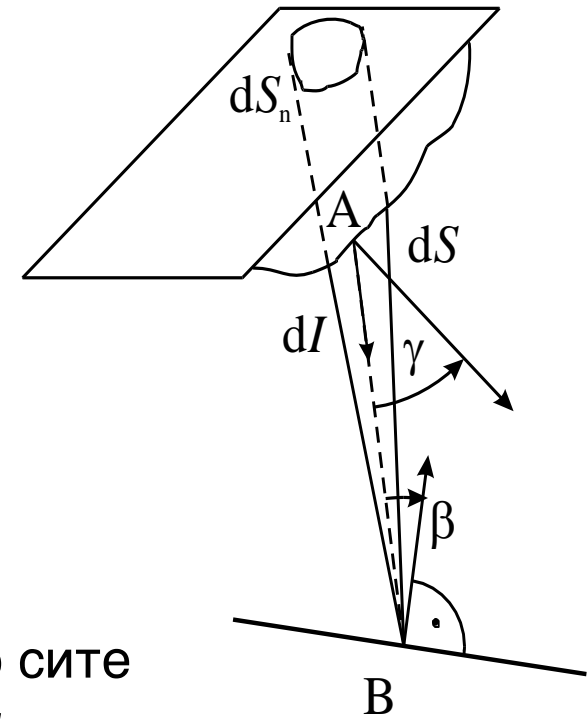


- сјајноста е едиствена светлотехничка големина којашто човечкото око ја чувствува непосредно

$$L = \frac{dI}{dS} = \frac{dI}{dS_n \cdot \cos \gamma} \quad L \cdot dS_n \cdot \cos \gamma = dI$$

$$dE_X = \frac{dI \cdot \cos \beta}{r^2} \quad dE_B = \frac{L \cdot dS_n \cdot \cos \beta}{AB^2} \quad d\Omega = \frac{dS_n}{AB^2}$$

$$dE_B = L \cdot d\Omega \cdot \cos \beta \quad E_B = \int_S L \cdot \cos \beta \cdot d\Omega$$



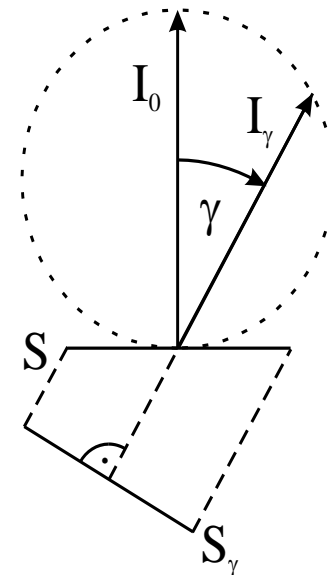
– Светлинските извори со еднаква сјајност во сите правци се нарекуваат **униформно дифузни**

$$E_B = L \int_S \cos \beta \cdot d\Omega$$

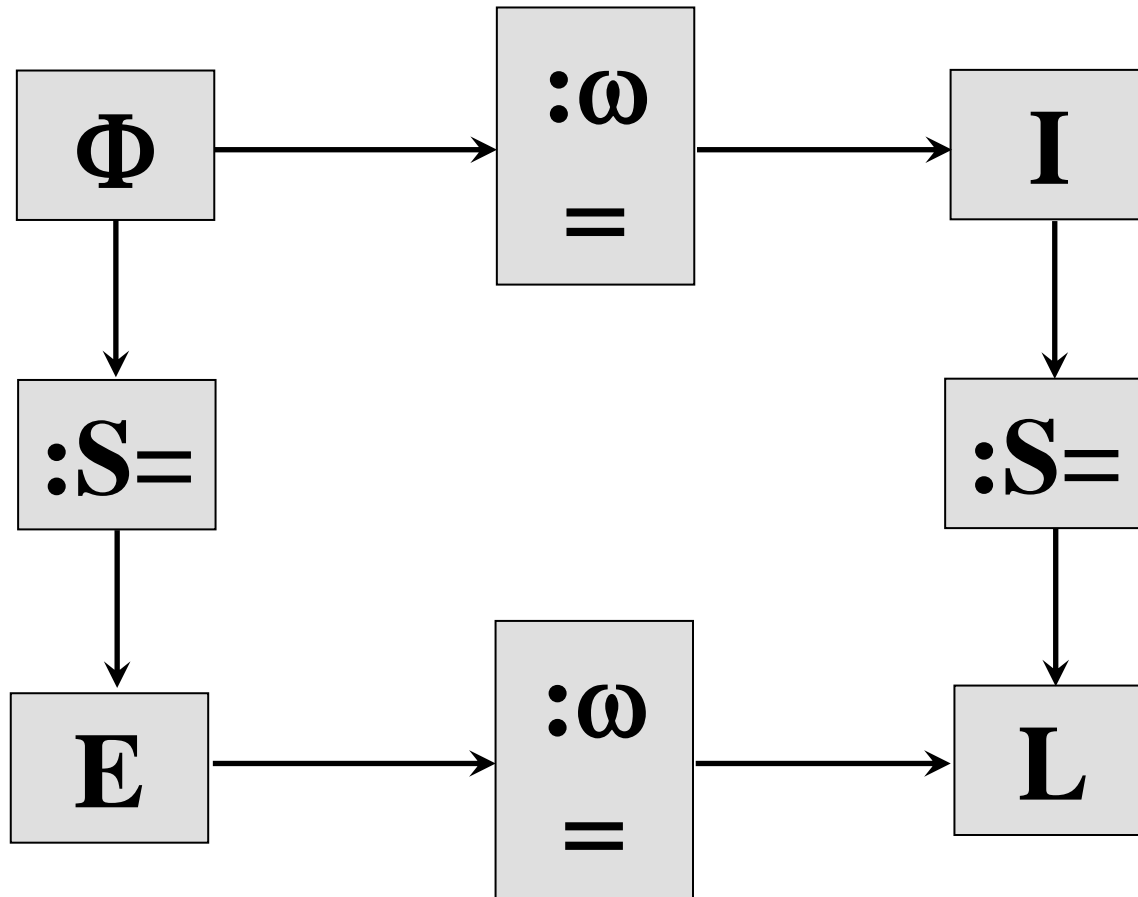
Ламбертов закон

$$L = \frac{I_0}{S} = \frac{I_\gamma}{S \cdot \cos \gamma}$$

$$I_\gamma = I_0 \cdot \cos \gamma = L \cdot S \cdot \cos \gamma$$



ВРСКИ ПОМЕЃУ ОСНОВНИТЕ СВЕТЛОТЕХНИЧКИ ГОЛЕМИНИ

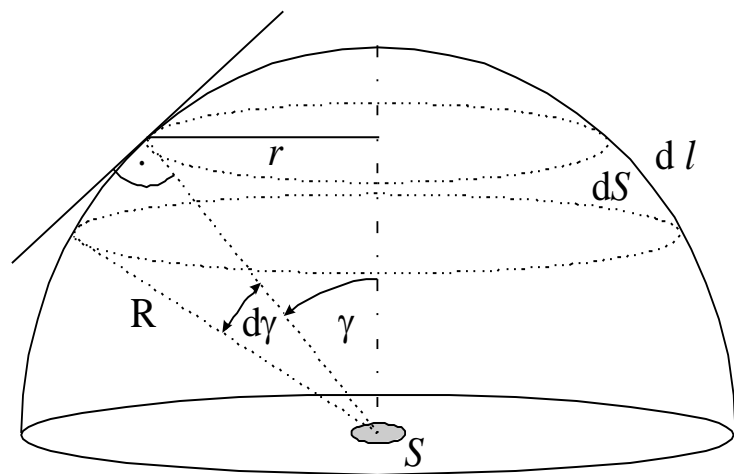


Светлинска емисија M [lm/m^2]

- светлинскиот флуks $d\Phi$ емитован од површина со единечна плоштина dS

$$M = \frac{d\Phi}{dS}$$

- за разлика од осветленоста, светлинската емисија се однесува на флуksот што го зрачи површината.

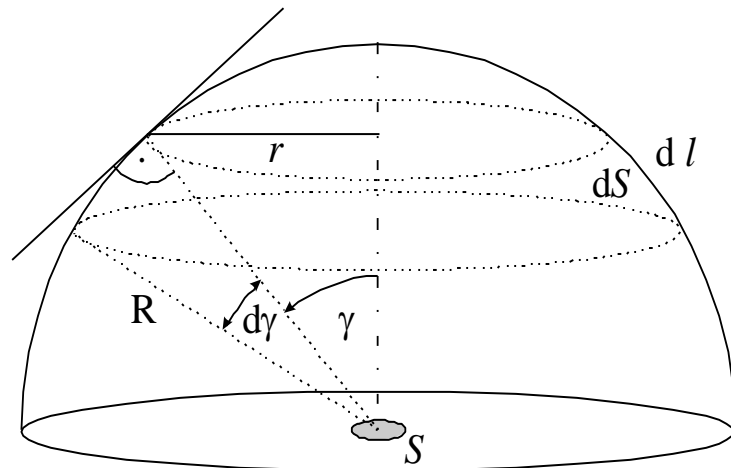


Светлинска емисија од униформно дифузен извор

$$M = \frac{d\Phi}{dS}$$

$$E = \frac{I}{R^2} = \frac{L \cdot S \cdot \cos \gamma}{R^2} = \frac{d\Phi}{dS}$$

$$dS = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dl = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sin \gamma \cdot dl = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sin \gamma \cdot R \cdot d\gamma$$



$$d\Phi = E \cdot dS = \frac{L \cdot S \cdot \cos \gamma}{R^2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot S \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma \cdot d\gamma$$

$$\Phi = \pi \cdot L \cdot S \int_0^{\pi/2} 2 \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma \cdot d\gamma = \pi \cdot L \cdot S \cdot \left(\frac{-\cos 2\gamma}{2} \right) \Big|_0^{\pi/2} = \pi \cdot L \cdot S = \pi \cdot I_0$$

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

Средна сферна осветленост

- средната сферна осветленост (скалар на осветленоста) е мерка тоа колку светлина е расположива во една точка од просторот
- средна сферна осветленост од точкаст извор

$$E_{\text{сфера}} = \frac{\Phi_{\text{сфера}}}{S_{\text{сфера}}} = \frac{\Phi_{\text{круг}}}{S_{\text{сфера}}} \quad \Phi_{\text{круг}} = E_{\text{круг}} \cdot S_{\text{круг}} = \frac{I}{r^2} \cdot \pi \cdot a^2$$

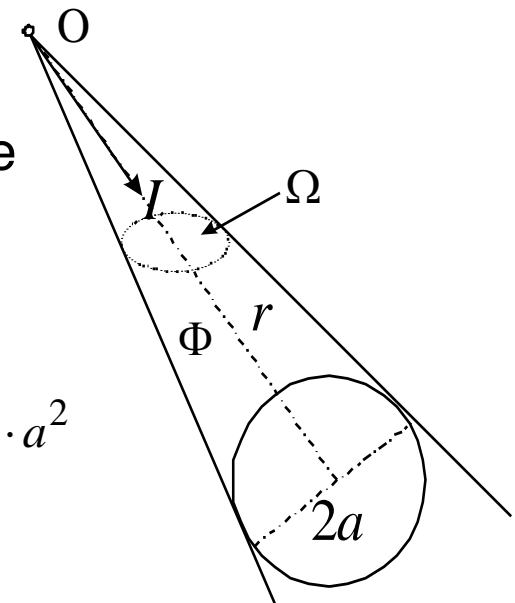
$$E_{\text{сфера}} = \frac{\frac{I}{r^2} \cdot \pi \cdot a^2}{4 \cdot \pi \cdot a^2} = \frac{I}{4 \cdot r^2}$$

- средна сферна осветленост од извор којшто не е точкаст

$$dE_{\text{сфера}} = \frac{L \cdot dS_n}{4 \cdot r^2} \quad d\Omega = \frac{dS_n}{r^2} \quad dE_{\text{сфера}} = \frac{L \cdot d\Omega}{4} \quad E_{\text{сфера}} = \frac{1}{4} \int_S L \cdot d\Omega$$

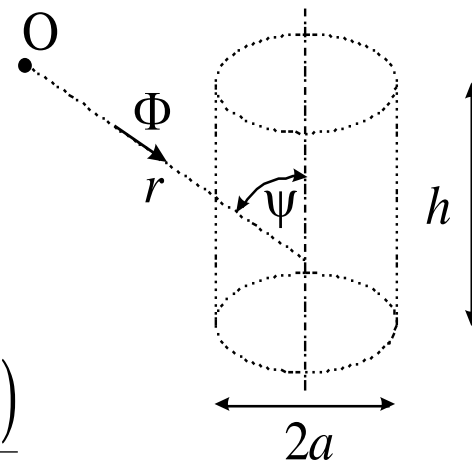
- ако изворот е униформно дифузен ($L = \text{const.}$)

$$E_{\text{сфера}} = \frac{1}{4} L \cdot \Omega$$



Средна цилиндрична осветленост

- средната цилиндрична осветленост е количник помеѓу флуксот што паѓа на обвивката на мал вертикален цилиндер и плоштината на таа обвивка
- средна цилиндрична осветленост од точкаст извор



$$E_{\text{цил.}} = \frac{\Phi}{S_{\text{обвивка}}} = \frac{S_{\text{правоаголник}} \cdot E}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot h}$$

$$E = \frac{I \cdot \cos(90^\circ - \psi)}{r^2}$$

$$E_{\text{цил.}} = \frac{2 \cdot a \cdot h \cdot I \cdot \sin \psi}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot r^2} = \frac{I}{\pi \cdot r^2} \cdot \sin \psi$$

- средна цилиндрична осветленост од извор којшто не е точкаст

$$dE_{\text{цил.}} = \frac{dI}{\pi \cdot r^2} \cdot \sin \psi = \frac{L \cdot dS_n}{\pi \cdot r^2} \cdot \sin \psi \quad d\Omega = \frac{dS_n}{r^2} \quad dE_{\text{цил.}} = \frac{L \cdot d\Omega}{\pi} \cdot \sin \psi$$

$$E_{\text{цил.}} = \frac{1}{\pi} \int_S L \cdot \sin \psi \cdot d\Omega$$

- ако изворот е униформно дифузен ($L = \text{const.}$)
$$E_{\text{цил.}} = \frac{L}{\pi} \cdot \int_S \sin \psi \cdot d\Omega$$

- **Експозиција H [lx·s]**

- количество светлина што паѓа врз една површина

$$H = \frac{dQ}{dS}$$

$$H = E \cdot t \quad (\text{ако } E = \text{const})$$

- **Специфично производство ξ [lm/W]**

- произведен светлински флуks по единица ангажирана активна моќност на светлинскиот извор

$$\xi = \frac{\Phi}{P}$$

- **Коефициент на искористување на светилка**

$$\eta_{\text{светилка}} = \frac{\Phi_{\text{светила}}}{\Phi_{\text{сијалица}}} < 1$$

- однос помеѓу флуksот што го зрачи една светилка и вкупниот флуks на сите сијалици инсталирани во светилката (**инсталиран флуks во светилката**)

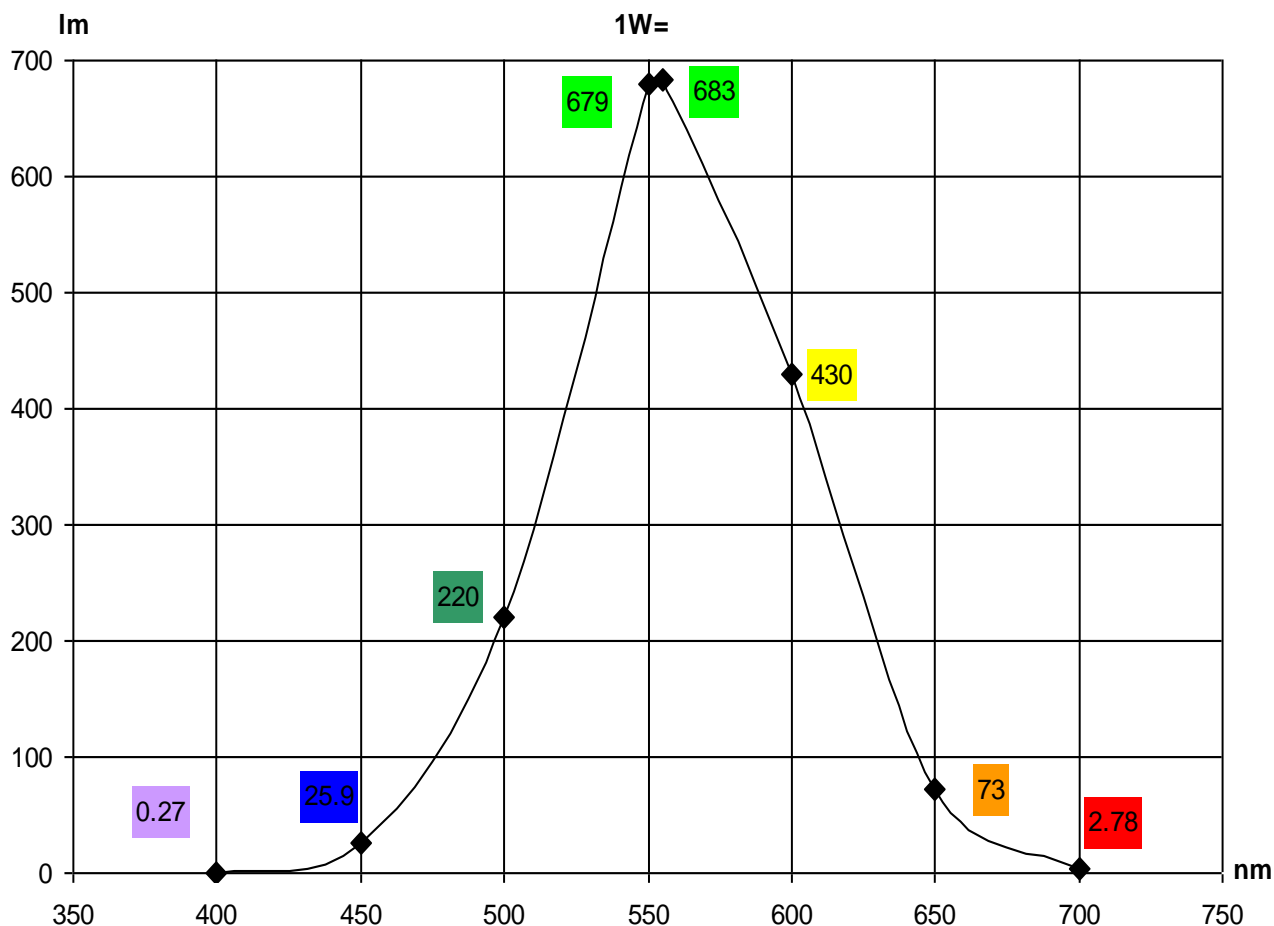
- **Коефициент на искористување на осветлението**

$$\eta = \frac{\Phi'}{\Phi} = \frac{\Phi'}{n_{\text{сијалици}} \cdot \Phi_{\text{сијалица}}} < 1$$

- однос помеѓу флуksот што паѓа врз осветлуваната површина и вкупниот инсталиран флуks на **сијалиците** што ја осветлуваат таа површина

Радиометриски и фотометриски мерки

- Моќност (светлински флукс) $1 \text{ W} = 683 \text{ lm @ } 555 \text{ nm}$
- Интензитет (светлинска јачина) $1 \text{ W/sr} = 683 \text{ cd @ } 555 \text{ nm}$
 - $1 \text{ cd} = 1/683 \text{ W/sr @ } 540 \cdot 10^{12} \text{ Hz } (\sim 555 \text{ nm})$
- Irradiance (осветленост) $1 \text{ W/m}^2 = 683 \text{ lx @ } 555 \text{ nm}$
- Radiance (сјајност) $\text{W/m}^2/\text{sr} = 683 \text{ cd/m}^2 @ 555 \text{ nm}$



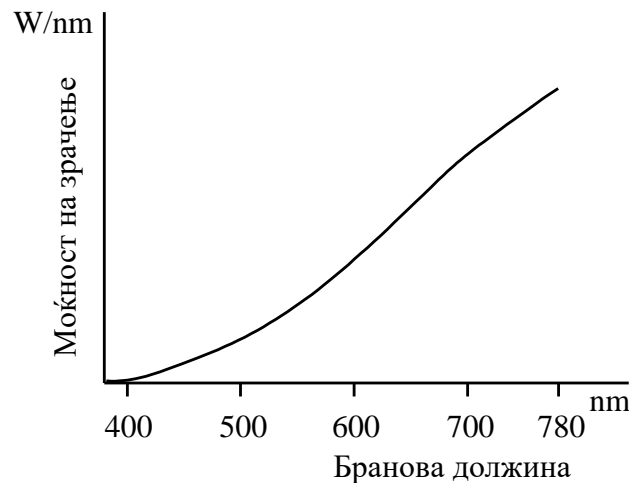
Основни светлотехнички големини

- За реалните извори на светлина вкупната моќност на зрачењето (или флуксот на зрачењето) во определен интервал на бранови должини се определува со

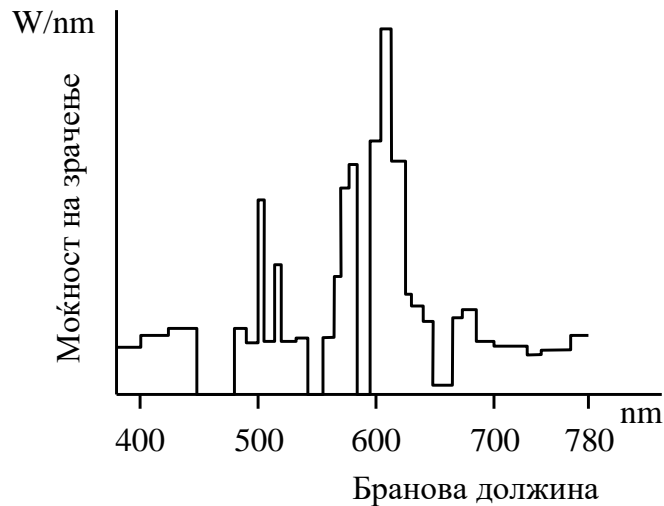
$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P'(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$\Phi_e = \sum_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda_2} P'(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

- каде што $P'(\lambda)$ е спектрална дистрибуција на моќноста на зрачењето по единица бранова должина (W/nm)



континуиран спектар



линиски спектар

Основни светлотехнички големини

- Ако при пресметките се земат предвид само брановите должини во интервалот од 380 до 780 nm, со формулата ќе се пресмета флуксот на зрачење на изворот во видливиот дел од спектарот на оптичко зрачење.
- Меѓутоа, моќноста на зрачењето не кажува ништо за тоа како таа моќност ќе биде регистрирана од страна на системот за вид кај човекот. Поради тоа е воведен терминот светлински флукс.

Основни светлотехнички големини

- Светлинскиот флуks Φ на еден извор може да се пресмета ако е позната спектралната дистрибуција на моќноста на зрачењето $P'(\lambda)$ и функцијата на релативната спектрална осетливост на човечкото око $V(\lambda)$

$$\Phi = 683 \cdot \sum_{\lambda=380}^{780} V'(\lambda) \cdot P'(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

Светлинска ефикасност и ефикасност на зрачењето

- Светлинската ефикасност на зрачењето (*luminous efficacy of radiation*) претставува однос помеѓу светлинскиот флукс и вкупната моќност на зрачењето (од сите бранови должини)

– единица мерка lm/W

$$K = \frac{\Phi}{\Phi_e} = \frac{\int_0^{780} P'(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} P'(\lambda) \cdot d\lambda}$$

- Ефикасноста на зрачењето (*radiant efficiency*) покажува колкав дел од ангажираната моќност P на изворот (т.е. електрична моќност кај електричните сијалици) ќе биде претворена во моќност на зрачење

$$K_e = \frac{\Phi_e}{P} = \frac{\int_0^{\infty} P'(\lambda) \cdot d\lambda}{P} = \frac{\Phi_e}{\Phi_e + \Delta P}$$

Специфично производство

- Специфичното производство на еден светлински извор (сијалица) претставува однос помеѓу светлинскиот флуks на изворот (сијалицата) и ангажираната (електрична) моќност
 - единица мерка lm/W

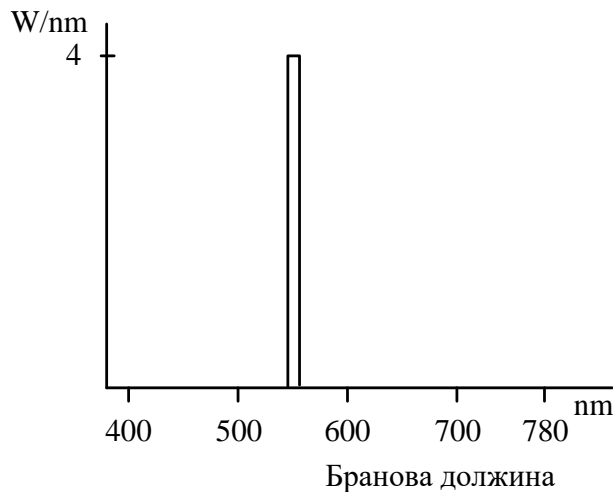
$$\xi = K \cdot K_e = \frac{\Phi}{\Phi_e} \cdot \frac{\Phi_e}{P} = \frac{\Phi}{P} = \frac{\int_{380}^{780} P'(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{P}$$

Пример

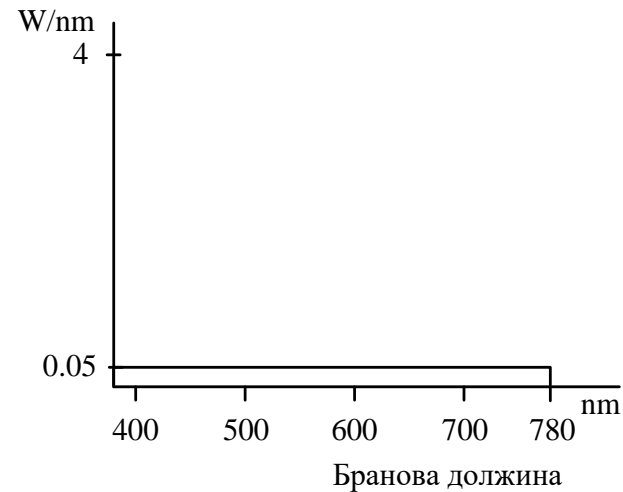
- Да се пресметаат светлинската ефикасност на зрачењето, ефикасноста на зрачењето и специфичното производство на две сијалици со номинална (електрична) моќност од 80 W со различни спектрални моќности на зрачењето.
 - Сијалицата А зрачи светлина во многу тесен опсег од $555\pm 2,5\text{ nm}$, при што вкупната моќност на зрачење на изворот во овој интервал изнесува 20 W .
 - Сијалица В, исто така, има моќност на зрачење од 20 W , но оваа моќност е рамномерно распределена во интервалот на бранови должини од 380 до 780 nm .

Пример

- Сијалицата А во интервалот од $555 \pm 2,5$ nm има спектралната моќност на зрачењето $P'(\lambda) = 20/5 = 4$ W/nm, додека за останатите бранови должини таа е еднаква на нула.
- За сијалица В функцијата $P'(\lambda)$ е константна во целиот разгледуван интервал на бранови должини и нејзината вредност изнесува $20/400 = 0,05$ W/nm.

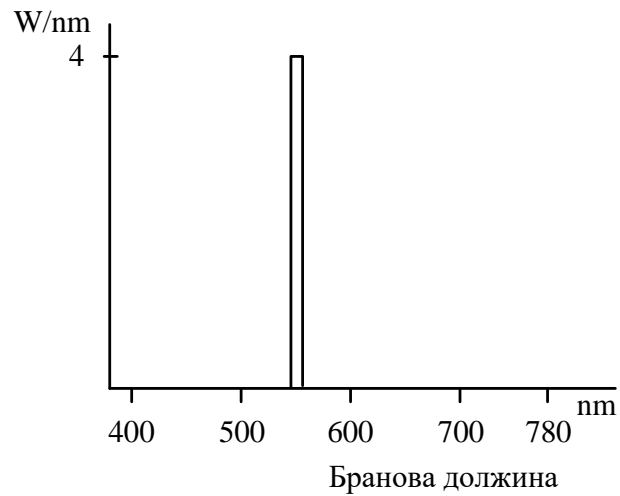


сијалица А

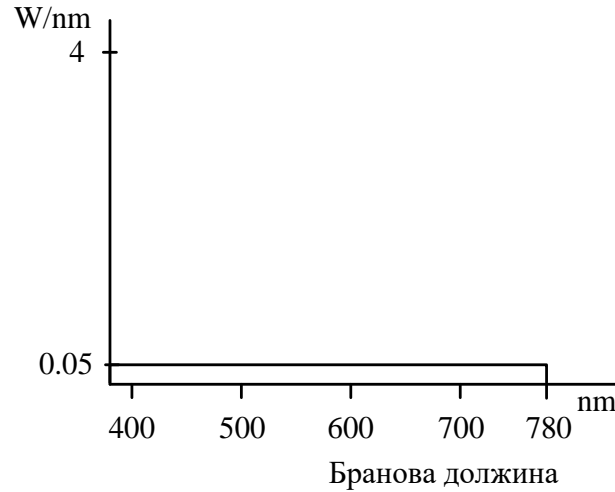


сијалица В

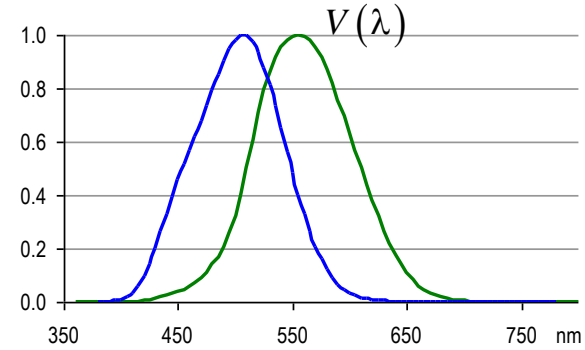
Пример



сијалица А



сијалица В



$$\Phi_A = 683 \cdot \sum_{\lambda=555}^{555} V(\lambda) \cdot P'(\lambda) \cdot \Delta\lambda = 683 \cdot V(555) \cdot P'(555) \cdot \Delta\lambda = 683 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 5 = 13\,660 \text{ lm}$$

$$\int_{380}^{780} V(\lambda) \cdot d\lambda \approx \sum_{\lambda=380}^{780} V(\lambda) = 21,3724$$

$$\Phi_B = 683 \cdot \sum_{\lambda=380}^{780} V(\lambda) \cdot P'(\lambda) \cdot \Delta\lambda = 683 \cdot 0,05 \cdot 5 \cdot \sum_{\lambda=380}^{780} V(\lambda) = 170,75 \cdot 21,3724 = 3\,649,3 \text{ lm}$$

Пример

$$\Phi_A = 683 \cdot \sum_{\lambda=555}^{555} V(\lambda) \cdot P'(\lambda) \cdot \Delta\lambda = 683 \cdot V(555) \cdot P'(555) \cdot \Delta\lambda = 683 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 5 = 13\,660 \text{ lm}$$

$$\Phi_B = 683 \cdot \sum_{\lambda=380}^{780} V(\lambda) \cdot P'(\lambda) \cdot \Delta\lambda = 683 \cdot 0,05 \cdot 5 \cdot \sum_{\lambda=380}^{780} V(\lambda) = 170,75 \cdot 21,3724 = 3\,649,3 \text{ lm}$$

$$K_A = \frac{\Phi_A}{\Phi_{eA}} = \frac{13\,660}{20} = 683 \text{ lm/W}$$

$$K_B = \frac{\Phi_B}{\Phi_{eB}} = \frac{3\,649,3}{20} = 182,5 \text{ lm/W}$$

$$K_{eA} = \frac{\Phi_{eA}}{P_A} = \frac{20}{80} = 0,25$$

$$K_{eB} = \frac{\Phi_{eB}}{P_B} = \frac{20}{80} = 0,25$$

$$\xi_A = \frac{\Phi_A}{P_A} = \frac{13\,660}{80} = 170,8 \approx 171 \text{ lm/W}$$

$$\xi_B = \frac{\Phi_B}{P_B} = \frac{3\,649,3}{80} = 45,6 \approx 46 \text{ lm/W}$$