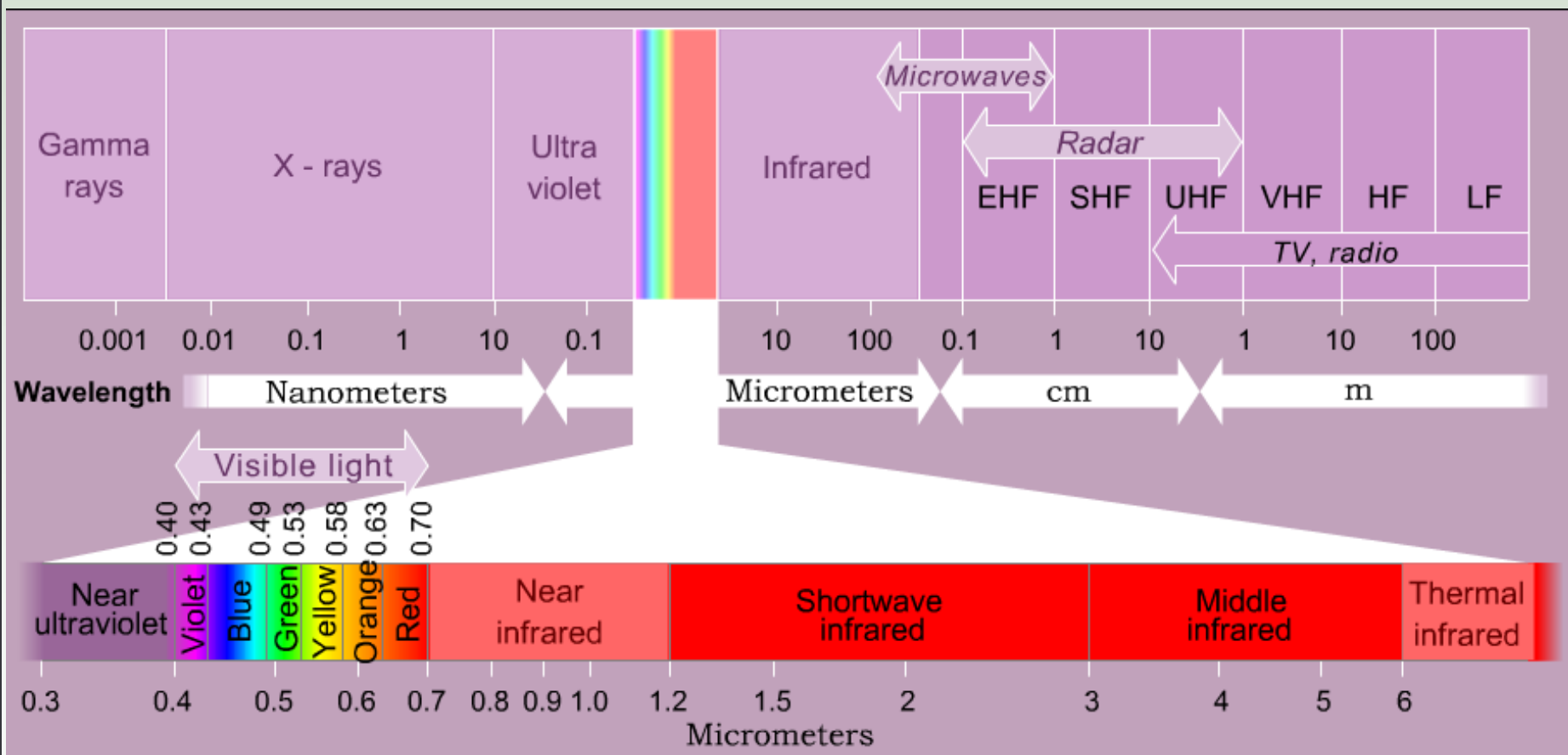
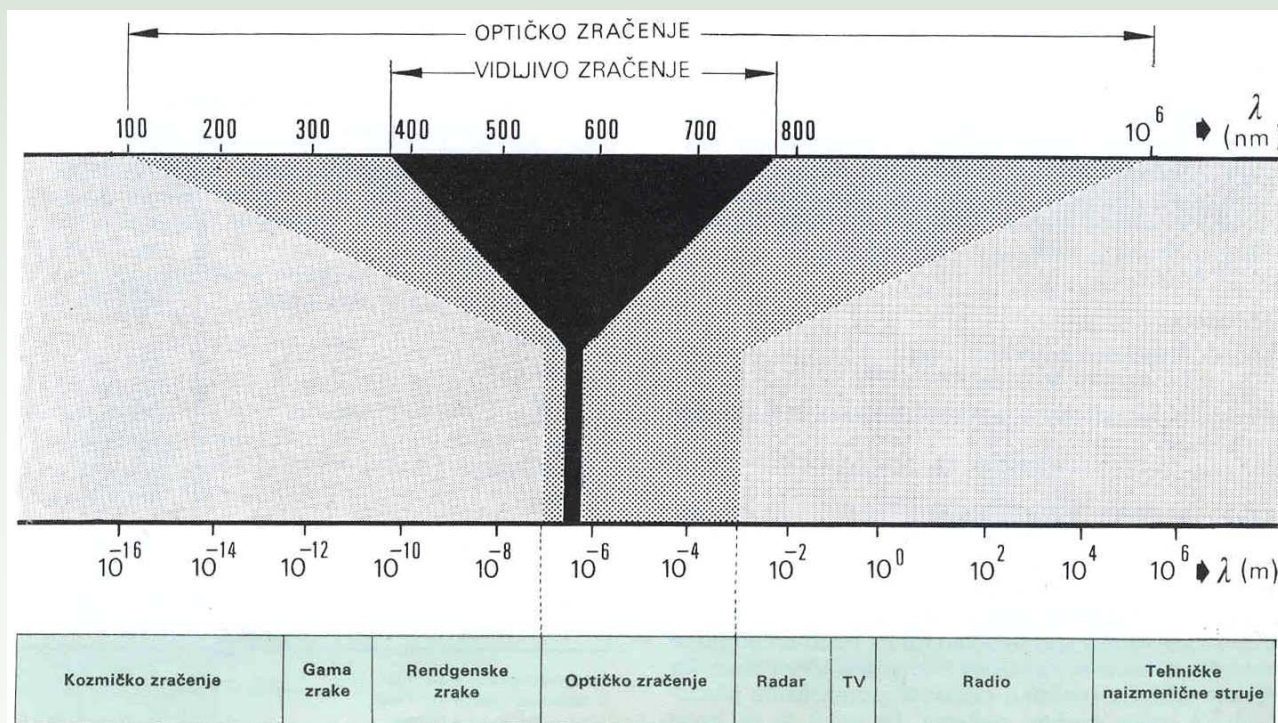


OPTIČKO ZRAČENJE

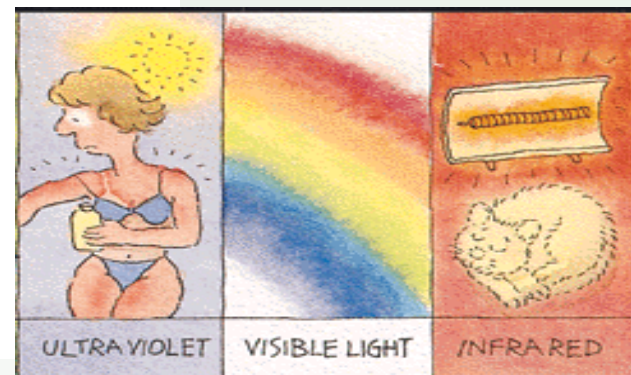
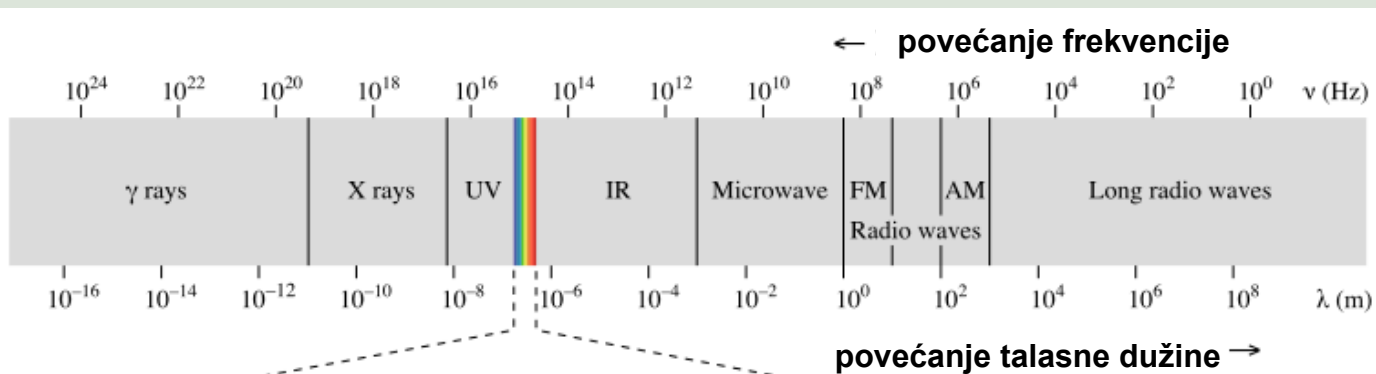


- ▶ Optička zračenja pokrivaju ono područje elektromagnetnog spektra koje se koristi u tehnici osvetljavanja i termotehnici.
- ▶ Unutar EM spektra samo relativno usko područje talasnih dužina (10^2 do 10^6 nm) zauzima optičko zračenje.

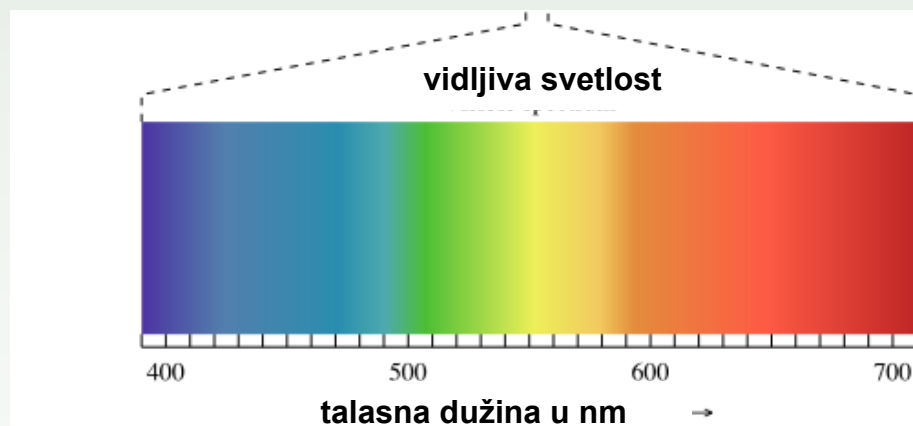


► Spektar optičkog zračenja je podeljen na tri područja:

- ⊕ Infracrveno (toplotno) zračenje
- ⊕ Vidljivo zračenje (svetlost)
- ⊕ Ultravioletno zračenje

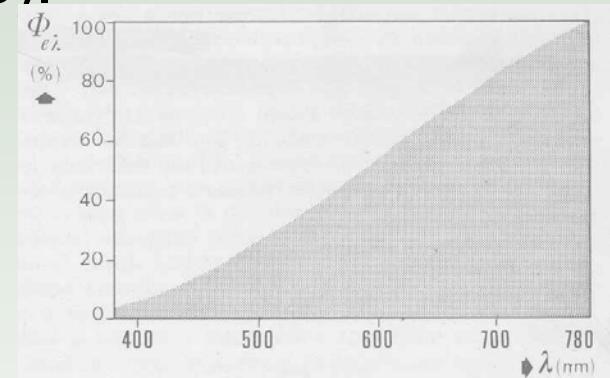


- ▶ Čovečije oko opaža samo vidljivo zračenje kao svetlost i može da ga razlikuje prema boji i sjajnosti.
- ▶ Područje vidljive svetlosti zauzima spektar od 380 do 750nm.
- ▶ Kraćim talasnim dužinama odgovara violetni spektar dok dužim talasnim dužinama odgovara crveni spektar.

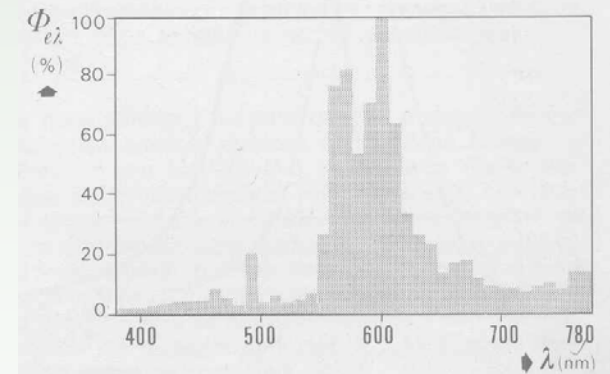


V B G Y O R	
Color	Wavelength
violet	380–450 nm
blue	450–495 nm
green	495–570 nm
yellow	570–590 nm
orange	590–620 nm
red	620–750 nm

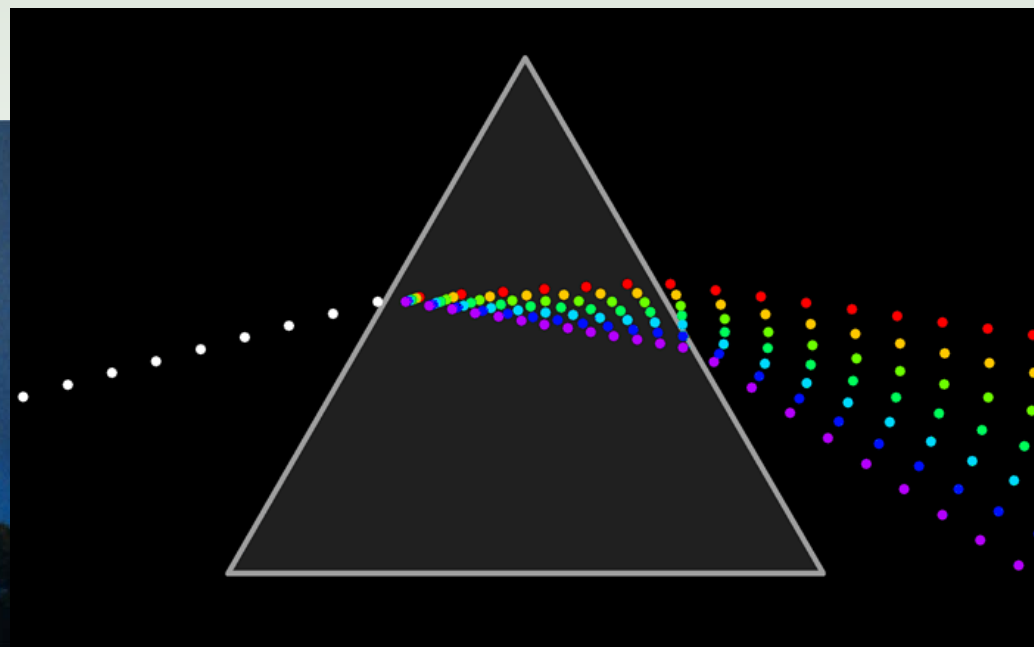
- ▶ Vidljivo zračenje je složeno – polhromatsko zračenje
- ▶ Pri tome neko zračenje može biti sastavljeno samo od jedne talasne dužine (monohromatsko zračenje) ili od većeg broja talasnih dužina (polihromatsko zračenje).
- ▶ Složena zračenja mogu da imaju kontinualni i linijski spektar.
- ▶ Kontinualni spektar ima blage prelaze između pojedinih spektralnih komponenti, dok linijski spektar sadrži veći broj spektralnih linija koje potiču od različitih monohromatskih zračenja.



Sl. A-3



- ▶ Vidljivo zračenje koje sadrži sve talasne dužine vidljivog spektra, ljudsko oko opaža kao svetlost bele boje.
- ▶ Prolaskom bele svetlosti kroz prizmu, kratki talasi zračenja (violetni spektar) prelamaju se više nego dugi talasi (crveni spektar).
- ▶ Bela svetlost se razlaže na boje iz vidljivog spektra (dugine boje).



- ▶ Svetlost se može opisati na dva načina:
 - ⊕ pomoću fizičkih (objektivnih) veličina i
 - ⊕ pomoću fotometrijskih (subjektivnih) veličina
- ▶ Radiometrija je oblast fizike koja proučava merenje elektromagnetnog zračenja, uključujući i vidljivu svetlost.
- ▶ Za opisivanje elektromagnetnog zračenja koristi fizičke energetske veličine.
- ▶ Vidljivo zračenje – svetlost u fizičkom smislu se definiše kao emitovanje i prenos energije u obliku talasa i čestica tako da se može vrednovati i energetskim – fizičkim veličinama.
- ▶ Osnovne fizičke veličine koje se koriste za opisivanje svetlosti su: **energija zračenja, fluks ili izračena snaga, intenzitet zračenja, zračenje i ozračenje.**

- ▶ Svaki fizički izvor u prostoru oko sebe emituje energiju, tako da i svetlosni izvor emituje svetlosnu energiju. Ukupna **energija zračenja** jednaka je zbiru energije kvantova – fotona:



$$Q_e = \sum_{i=1}^n h \nu_i [\text{J}]$$

- ✓ h – Plankova konstanta
- ✓ ν – frekvencija fotona

- ▶ Izračena energija u jedinici vremena predstavlja izračenu snagu koja se još naziva **fluks zračenja**:

$$\Phi_e = \frac{Q_e}{t} [\text{W}]$$

- ▶ Izračena snaga predstavlja ili snagu koju emituje izvor ili snagu koja dospe na neku površinu.

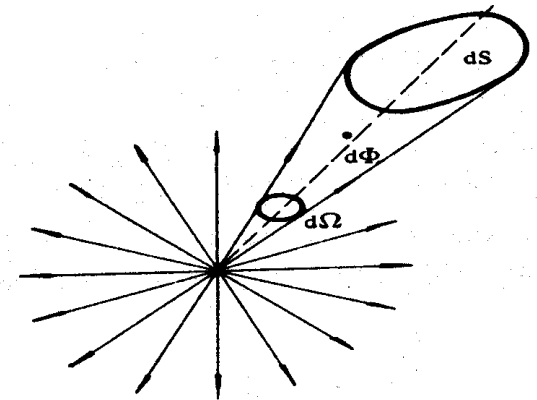
- ▶ Svetlosni izvor u jedinici vremena izrači energiju koja je jednaka ukupnom fluksu (snazi) zračenja.

$$\Phi_e = \frac{Q_e}{t} [\text{W}]$$

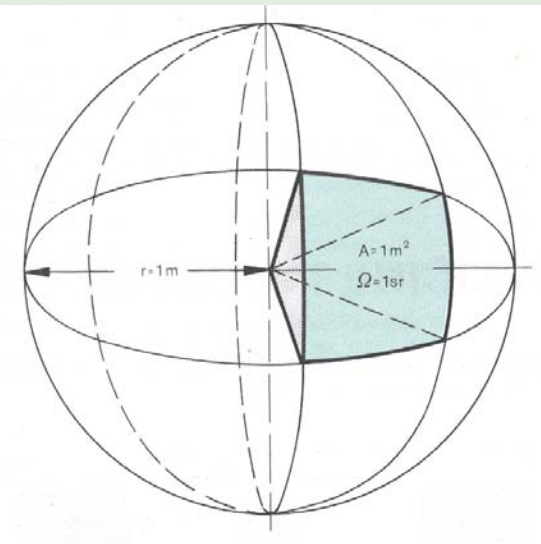
- ▶ Za definisanje fluksa zračenja koga zahvata prostorni ugao $d\Omega$ potrebno je poznavanje **intenziteta zračenja** (u tom smeru) koji predstavlja fluks (ili izračenu snagu) po jedinici prostornog ugla.

- ▶ Ω - je prostorni ugao koji predstavlja meru veličine prostora oblika kupe ili piramide, koji ograničavaju svetlosni zraci iz izvora svetlosti na određenu površinu A.

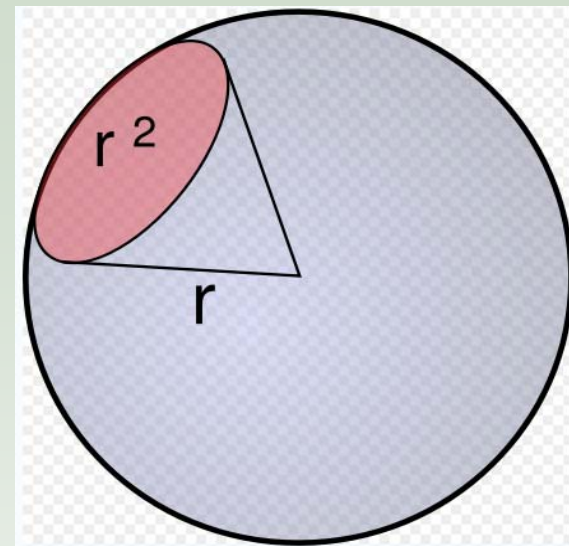
$$\Omega = \frac{A}{r^2} [\text{sr}]$$



$$I_e = \frac{\Phi_e}{\Omega} [\text{Wsr}^{-1}]$$



- ▶ Jedinica za prostorni ugao je steradian.
- ▶ 1 steradian (sr) je prostorni ugao kupe s vrhom u središtu lopte, koja na omotaču obuhvata površinu jednaku kvadratu njenog poluprečnika.
- ▶ Puni prostorni ugao obuhvata celokupan prostor oko svetlosnog izvora a time i celokupnu površinu omotača lopte oko izvora.



$$\Omega_p = \frac{A}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi [\text{sr}]$$

- ▶ **Zračenje** opisuje količinu svetlosti koja se emituje sa neke površine ili prolazi kroz neku površinu u određenom pravcu i prostornom uglu.

$$L_e = \frac{\Phi_e}{\Omega A} [\text{W sr}^{-1} \text{m}^{-2}]$$

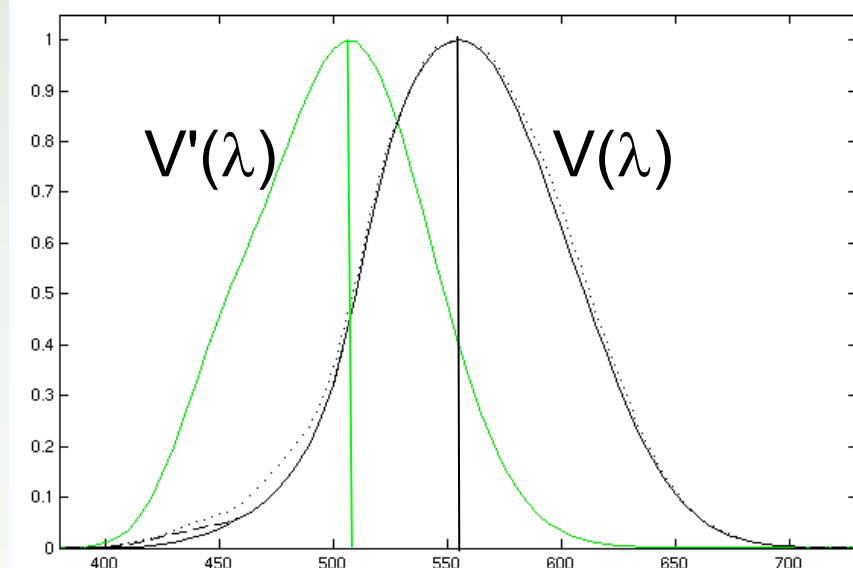
$$I_e = \frac{\Phi_e}{\Omega} [\text{W sr}^{-1}]$$

- ▶ Zračenje je jednako intenzitetu zračenja po jedinici površine.
- ▶ **Ozračenje** je jednako snazi (fluksu) koja pada na neku površinu.

$$E_e = \frac{\Phi_e}{A} [\text{W m}^{-2}]$$

- ▶ Za razliku od fizičkih veličina koje se koriste za energetska analizu svetlosti, fotometrijske veličine vrednuju svetlost na osnovu osetljivosti vidnog organa.
- ▶ Na slici je prikazana relativna osetljivost oka u zavisnosti od talasne dužine. Kriva $V(\lambda)$ odnosi se na osetljivost oka adaptiranog na svetlost (dnevni uslovi). Kriva $V'(\lambda)$ se odnosi na osetljivost oka adaptiranog na tamu (noćni uslovi).
- ▶ Pri jakoj svetlosti oko je najosetljivije na 555nm a pri slaboj svetlosti na 507nm. U oba slučaja reč je o zelenoj boji.

violet	380–450 nm
blue	450–495 nm
green	495–570 nm
yellow	570–590 nm
orange	590–620 nm
red	620–750 nm



- ▶ Sve fotometrijske veličine temelje se na fizičkim veličinama i osetljivosti prosečnog ljudskog oka za različite talasne dužine svetlosti.
- ▶ Fotometrijske veličine se često definišu preko fizičkih pa se zbog njihovog razlikovanja fizičke veličine označavaju indeks "e" (energetske) a fotometrijske se ili ne označavaju ili nose oznaku "v" (vizuelne).
- ▶ Osnovne fotometrijske veličine su:
 - ⊕ Svetlosni fluks, Φ_v [lm] - ekv. fluks zračenja
 - ⊕ Intenzitet svetlosti (jačina svetlosti), I_v [cd] - ekv. intenzitet zračenja
 - ⊕ Osvetljenost, E_v [lx] - ekv. ozračenje
 - ⊕ Sjajnost, L_v [cd/m²] - ekv. zračenje

- ▶ **Svetlosni fluks** za datu površinu jednak je energiji koja protekne u jedinici vremena kroz tu površinu koju čovečije oko vrednuje kao svetlost. Definiše se kao:

$$\Phi_v = K_m \int_{380nm}^{750nm} \Phi_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda [\text{lm}]$$

- ▶ Jedinica za svetlosni fluks je [**lm**] **lumen**.
- ▶ **Lumen** je izvedena jedinica koja se definiše kao svetlosni fluks, kojeg u prostorni ugao od **1sr** zrači tačkasti izvor svetlosti, čiji je intenzitet svetlosti (jačina svetlosti) ista u svim smerovima prostora i jednaka **1cd** (kandela).
- ▶ Komercijalni svetlosni izvori imaju svetlosni fluks koji se kreće u opsegu od nekoliko stotona lumena do preko 100 000 lumena.

$$\Phi_v = K_m \int_{380nm}^{750nm} \Phi_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda [lm]$$

$$\Phi_{e\lambda}(\lambda) = \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$$

- ▶ $\Phi_{e\lambda}$ je spektralna gustina snage (fluksa) zračenja koja je u gornjem izrazu ponderisana po talasnoj dužini, što toj fizičkoj veličini daje subjektivni karakter.
- ▶ Konstanta K_m povezuje sve fotometrijske i fizičke veličine i naziva se maksimalna svetlosna efikasnost zračenja pri prilagođenju za dnevno svetlo.

$$K = \frac{\Phi_v}{\Phi_e} [lm/W]$$

$$K_m = 683 [lm/W]$$

- ▶ Integral u jednačini za svetlosni fluks podrazumeva da je svetlosni fluks polihromatske svetlosti jednak zbiru flukseva monohromatskih komponenti.

- ▶ **Intenzitet svetlosti (jačina svetlosti)** je merilo emitovane snage svetlosnog izvora u određenom smeru po jedinici prostornog ugla. Definiše se kao:

$$I_v = K_m \int_{380nm}^{750nm} I_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda [\text{cd}]$$

- ▶ Jedinica za intenzitet svetlosti je [**cd**] kandela.
- ▶ **$I_{e\lambda}$** je spektralna gustina intenziteta zračenja koja je u gornjem izrazu ponderisana po talasnoj dužini, što toj fizičkoj veličini daje subjektivni karakter

$$I_{e\lambda}(\lambda) = \frac{dI_e(\lambda)}{d\lambda}$$

- ▶ Polazeći od veza fizičkih veličina

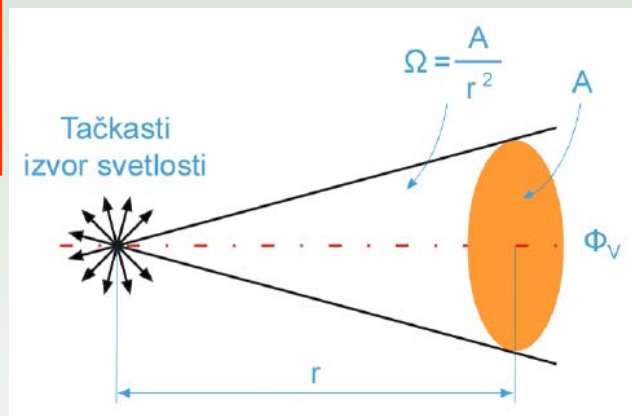
jednačina

$$I_v = K_m \int_{380nm}^{750nm} I_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda [\text{cd}]$$

$$I_e = \frac{\Phi_e}{\Omega} [\text{W sr}^{-1}]$$

može se napisati u obliku:

$$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$$



- ▶ Intenzitet svetlosti je mera gustine svetlosnog fluksa po jedinici prostornog ugla u određenom smeru.
- ▶ U slučaju tačkastog izvora veličina svetlosnog fluksa je ista kroz svaki poprečni presek posmatranog prostornog ugla čiji se vrh poklapa sa izvorom svetlosti. **Ne zavisi od rastojanja.**

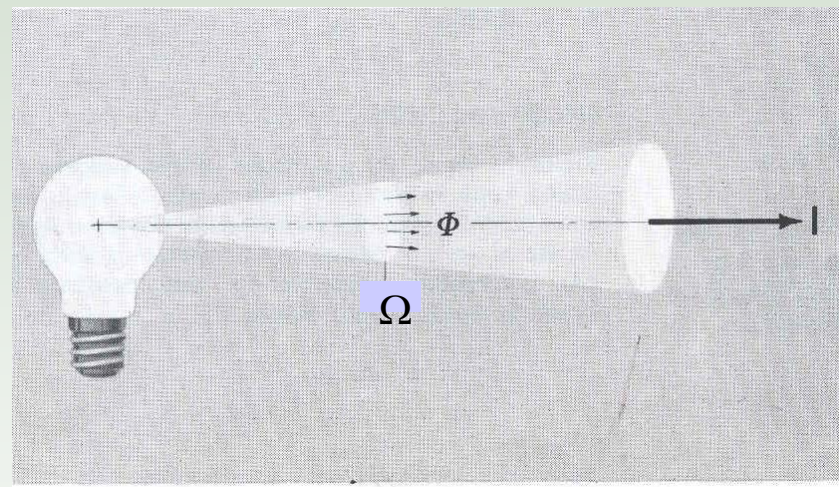
- ▶ Ako je svetlosni fluks u svim smerovima jednak, ili, ako se posmatra konačni fluks kojeg zrači svetlosni izvor u prostorni ugao Ω , izraz za intenzitet svetlosti se pojednostavljuje:

$$I_v = \frac{\Phi_v}{\Omega}$$

- ▶ Izvor koji u svim smerovima zrači isti intenzitet svetlosti I_v (izotropni izvor), zrači sa svoje površine svetlosni fluks:

$$\Phi_v = 4\pi I_v$$

- ▶ Jačina svetlosnog izvora se izražava preko intenziteta (jačine) svetlosti.



- ▶ **Osvetljenost** je merilo svetlosnog fluksa koji padne na neku površinu. Definiše se kao:

$$E_v = K_m \int_{380nm}^{750nm} E_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda [\text{lx}]$$

- ▶ Jedinica za osvetljenost je [**lx**] luks .
- ▶ **$E_{e\lambda}$** je spektralna gustina ozračenja koja je u gornjem izrazu ponderisana po talasnoj dužini, što toj fizičkoj veličini daje subjektivni karakter

$$E_{e\lambda}(\lambda) = \frac{dE_e(\lambda)}{d\lambda}$$

- ▶ Polazeći od veza fizičkih veličina

$$E_e = \frac{\Phi_e}{A} [\text{Wm}^2]$$

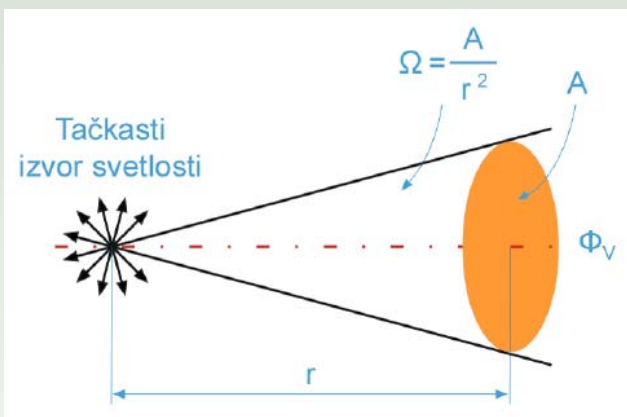
jednačina

$$E_v = K_m \int_{380\text{nm}}^{750\text{nm}} E_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda [\text{cd}]$$

može se napisati u obliku:

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}$$

- ▶ Osvetljenost u datoj tački je mera gustine svetlosnog fluksa po površini koja je normalna na fluks, i na kojoj je tačka.



- ▶ Ako je svetlosni fluks ravnomerno raspoređen po nekoj površini izraz se pojednostavljuje:

$$E_v = \frac{\Phi_v}{A}$$

- ▶ **Osvetljenost površine** je definisana odnosom celekupnog svetlosnog fluksa Φ , koji pada pod pravim uglom na određenu površinu i veličine te površine, A :

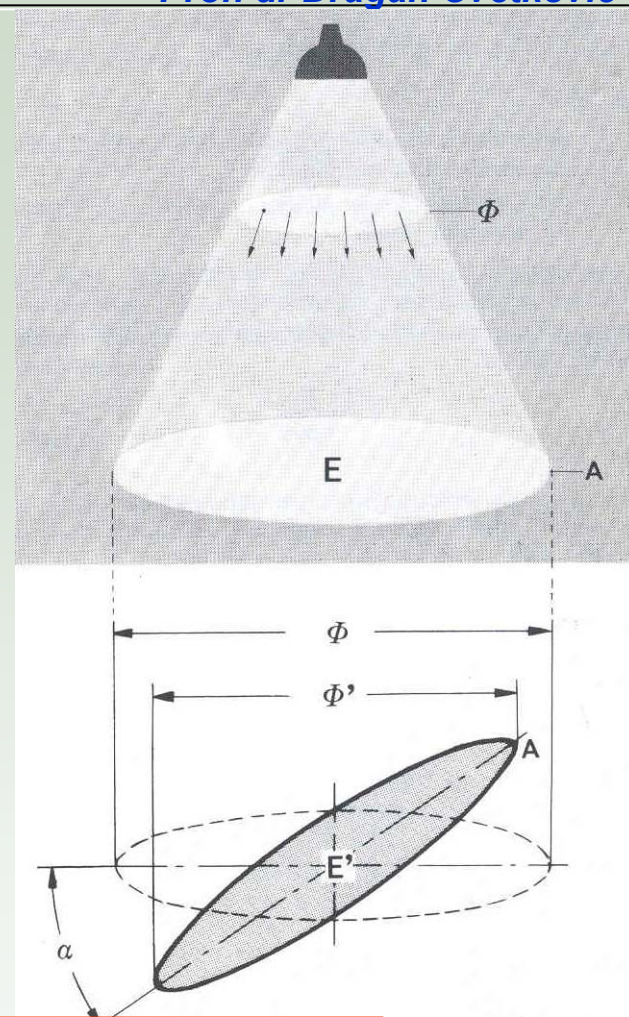
$$E_v = \frac{\Phi_v}{A}$$

- ▶ Ako svetlosni fluks pada na istu površinu pod nekim uglom α , osvetljenost površine se smanjuje jer na površinu pada samo deo svetlosnog fluksa:

$$\Phi'_v = \Phi_v \cos \alpha$$

- ▶ Osvetljenost je tada:

$$E'_v = \frac{\Phi'_v}{A} = \frac{\Phi_v \cos \alpha}{A} = E_v \cos \alpha$$



- Tipične vrednosti osvetljenosti nekih površina:

Površina	Osvetljenost [lx]
Slavo osvetljen put	0.5-5
Dobro osvetljen put	5-30
Prosečno osvetljen stan	30-100
Stan sa dnevnom svetlošću	100-500
Otvoreni prostor pri oblačnom nebu	1k-2k
U senci na otvorenom prostoru pri sunčanom nebu	3k-8k
Otvoren prostor neposredno osvetljen suncem	70k-100k

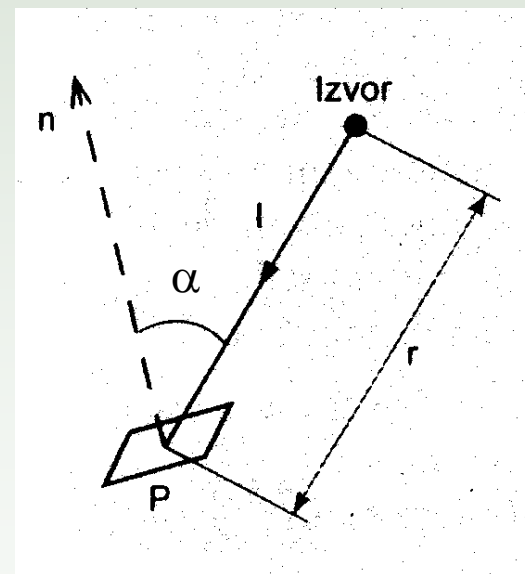
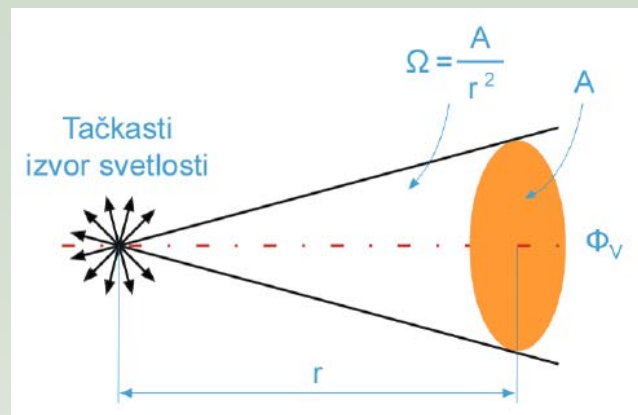
- **Osvetljenost tačke** u slučaju tačkastog izvora opada sa kvadratom rastojanja od izvora, i proporcionalna je intenzitetu svetlosti:

$$E_v = \frac{I_v}{r^2}$$

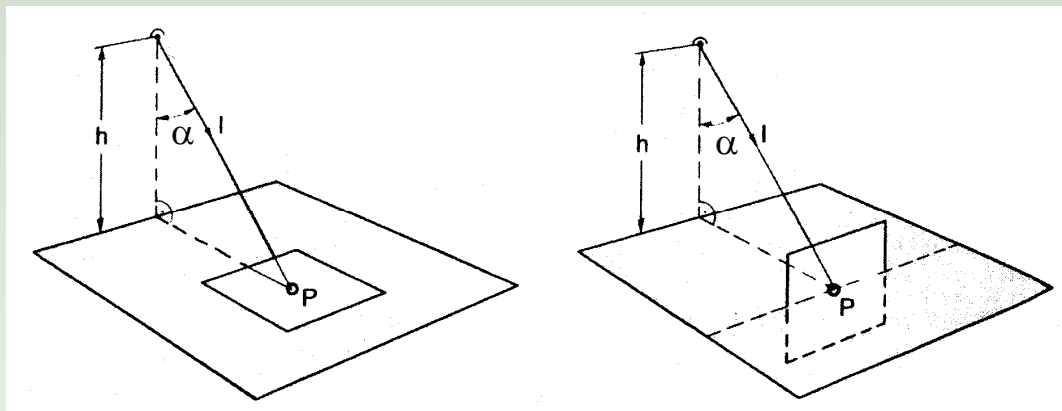
$$E_v = \frac{\Phi_v}{A} = \frac{I_v \Omega}{r^2 \Omega} = \frac{I_v}{r^2}$$

- Ako svetlosni fluks pada na istu tačku pod nekim uglom α , osvetljenost tačke se smanjuje i proporcionalna je komponenti intenzitetu svetlosti u smeru posmatrane tačke:

$$E_v = \frac{I_v}{r^2} \cos \alpha$$



- ▶ Često su površine na kojima se izračunava osvetljenost horizontalne i vertikalne u odnosu na smer svetlosnog fluksa tako da se razmatra horizontalna i vertikalna osvetljenost.



$$\frac{r}{h} = \cos \alpha \Rightarrow h = \frac{r}{\cos \alpha}$$

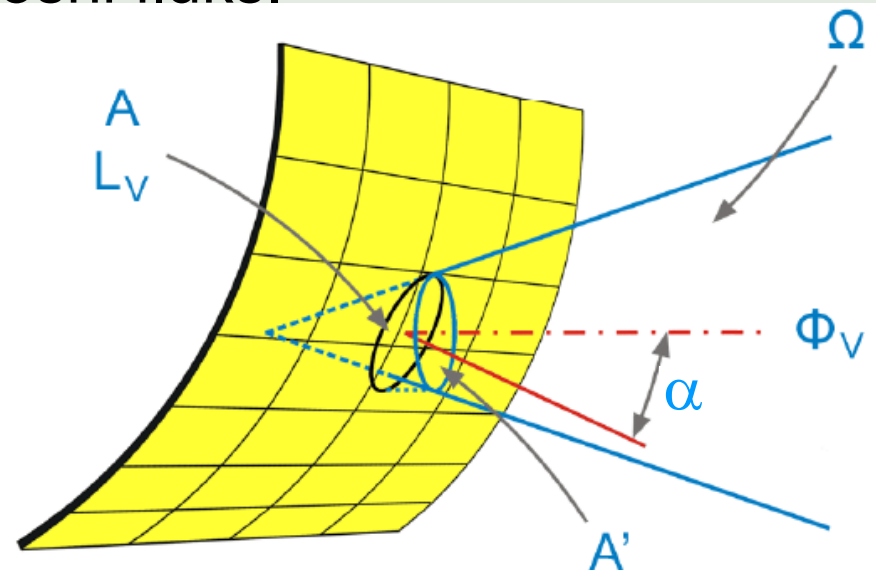
- ▶ Za takve površine obično je poznata visina svetlosnog izvora iznad površine, tako da su osvetljenosti:

$$E_H = \frac{I_v}{r^2} \cos \alpha = \frac{I_v}{\left(\frac{h}{\cos \alpha}\right)^2} \cos \alpha = \frac{I_v}{h^2} \cos^3 \alpha$$

$$E_V = \frac{I_v}{r^2} \sin \alpha = \frac{I_v}{\left(\frac{h}{\cos \alpha}\right)^2} \cos \alpha = \frac{I_v}{h^2} \sin \alpha \cos^2 \alpha$$

- ▶ **Sjajnost** je jedina fotometrijska veličina koju čovek neposredno opaža. Ona predstavlja merilo za svetlosni utisak o manjoj ili većoj sjajnosti svetleće ili osvetljene površine.
- ▶ Svetlosni fluks koji se dovodi površini A koja nije normalna na svetlosni snop zavisi samo od gustine fluksa po površini i od poprečne (normalne) površine snopa a ne zavisi od površine kojoj se dovodi svetlosni fluks.
- ▶ Poprečna površina snopa iznosi:

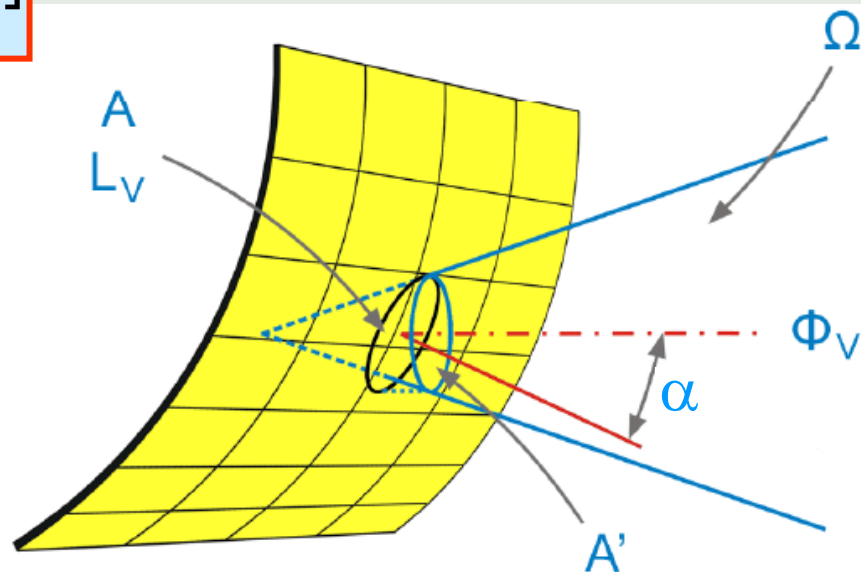
$$A' = A \cos \alpha$$



- ▶ Sjajnost se definiše kao odnos svetlosnog fluksa koji napušta površinu (svetleća površina), prolazi kroz nju ili dolazi na nju (osvetljena površina) i koji se u datom smeru širi unutar prostornog ugla i proizvoda prostornog ugla i ortogonalne projekcije posmatrane površine na ravan koja je normalna na smer svetlosti:

$$L_v = \frac{d^2 \Phi_v}{d\Omega dA \cos \alpha} [\text{cd/m}^2]$$

- ▶ Jedinica za sjajnost je kandela po kvadratnom metru.



- ▶ Sjajnost u nekoj tački svetleće površine, koja može biti svetlosni izvor ili reflektujuća svetlost, određuje se kao:

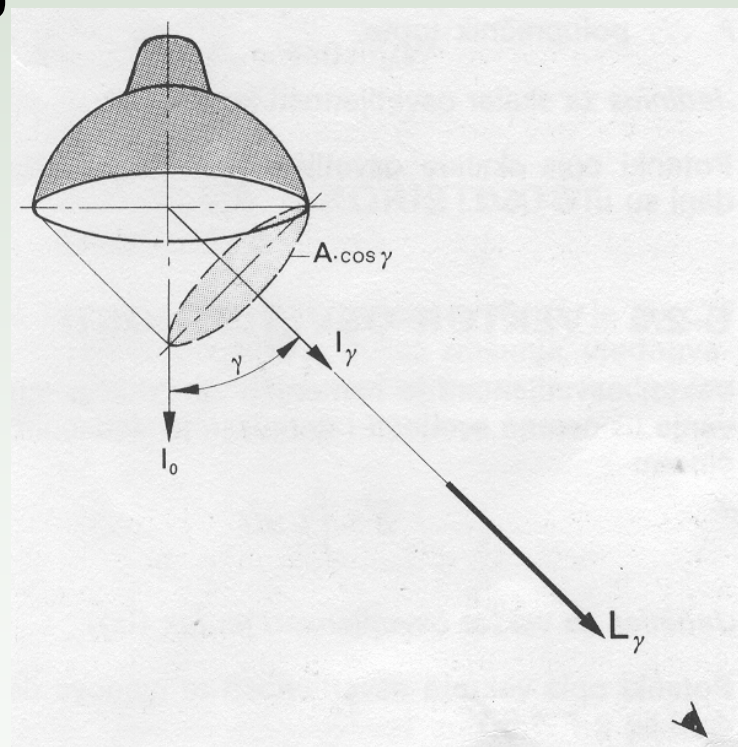
$$L_v = \frac{dI_v}{dA \cos \alpha} \left[\text{cd/m}^2 \right]$$

$$L_v = \frac{d^2 \Phi_v}{d\Omega dA \cos \alpha} \quad I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$$

- ▶ Ako je svetlosni fluks ravnomerno raspoređen po površini tada je:

$$L_v = \frac{I_v}{A \cos \gamma}$$

gde je γ ugao koji određuje smer svetlosnog snopa.



- ▶ Sjajnost osvetljene površine određuje se kao:

$$L_v = \frac{dE_v}{d\Omega} [\text{cd/m}^2]$$

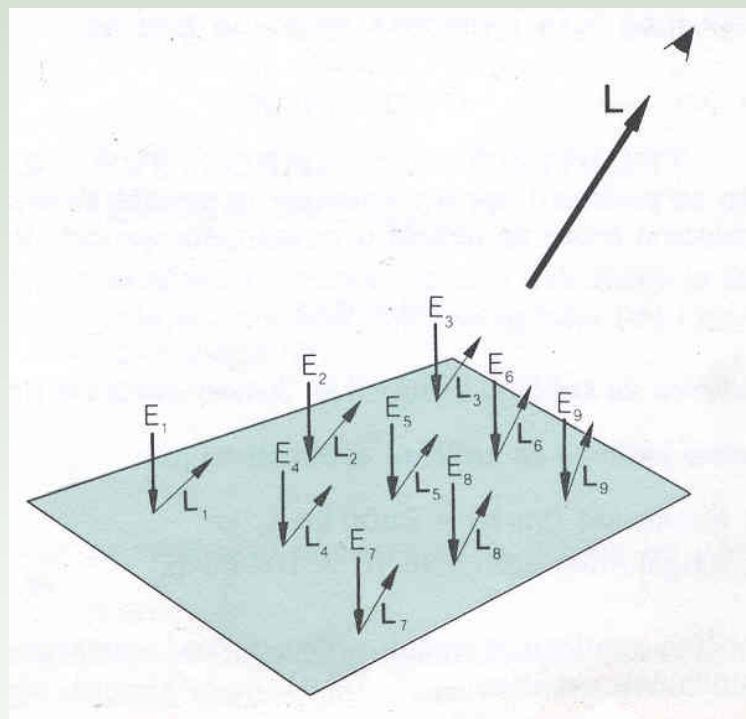
$$L_v = \frac{d^2\Phi_v}{d\Omega dA \cos \alpha} \quad E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}$$

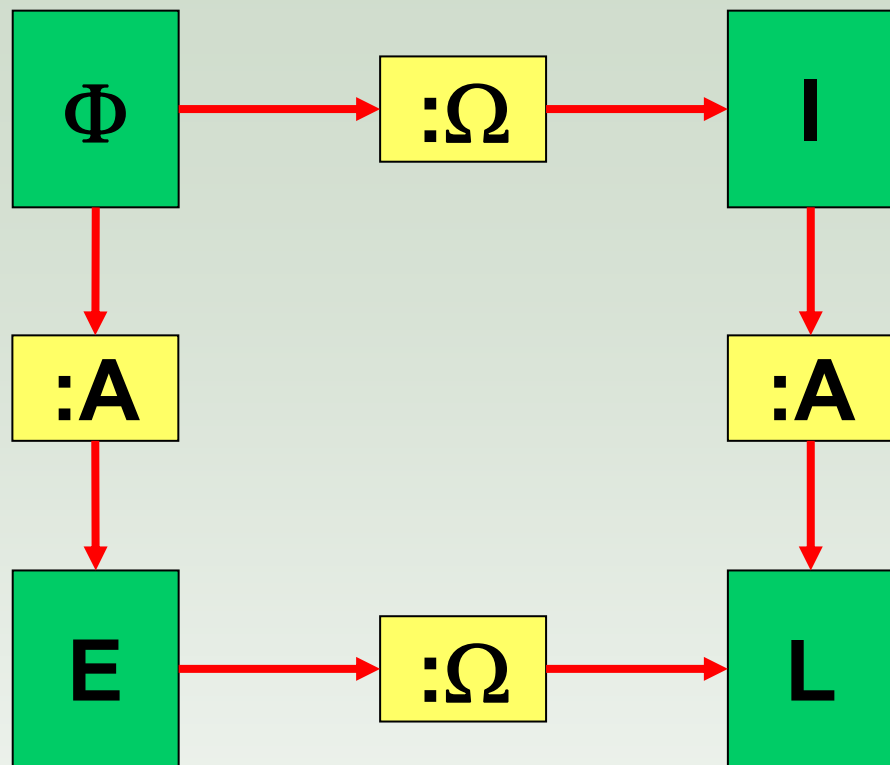
- ▶ Kod površina sa potpuno difuznom refleksijom sjajnost se određuje kao:

$$L_v = \frac{\rho}{\pi} E$$

gde je ρ koeficijent refleksije koji definiše odnos reflektovanog i upadnog svetlosnog fluksa.

- ▶ Difuzni elementi su elementi površine čija sjajnost ima konstantnu vrednost.





$$E = \frac{\Phi}{A}$$

$$L = \frac{E}{\Omega}$$

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

$$L = \frac{I}{A}$$

⊕ Svetlosni fluks, Φ_v [lm]

⊕ Osvetljenost, E_v [lx]

⊕ Intenzitet (jačina) svetlosti, I_v [cd]

⊕ Sjajnost, L_v [cd/m²]

⊕ Prostorni ugao, Ω [sr]

⊕ Površina, A [m²]

1. Spektar optičkog zračenja.

2. Fizičke veličine

- energija zračenja
- fluks zračenja
- intenzitet zračenja
- zračenje
- Ozračenost
- prostorni ugao

3. Fotometrijske veličine.

- svetlosni fluks
- intenzitet svetlosti
- osvetljenost
- sjajnost



- ▶ Svi proračunu se temelje na izračunavanju svetlosnog fluksa koji se prenosi sa jedne na drugu površinu.
- ▶ Prva površina se naziva izvor svetlosti, a druga prijemnik.
- ▶ Izvor svetlosti može biti električni, prirodni ili površina koja reflektuje svetlost.
- ▶ Pri proračunu se uzima u obzir:
 - ⊕ direktni svetlosni fluks se prenosi od izvora do prijemnika bez interakcije s drugim objektima
 - ⊕ reflektovani svetlosni fluks se reflektuje od drugih površina pre nego što dođe do prijemnika.
- ▶ Efekat višestrukih refleksija naziva se interrefleksija.

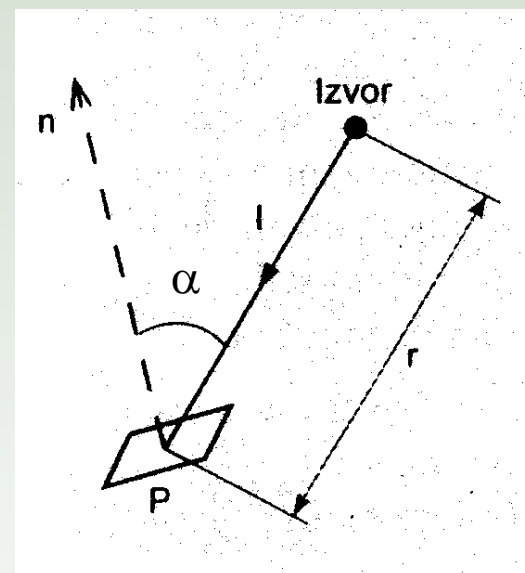
1. Tačkasti izvor i tačkasti prijemnik

- Izračunavanje osvetljenosti malog elementa površine u okolini tačke, koja se često naziva osvetljenost u tački, od tačkastog izvora je najjednostavniji korišćeni metod proračuna.

$$E_v = \frac{I_v}{r^2} \cos \alpha$$

- Izvor se može smatrati tačkastim ako je udaljenost između izvora i prijemnika pet puta veća od maksimalne dimenzije izvora, $a_{\max}$:

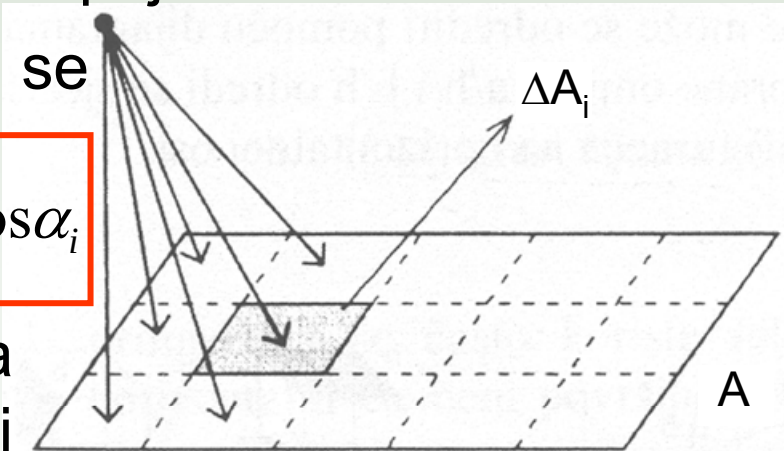
$$r \geq 5a_{\max}$$



2. Tačkasti izvor i ravanski prijemnik

- ▶ Svetlosni fluks tačkastog izvora svetlosti koji pada na neku ravan konačne veličine određuje se integracijom po površini prijemnika **A** ili diskretizacijom površine i aproksimacijom sa tačkastim prijemnikom.
- ▶ Prijemnik u obliku ravni se podeli na male segmente ΔA_i tako da se mogu smatrati tačkastim prijemnicima.
- ▶ Na svakom tačkastom prijemniku se izračunava osvetljenost:

$$E_i = \frac{I_i}{r^2} \cos \alpha_i$$
- ▶ Prosečna osvetljenost se računa kao odnos ukupnog fluksa koji pada na ravan i njen površine:



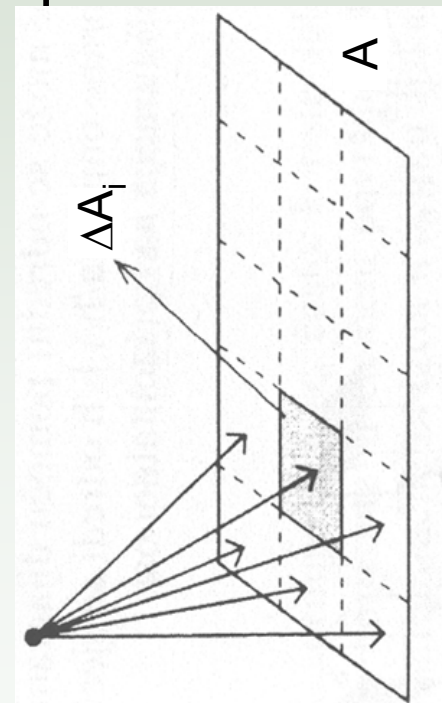
$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{\sum E_i \Delta A_i}{A}$$

3. Ravanski izvor i tačkasti prijemnik

- ▶ Svetlosni izvor kod koga nije ispunjen uslov da se može posmatrati tačkastim naziva se površinski.
- ▶ Osvetljenost u nekoj tački od površinskog izvora konstantne sjajnosti određuje tako što se posmatrani izvor podeli na dovoljno veliki broj segmenata koji se mogu posmatrati kao tačkasti.
- ▶ Osvetljenost tačkastog prijemnika je zbir doprinosa osvetljenosti od svih tačkastih izvora i proporcionalna je sjajnosti površinskog izvora:

$$E_v = c \pi L_v$$

gde je **c** – faktor konfiguracije.



4. Ravanski izvor i ravanski prijemnik

- ▶ Prosečna osvetljenost površine konačnih dimenzija od površinskog izvora konstantne sjajnosti određuje tako što se površina izvora i prijemnika podeli na dovoljno veliki broj segmenata koji se mogu posmatrati kao tačkasti.
- ▶ Osvetljenost jednog segmenta površine prijemnika jednaka je zbiru doprinosa osvetljenosti od svih segmenata površine izvora.
- ▶ Prosečna osvetljenost prijemnika se dobija sabiranjem svetlosnih flukseva po svim segmentima površine prijemnika:

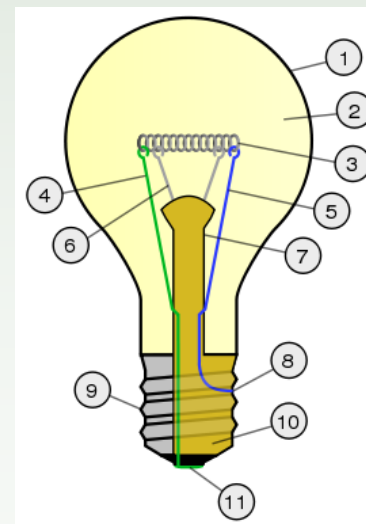
$$E_v = f\pi L_v$$

gde je: **f** – faktor oblika koji zavisi od relativnog geometrijskog odnosa izvora i prijemnika.

- ▶ Tela koja emituju svetlost nazivaju se svetlosni izvori.
- ▶ Izvori svetlosti se mogu podeliti na:
 - ⊕ prirodne – sunce, munja ...
 - ⊕ veštačke – svetlost nastaje usled dejstva električne struje
- ▶ Električni izvori svetlosti se mogu podeliti u odnosu na princip nastajanja svetlosti na:
 - ⊕ izvore svetlosti sa užarenim vlaknom
 - ⊕ izvore svetlosti na električno pražnjenje



- ▶ Kod izvora svetlosti sa užarenim vlaknom užareno volframovo vlakno zrači svetlosni fluks.
- ▶ Što je temperatura vlakna veća to je i iskoristivost izvora veća, odnosno veći je svetlosni fluks.
- ▶ Pošto se kod visokih temperatura volframovo vlakno prebrzo raspada, ono se smešta u stakleni balon koji može imati različitu formu i veličinu.
- ▶ Izvori svetlosti sa užarenim vlaknom mogu se podeliti na:
 - ⊕ sijalice za opštu upotrebu
 - ⊕ reflektorske sijalice
 - ⊕ halogene sijalice



- ▶ **Reflektorske sijalice** su izvori svetlosti sa užarenim volframovim vlaknom kod kojih je balon sa unutrašnje strane metaliziran, tako da one zrače svetlost u određenom smeru ili u koncentrisnom snopu.
- ▶ **Halogene sijalice** su izrađene od kvarcnog stakla i ispunjene inertnim gasom sa malim količinama halogenih elemenata (jod, brom).
- ▶ Prisustvo halogenih elemenata omogućava stvaranje procesa gde se ispareni volfram ponovo vraća čime se vek sijalice produžava.



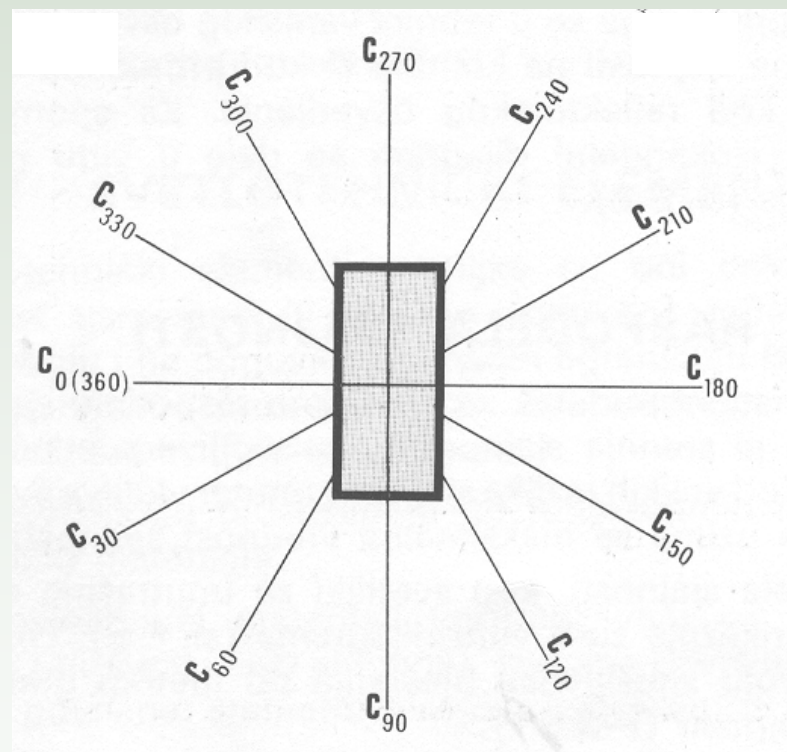
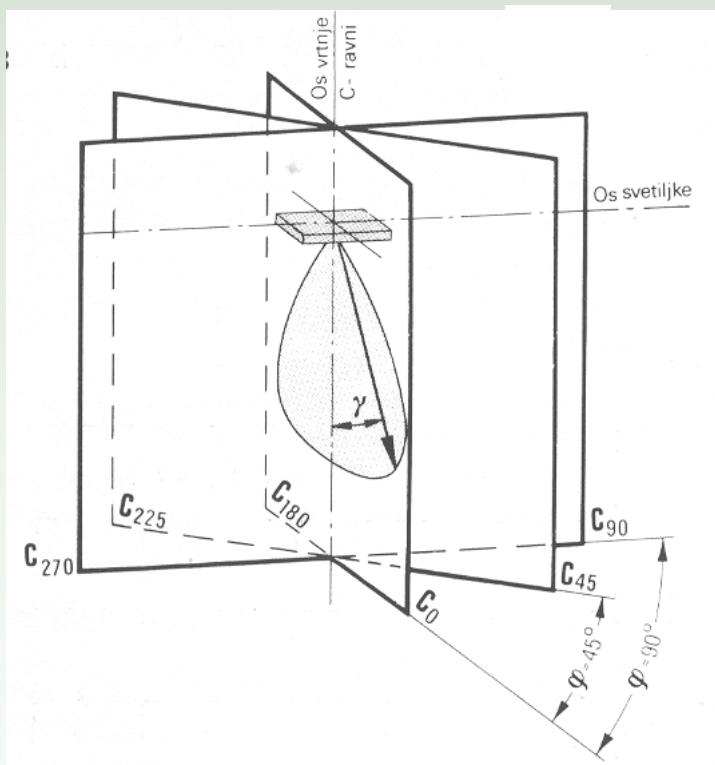
- ▶ **Izvori svetlosti na električno pražnjenje**, su izvori koji zrače svetlost usled električnog pražnjenja kroz gas, metalne pare ili njihove mešavine.
- ▶ Izvori svetlosti na električno pražnjenje mogu se podeliti na:
 - ⊕ Fluorescentne sv. izvore
 - ⊕ Živine sv. izvore - visokog pritiska
 - ⊕ metal-halogene sv. izvore visokog pritiska
 - ⊕ natrijumove sv. izvore
- ▶ **Fluorescentne sijalice** su takvi izvori koji zrače svetlost usled električnog pražnjenja kroz živine pare niskog pritiska.



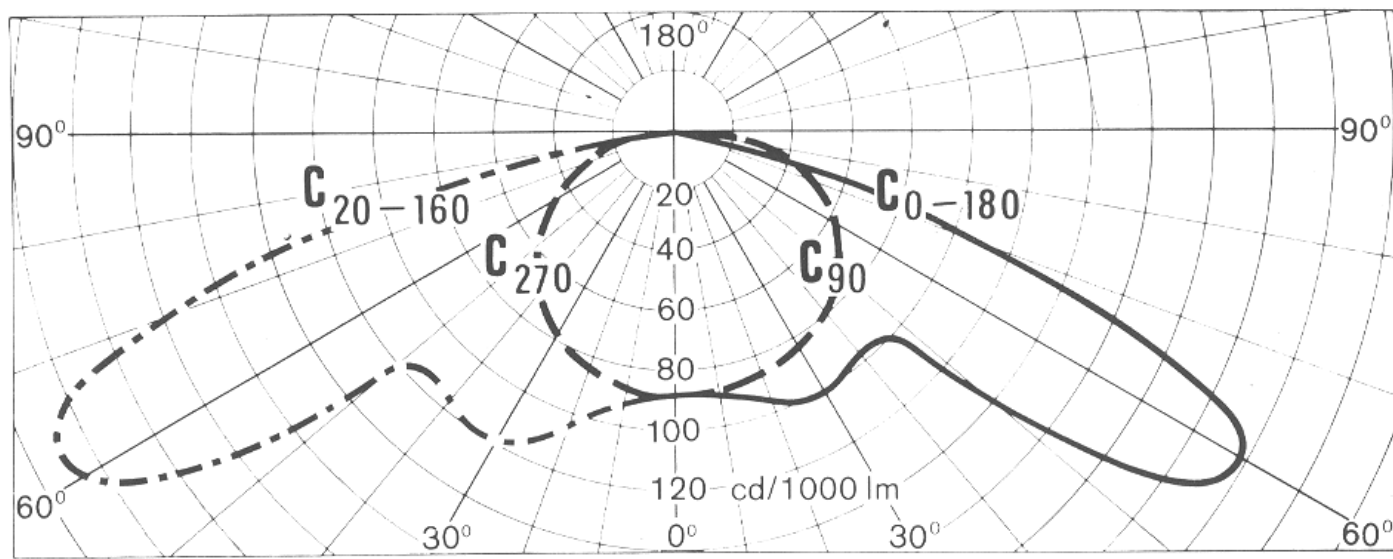
- ▶ **Živine sijalice visokog pritiska su** su takvi izvori koji zrače svetlost usled električnog pražnjenja kroz živine pare visokog pritiska.
- ▶ **Metal-halogene sijalice visokog pritiska su** su takvi izvori kod kojih su živi dodani halogenidi koji pražnjenjem daju svetlost određene boje, pa je rezultujuća svetlost vrlo kvalitetnog spektra.
- ▶ **Natrijumove sijalice** su takvi izvori koji zrače svetlost usled električnog pražnjenja kroz natrijumove pare.



- ▶ **Raspodela intenziteta svetlosti** opisuje se u vidu polarnog dijagrama gde je smer određen polarnim uglom i azimutom.
- ▶ Radi preglednosti podaci o intenzitetu se prikazuju kao funkcije polarnih uglova γ u određenim karakterističnim C-ravnima određenim azimutom.



- ▶ Svi polarni dijagrami intenziteta svetlosti određuju se za svetlosni fluks izvora svetlosti od 1000 lumena.
- ▶ Na taj način se isti dijagram koristi za izvore svetlosti istih dimenzija ali različitog svetlosnog fluksa.
- ▶ Da bi se dobio intenzitet svetiljke u određenom pravcu očitana vrednost se množi sa brojem lumena svih izvora u svetiljci.



- ▶ **Efikasnost** izvora svetlosti se definiše kao odnos između emitovanog svetlosnog fluksa Φ i primljene električne snage P :

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$$

- ▶ Svetiljka može biti sastavljena od više svetlosnih izvora. Ukupni svetlosni fluks svetiljke, zbog gubitaka koji se mogu javiti, je manji od ukupnog svetlosnog fluksa svih izvora u svetiljci.
- ▶ Definiše se **koeficijent efikasnosti svetiljke** kao:

$$\eta_s = \frac{\Phi_{sv}}{\sum \Phi_{izv}}$$

Ukupni svetlosni fluks svetiljke

Ukupni svetlosni fluks svih izvora u svetiljci

► Kod proračuna unutrašnjeg osvetljenja uglavnom se primenjuju sledeće metode izračunavanja i ocenjivanja:

- ⊕ metoda efikasnosti
- ⊕ metoda tačke
- ⊕ metoda izoluks dijagrama
- ⊕ metoda proračuna srednje sjajnosti površine
- ⊕ metoda graničnih krivih sjajnosti

- ▶ Metoda efikasnosti namenjena je za izračunavanje srednje osvetljenosti na nekoj ravni u prostoriji.
- ▶ Uzima se u obzir svetlosni fluks, koji pada direktno na posmatranu ravan (direktna komponentna), i reflektovana svetlost s ostalih ravni prostorije (indirektna komponenta).
- ▶ Srednja osvetljenost korisne površine odnosi se uvek na horizontalnu radnu ravan (obično 0.85m iznad poda) i izračunava se kao:

$$E = \frac{n\Phi_{izv}\eta_R}{A}$$

gde je: Φ_{izv} – svetlosni fluks svetiljke, n - broj svetiljki u prostoriji, η_R - efikasnost osvetljenja, A - korisna površina

► Efikasnost osvetljenja zavisi od:

- ⊕ svetlotehničkih karakteristika svetiljke (CIE kod)
- ⊕ visine montaže svetiljke
- ⊕ dimenzija prostorije
- ⊕ refleksionih svojstava površina u prostoriji

► Efikasnost osvetljenja se daje u obliku tabela u funkciji:

- ⊕ indeksa prostorije
- ⊕ efektivnog koeficijenta refleksije plafona
- ⊕ efektivnog koeficijenta refleksije zidova
- ⊕ efektivnog koeficijenta refleksije poda ili radne površine

► Efikasnost osvetljenja uključuje i karakteristike svetiljke.

1. Proračun

tačkasti izvor - tačkasti prijemnik

tačkasti izvor - površinski prijemnik

površinski izvor - tačkasti prijemnik

površinski izvor - površinski prijemnik

2. Izvor svetlosti

tipovi

karakteristike

3. Proračun unutrašnjeg osvetljenja



- ▶ Standardom SRPS U.C9.100:1962 definisane su metode za merenje i ocenjivanje dnevnog i električnog osvetljenja u prostorijama.
- ▶ Pored toga postoje i preporuke JKO (Jugoslovenski komitet za osvetljenje) iz 1974 koji pored unutrašnjeg osvetljenja obuhvataju i problematiku spoljašnjeg osvetljenja.
- ▶ Kvalitet unutrašnjeg osvetljenja ocenjuje se na osnovu:
 - ⊕ srednje osvetljenosti
 - ⊕ ravnomernosti osvetljenosti
 - ⊕ raspodele sjajnosti
 - ⊕ ograničenja bleštanja
 - ⊕ boje

- ▶ Standardom SRPS U.C9.100:1962 definisane su zahtevi koji se razvrstavaju na:
 - ⊕ veoma male
 - ⊕ male
 - ⊕ srednje
 - ⊕ velike
 - ⊕ veoma velike
 - ⊕ izvanredno velike

1. Električno osvetljenje

- ▶ Za izvršavanje određene delatnosti pri samo opštem osvetljenju ili pri opštem i dopunskom osvetljenju radnog mesta, nivo osvetljenosti izražen veličinom **minimalne srednje osvetljenosti** mora zadovoljavati vrednosti date u narednoj tabeli za različite vidne zahteve.
- ▶ Vrednosti nivoa **osvetljenosti** date u tabeli važe za opšte osvetljenje prostorije za horizontalnu ravan na visini 0.85m, a za osvetljenje radnog mesta za radnu ravan tog mesta.
- ▶ Vrednost osvetljenosti u koloni "**a**" važi za osvetljenje sa sijalicama sa užarenim vlaknom, a vrednost u koloni "**b**" za osvetljenje sa fluorescentnim cevima ili sličnim izvorima svetlosti više temperature boje.

Minimalna srednja osvetljenost za različite vidne zahteve

Zahtevi	Samo opšte osvetljenje		Opšte osvetljenje sa dopunskim osvetljenjem radnog mesta			
			Opšte osvetljenje		Dopunsko osvetljenje radnog mesta	
	a	b	a	b	a	b
Veoma mali	30	50	-	-	-	-
Mali	50	80	-	-	-	-
Srednji	80	150	30	50	150	300
Veliki	150	300	50	80	300	600
Veoma veliki	300	600	80	150	600	1000
Izvanredno veliki	-	-	150	300	>1000	>1000

- ▶ Dobra prostorna ravnomernost osvetljenja postiže se najpovoljnije samo opštim osvetljenjem. Prostorija mora biti u svakom svom delu dovoljno osvetljena. Za samo opšte osvetljenje, odnos između osvetljenosti najslabije osvetljenog mesta u prostoriji prema srednjoj osvetljenosti cele prostorije mora biti u skladu sa datom tabelom za različite vidne zahteve.

Ravnomernost osvetljenja za različite vidne zahteve

Vidni zahtev	Odnos osvetljenosti najslabije osvetljenog mesta prema srednjoj osvetljenosti prostorije
Veoma mali	1: 6 do 1: 3
Mali	1: 3
Srednji i veliki	1: 2.5
Veoma veliki i izvanredno veliki	1: 1.5

- ▶ Da bi se smanjilo blještanje usled jakih kontrasta u vidnom polju potrebno je da kontrasti budu što jači u vidnom polju koje posmatrani predmet obrazuje sa pozadinom, zatim da ostala područja nemaju veću osvetljenost od glavnog vidnog polja i treba da osvetljenost ukupnog vidnog polja bude što ravnomernija, tj. da odnosi osvetljenosti (kontrast) ne prekorače vrednosti date u tabeli.

$$C = \frac{|L_o - L_p|}{L_p}$$

L_o - sjajnost objekta

L_p - sjajnost pozadine

Najveće dopuštene vrednosti kontrasti C

Između glavnog vidnog polja i bliže okoline vidnog polja	3:1 do 5:1
Između glavnog vidnog polja i dalje okoline vidnog polja	10:1 do 20:1
Između izvora svetlosti i susednih površina unutar vidnog polja	20:1 do 40:1
Bilo gde u prostoriji	40:1 do 80:1

2. Dnevno osvetljenje

- S obzirom na promenljivost dnevne svetlosti, potrebne vrednosti osvetljenosti određuju se kako minimalnom srednjoj osvetljenošću tako i faktorom dnevne osvetljenosti. Vrednosti su prikazane u tabeli. **Faktor dnevne osvetljenosti** sračunava se na prosečnu dnevnu osvetljenost od 5000 luksa.

Srednja osvetljenost i faktor dnevne osvetljenosti

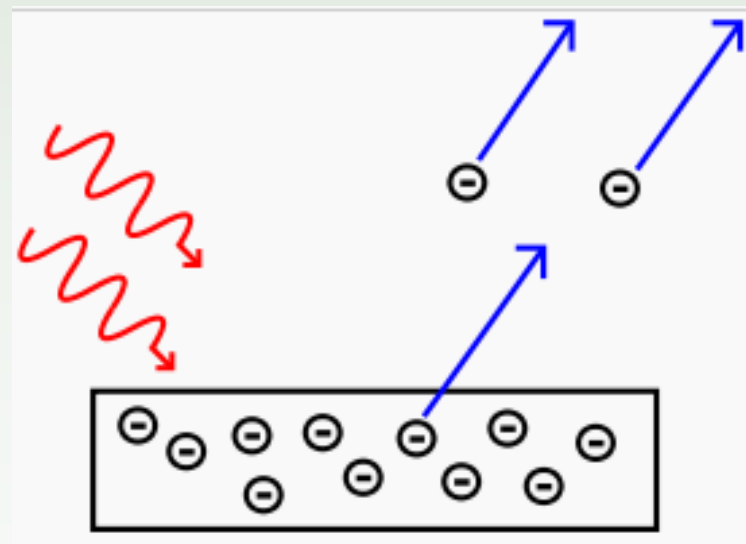
$$T = \frac{E}{5000} \cdot 100\%$$

Zahtevi	Osvetljenost [lx]	Faktor dnevne osvetljenosti [%]
Veoma mali	30 do 50	0.6 do 1.0
Mali	50 do 80	1.0 do 1.6
Srednji	80 do 150	1.6 do 3.0
Veliki	150 do 300	3.0 do 6.0
Veoma veliki	300 do 600	6.0 do 12.0
Izvanredno veliki	preko 600	preko 12.0

- ▶ Merenje osvetljenosti vrši se pomoću fotometara. Najčešće u upotrebi je luksmetar.
- ▶ Svaki luksmetar ima dva osnovna dela:
 - ⊕ fotoelektrični prijemnik
 - ⊕ merni instrument
- ▶ Kao fotoelektrični prijemnik koristi se:
 - ⊕ selenski fotoelement
 - ⊕ silicijumski fotoelementi
- ▶ Merni instrument može biti:
 - ⊕ analogni
 - ⊕ digitalni



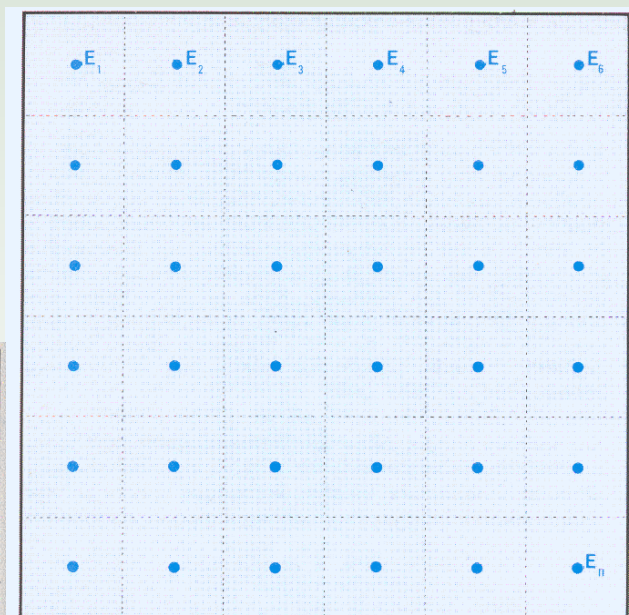
- ▶ Rad luksmetra se zasniva na fotoelektričnom efektu - fenomenu da tela emituju elektrone nakon apsorpcije energije elektromagnetnog zračenja kao što su x-zraci ili vidljiva svetlost.
- ▶ Fotoelektrična pojava se dešava usled dejstva fotona čija je energija nekoliko eV.
- ▶ Osvetljavanjem fotoelektričnog prijemnika oslobađaju se elektroni koji stvaraju električnu struju.
- ▶ Na taj način se svetlosna energija pretvara u električnu.



- ▶ Merenje osvetljenosti luksmetrom po pravilu se izvodi na visini radnog stola (obično 0.85m iznad poda).
- ▶ Prema SRPS standardu cela prostorija se podeli na segmente jednakih površina i označe se središta segmenata kao merne tačke.
- ▶ Izmeri se horizontalna osvetljenost u mernim tačkama.
- ▶ Broj mernih tačaka zavisi od indeksa prostorije.

$$K = \frac{ab}{h_k(a+b)}$$

Indeks prostorije k	Broj mernih tačaka
$k < 1$	4
$1 \leq k < 2$	9
$2 \leq k < 3$	16
$3 \leq k$	25



- ▶ Na osnovu izmerenih vrednosti osvetljenja izračunava se srednja horizontalna osvetljenost

$$E_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

i određuje minimalna vrednost.

$$E_{\min} = \min(E_i)$$

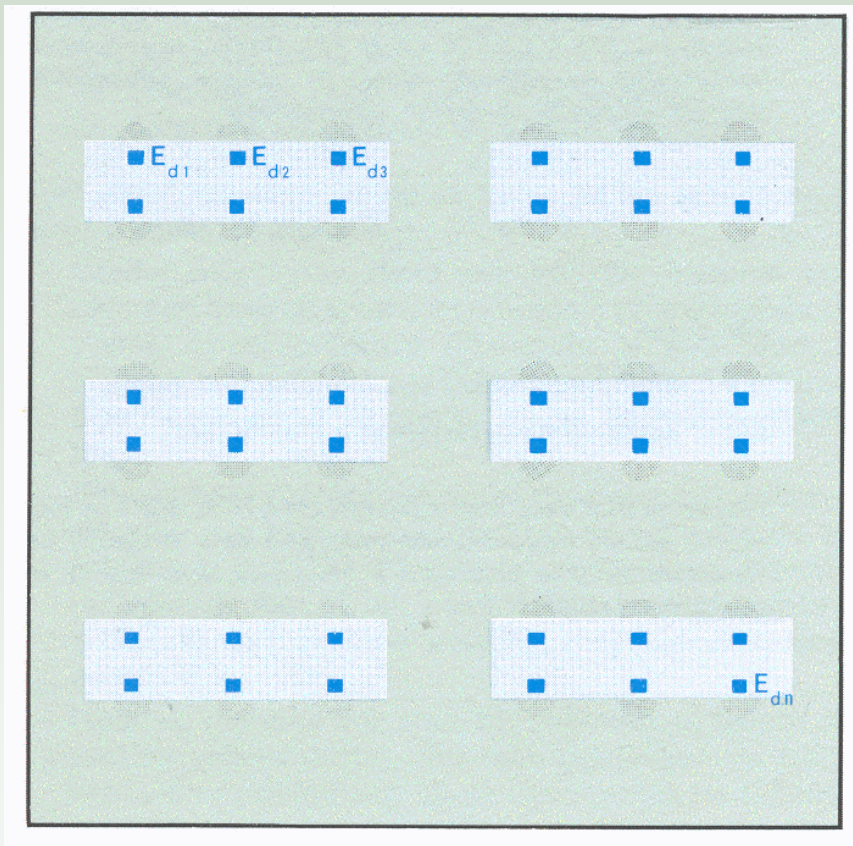
- ▶ Srednja horizontalna vrednost osvetljenja se upoređuje sa dozvoljenom minimalnom srednjom osvetljenošću.

$$E_{sr} \geq E_{sr \min}$$

- ▶ Ravnomernost osvetljenja određena je odnosom:

$$E_{\min} : E_{sr}$$

- Preporuke JKO predviđaju merenje osvetljenosti u radnim zonama kada su radna mesta definisana.



niska oprema

visoka oprema

