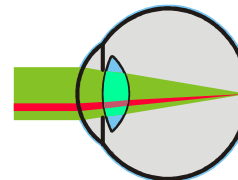


Arbetsplatsoptometri för optiker

Peter Unsbo
KTH



Biomedical and x-ray physics
Visual Optics

God visuell kvalitet

(Arbets-)uppgiftens/miljöns visuella krav

<<

Individens visuella förmåga

Synfunktioner/synförmåga

- Detektion
- Upplösning/identifikation
- Färgseende
- Djupseende

Synfunktioner/synförmåga

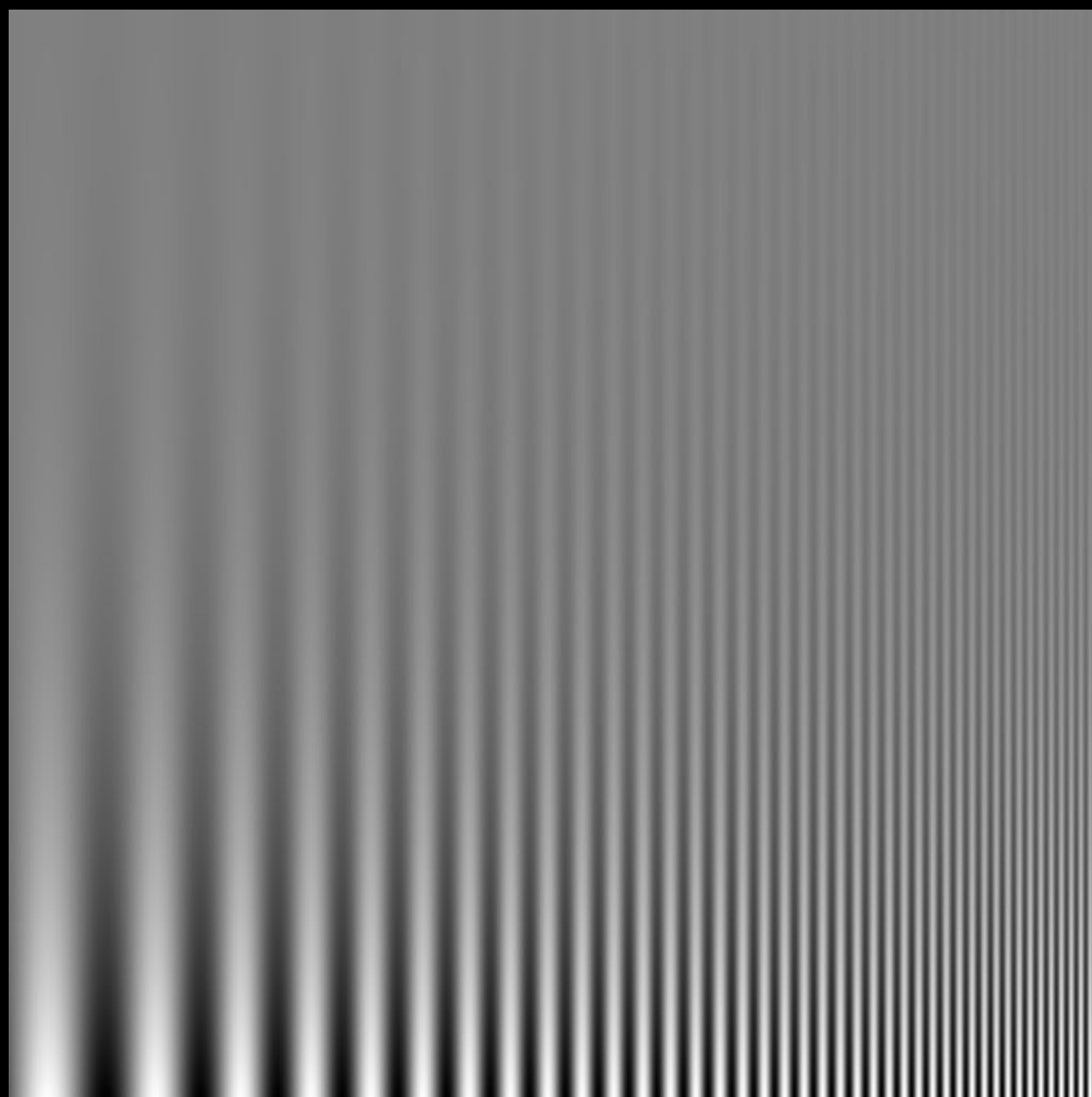
- Detektion
 - Synfält
 - Huvud- och ögonrörelser
 - Ljuskänslighet och mörkeradaptation
 - Kontrastdetektion
 - Flimmerfrekvens

Synfunktioner/synförmåga

- Upplösning
 - Synskärpa
 - Kontrastkänslighet

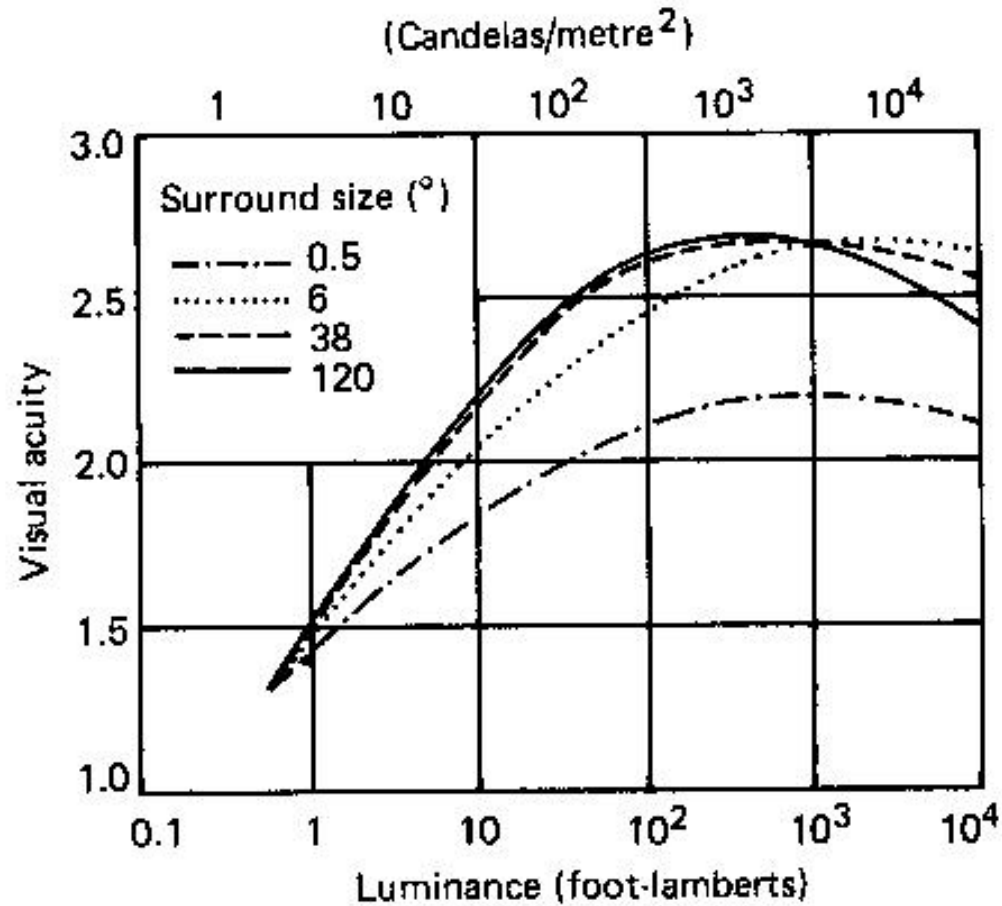
Påverkas av:

- Brytningsfel
- Aberrationer
- Spridning
- Luminans
- Kontrast
- Tid





Synskärpa och luminans



Uppgiftens synbarhet

- Storlek
- Avstånd
- Belysning
- Kontrast/bildkvalitet
- Färg
- Tid
- Rörelse
- Bländning

Förbättrad visuell kvalitet

- 1) Öka synbarheten hos uppgiften, dvs minska de visuella kraven.
- 2) Öka individens visuella förmåga.
 - Korrektion
 - Synhjälpmedel

H

60

P

N

36

D

Z

U

24

F

R

V

E

18

Z

H

N

U

D

12

V

P

D

E

F

R

9

P

R

E

U

H

D

N

Z

6

Y

V

D

H

E

N

F

P

5

R

U

Z

P

N

H

D

F

4

E

D

N

Z

F

H

P

3

H

60

P N

36

D Z U

24

F R V E

18

Z H N U D

12

V P D E F R

9

P R E U H D N Z

6

Y V D H E N F P

5

R U Z P N H D F

4

E D N Z F H P U

3

Förbättrad synbarhet

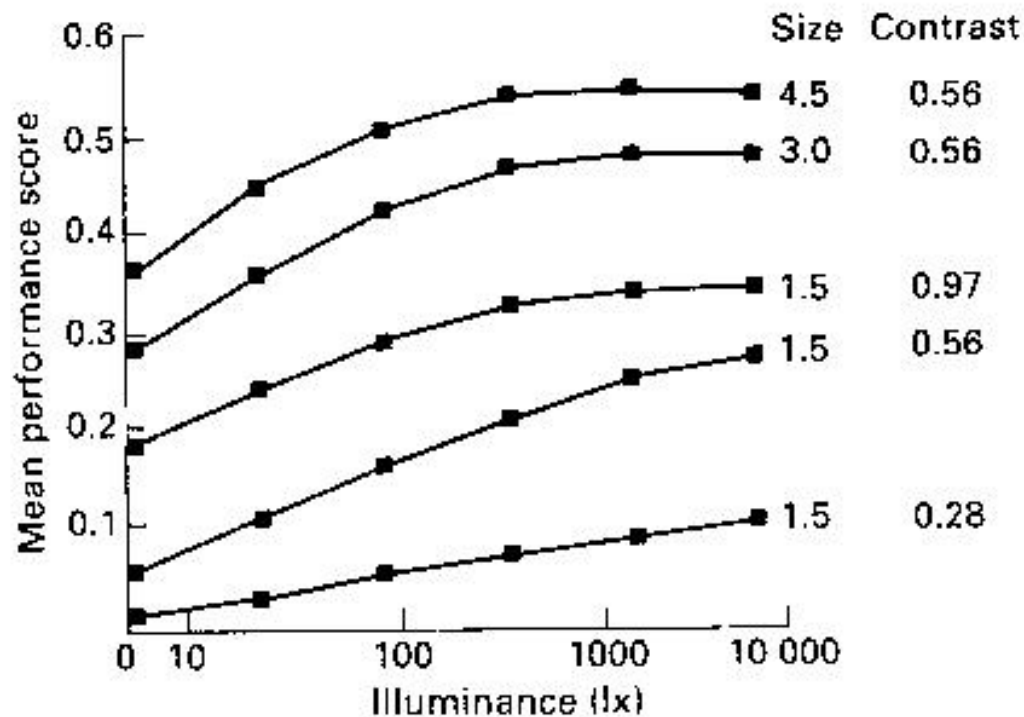


Fig. 1.6 Mean performance scores for Landolt ring charts (after Weston, 1945).

Kursdelen handlar om

- Fotometri och belysningskällor
Idag 6/4 kl 8-12



- Bildskärmar och bildkvalitet
Idag 6/4 kl 13-17 (Niclas Rydell)



- Optisk strålning och strålskydd
Fredag 9/4 8-12



Laborationer (obligatoriska)

Utförs i grupper om 4-5 personer – **maila idag**

- Fotometri

Grp A 7/4 kl 8-12, Grp B 7/4 kl 13-17

Rapport lämnas till Peter senast 9/4.

- Bildskärmar och bildkvalitet

Grp A 7/4 kl 13-17 Grp B 9/4 kl 13-17

**OBS! laborationen görs per distans i zoom,
men ni behöver en dator med extern skärm.**

Redovisas i zoom för Niclas

Fotometri

Formelsamling i Fotometri

Radiometri och Fotometri

Radiometriska storheter

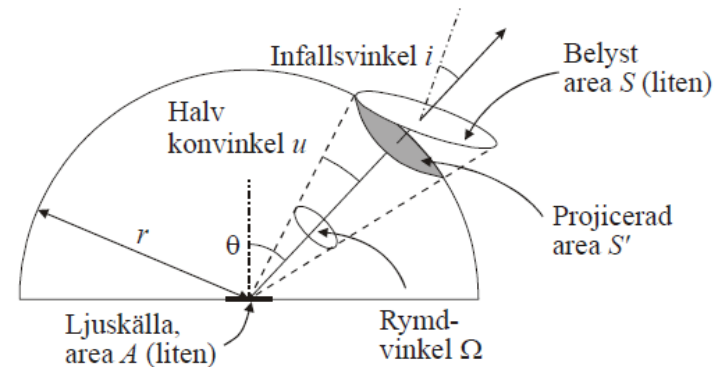
Storhet	Enhet	Symbol
Strålningsflöde	Watt [W]	Φ_e
Exitans	W/m ²	M_e
Strålningsstyrka	W/sr	I_e
Radians	W/(sr m ²)	L_e
Irradians	W/m ²	E_e

Fotometriska storheter

Storhet	Enhet	Symbol
Ljusflöde	Lumen [lm]	Φ_v
Ljusemissionsförmåga	lm/m ²	M_v
Ljusstyrka	lm/sr = candela [cd]	I_v
Luminans	lm/(sr m ²) = cd/m ²	L_v
Belysning	lm/m ² = Lux	E_v

Fotometri

(Gäller även radiometri om v byts mot e)



Om den belysta ytan S är liten gäller: $S' \approx S \cos(i)$.

Definition: Rymdvinkeln för den belysta arean S ges av

$$\Omega = \frac{S'}{r^2} \approx \frac{S \cos(i)}{r^2}.$$

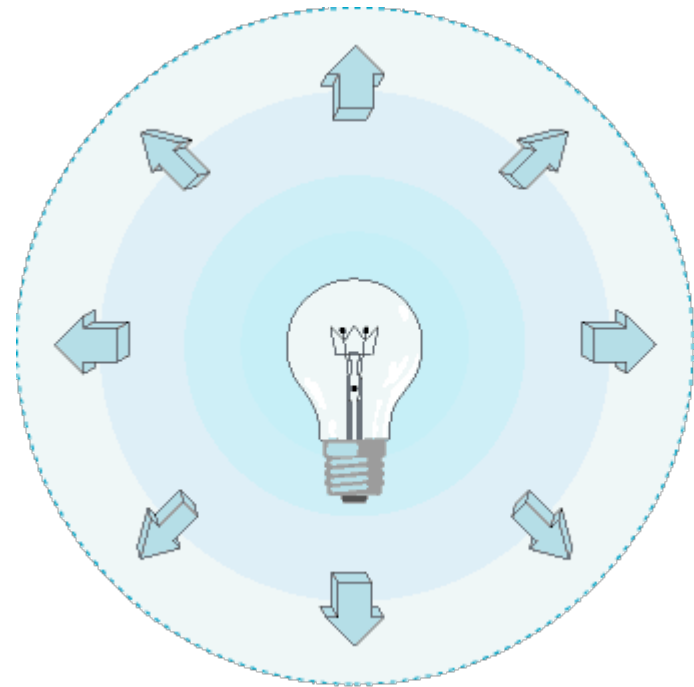
Formel: Om den belysta ytan, sett från källan, upptar en kon med halva konvinkeln u ges rymdvinkeln av

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos u) \approx \pi u^2,$$

där sista likheten gäller om vinkeln u är liten och mäts i radianer.

Ljusflöde, Φ

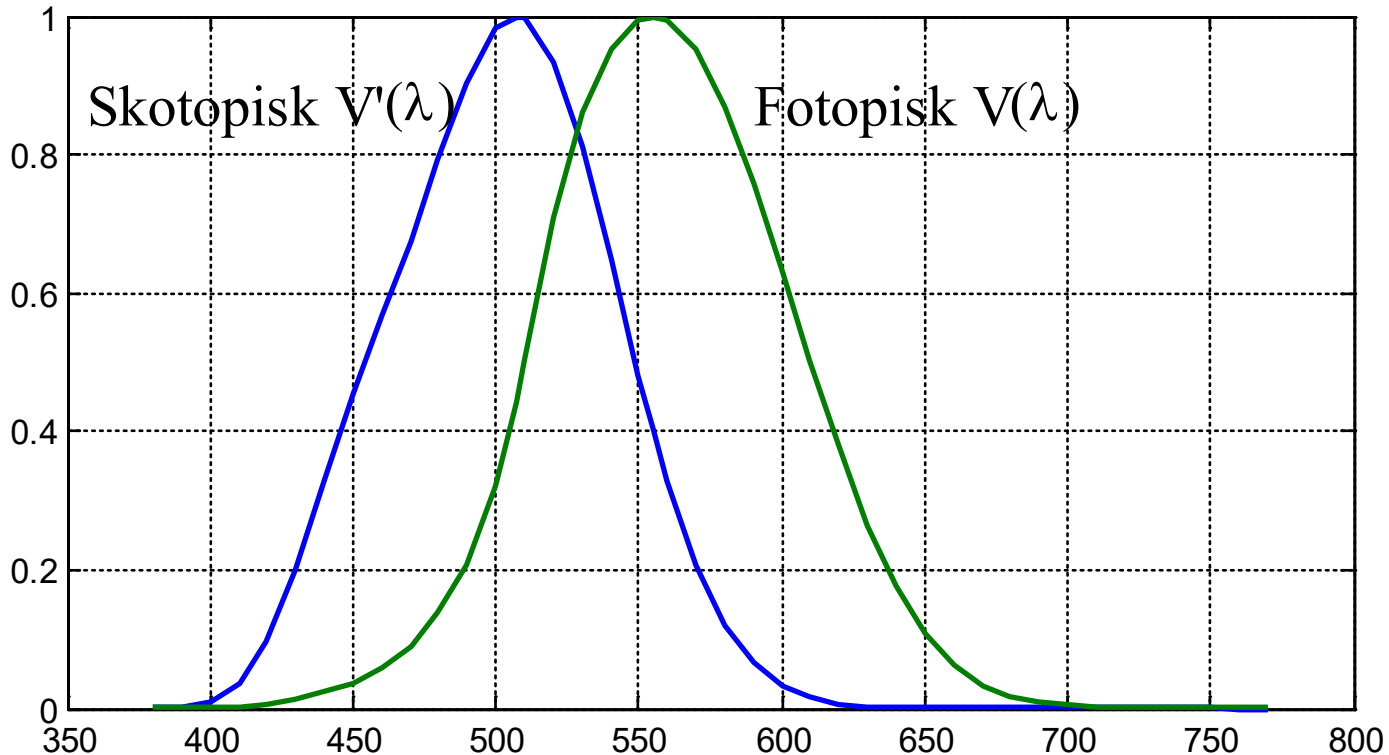
- Mängden strålningsenergi/tid [W] från en källa viktad med ögats känslighetskurva.
- Mäts i lumen [lm]



Ex 60W glödlampa $\Rightarrow$ 600 lm

Laserpekare 10 mW $\Rightarrow$ 6 lm

Ögats känslighetsområde



Ögats spektrala känslighetskurva vid mörker- respektive ljusadaptation (enligt CIE).

Från radiometri till fotometri

- Vid fotopiskt seende (luminanser över 3 cd/m², endast tappar) gäller:

$$\Phi_v = 683 \cdot \int_{360}^{830} V(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda$$

- Vid skotopiskt seende (luminanser under 0.001 cd/m², endast stavar) gäller:

$$\Phi_v = 1700 \cdot \int_{360}^{830} V'(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda$$

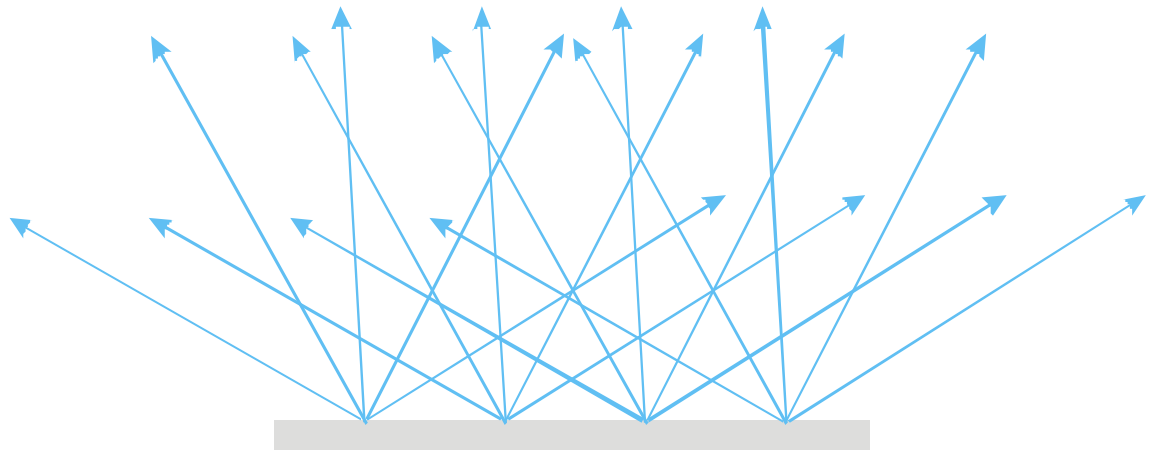
Exempel

1 W grönt ljus (555 nm) = 683 lm

1 W infrarött ”ljus” (ex. 1064 nm) = 0 lm

Ljusemissionsförmåga, M

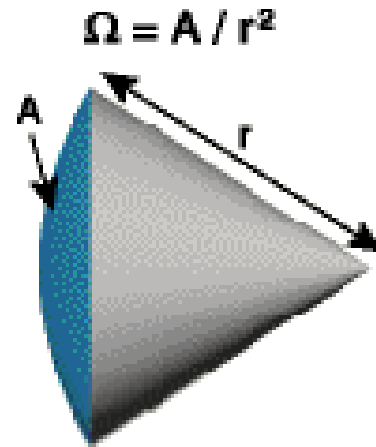
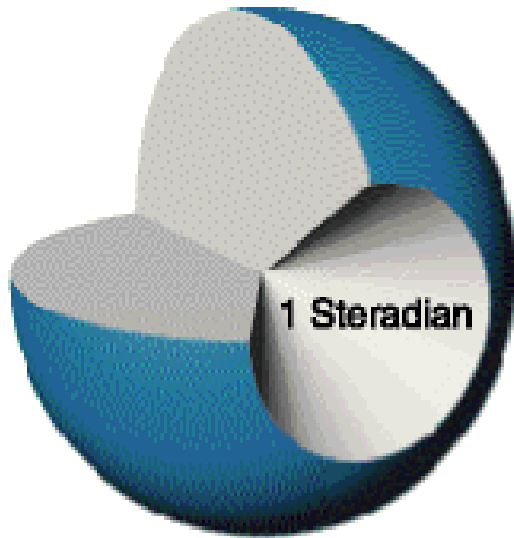
- Ljusflöde per ytenhet från en ljuskälla eller *belyst yta*.
- $M = \Phi/A$, där A är källans area.
- Mäts i [lm/m^2]



Ex 60W glödlampa $\Rightarrow 120\,000\text{ lm}/\text{m}^2$

Laserpekare 10 mW $\Rightarrow 2\,000\,000\text{ lm}/\text{m}^2$

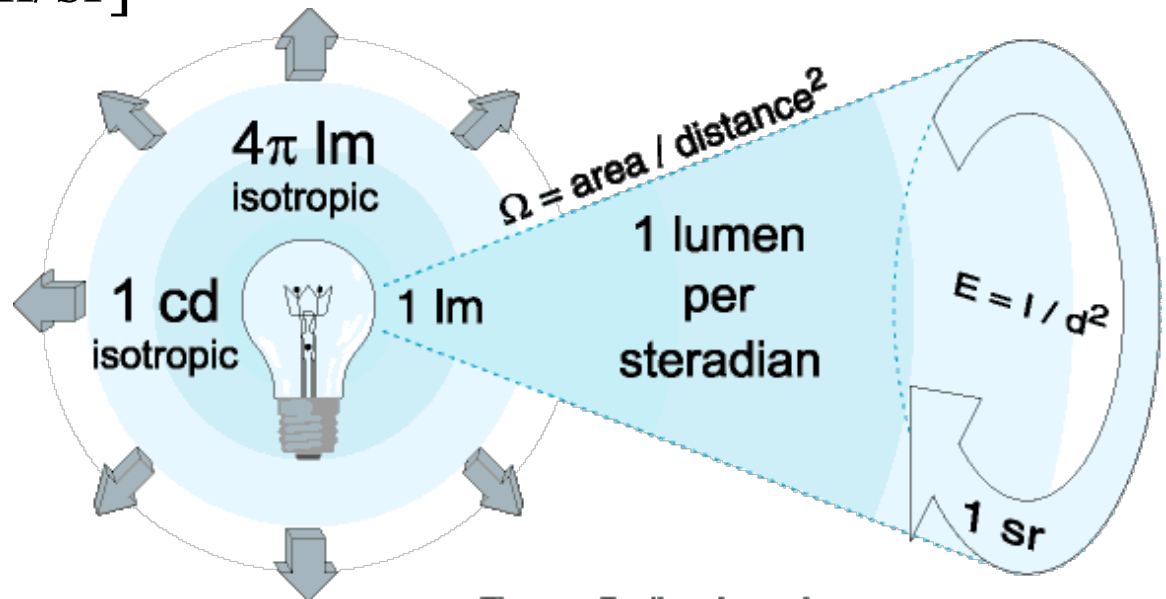
Rymdvinkel Ω



- En area på 1 m^2 av en sfär med radien 1 m motsvarar en steradian [sr]. Hela sfären $= 4\pi \text{ sr}$.
- Om avståndet r är 5 gånger större än diametern på arean A , kan man räkna med platt area.

Ljusstyrka, I

- Ljusflöde/rymdvinkel
- Mäts i $[\text{cd}] = [\text{lm}/\text{sr}]$



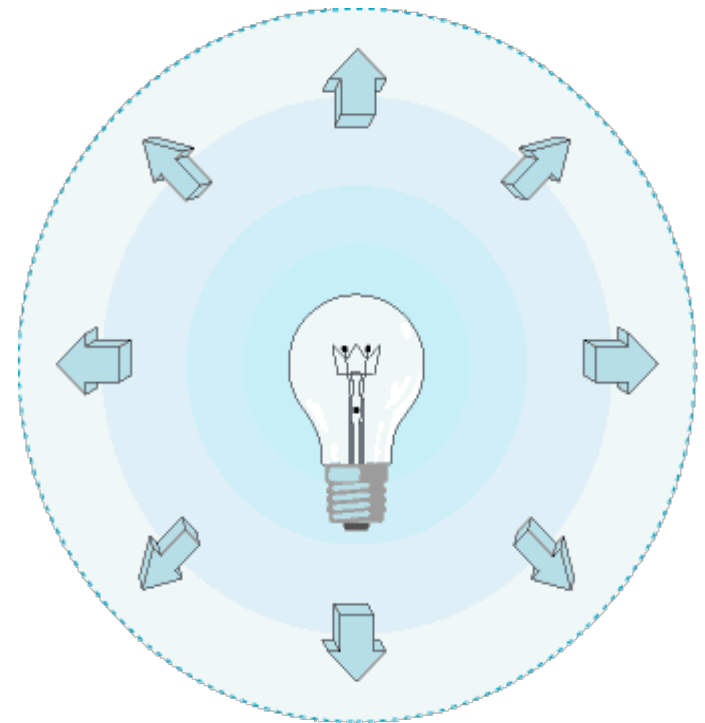
Ex stearinljus = 1 cd

Ex 60W glödlampa $\Rightarrow 50 \text{ cd}$

Laserpekare $10 \text{ mW} \Rightarrow 12\,000\,000 \text{ cd}$

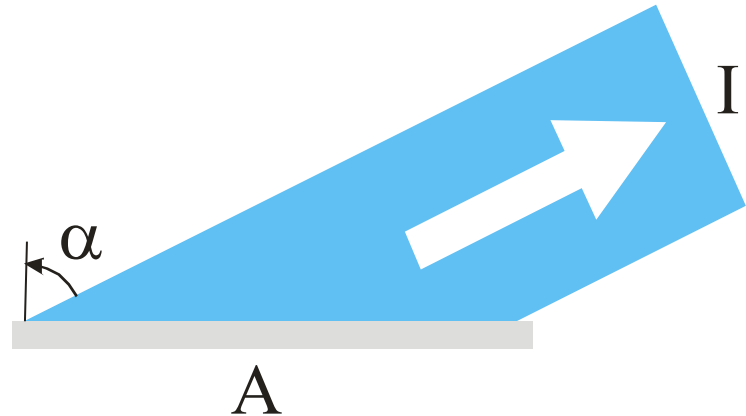
Isotrop källa

- För en isotrop källa är ljusstyrkan oberoende av riktning.
- $I = \Phi/4\pi$
(Glödlampan är nästan isotrop. Lysrör, dioder, ficklampor mm. är inte isotropa källor)



Luminans, L

- Ljusstyrka/projicerad källyta.
(Projicerad yta är den yta källan ser ut att ha från en viss riktning. **En sfärisk yta har alltså en projicerad yta motsvarande en cirkelskiva**)
- **$L = I/(A \cdot \cos \alpha)$**
- Mäts i $[\text{cd}/\text{m}^2]$
- Bestämmer hur ljus en yta ser ut.

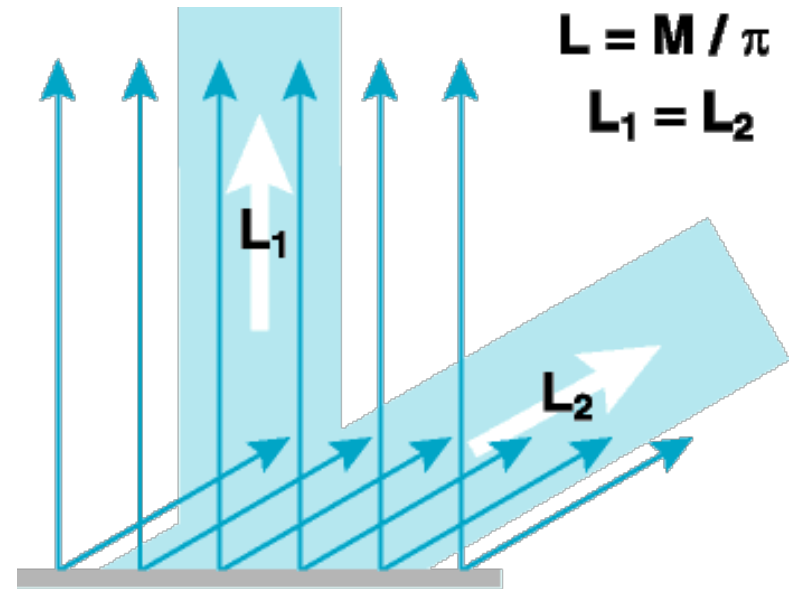


Ex 60W glödlampa $\Rightarrow 100\,000\text{ cd}/\text{m}^2$

Laserpekare 10 mW $\Rightarrow 4\,000\,000\,000\,000\text{ cd}/\text{m}^2$

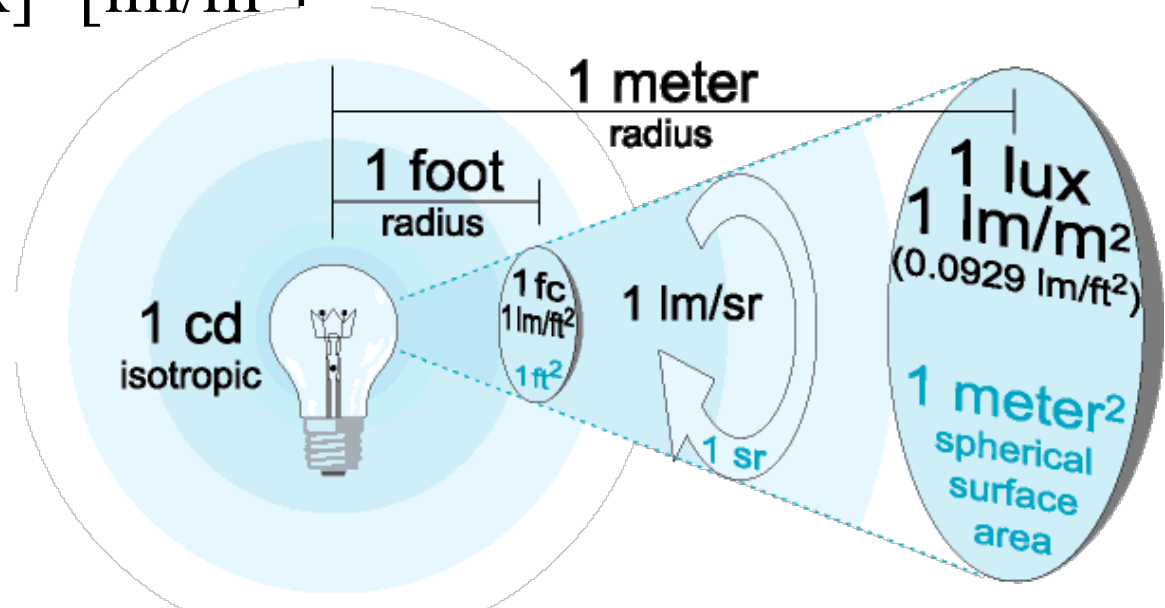
Diffus/matt källa (Lambertkälla)

- För en lambertkälla är luminansen oberoende av riktning.
- $L = M / \pi$
(Vitt papper, snö, ”tjock-TV”, matt vägg är exempel på lambertkällor)



Belysning, E

- Ljusflöde/ytenhet som träffar en belyst yta.
- Mäts i $[\text{lux}] = [\text{lm}/\text{m}^2]$



Punktkälla

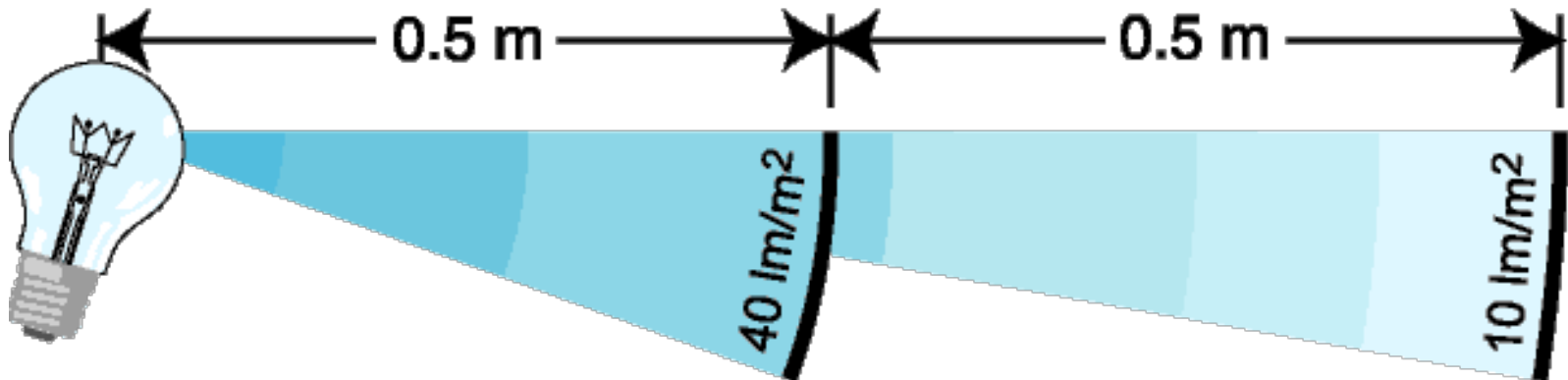
- Om avståndet till ljuskällan är större än 5 gånger ljuskällans diameter, kan den betraktas som en punkt.

(Ett en meter långt lysrör kan betraktas som en punktkälla på 5 m avstånd)

Belysning från punktkälla

- Belysningen från en punktkälla ges av $E = I/d^2$, där d är avståndet till belyst yta.

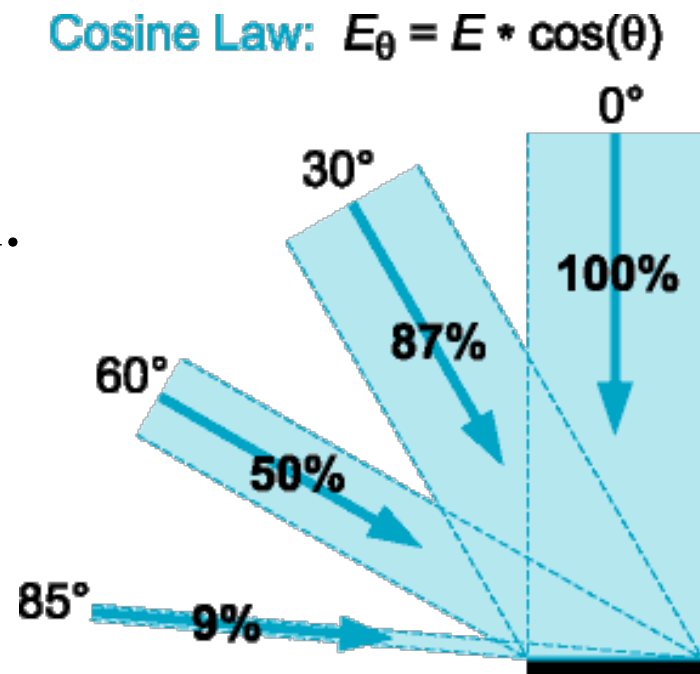
Inverse Square Law: $E = I / d^2$ (for $d > 5$ times the source diameter)



Belysning och infallsvinkel

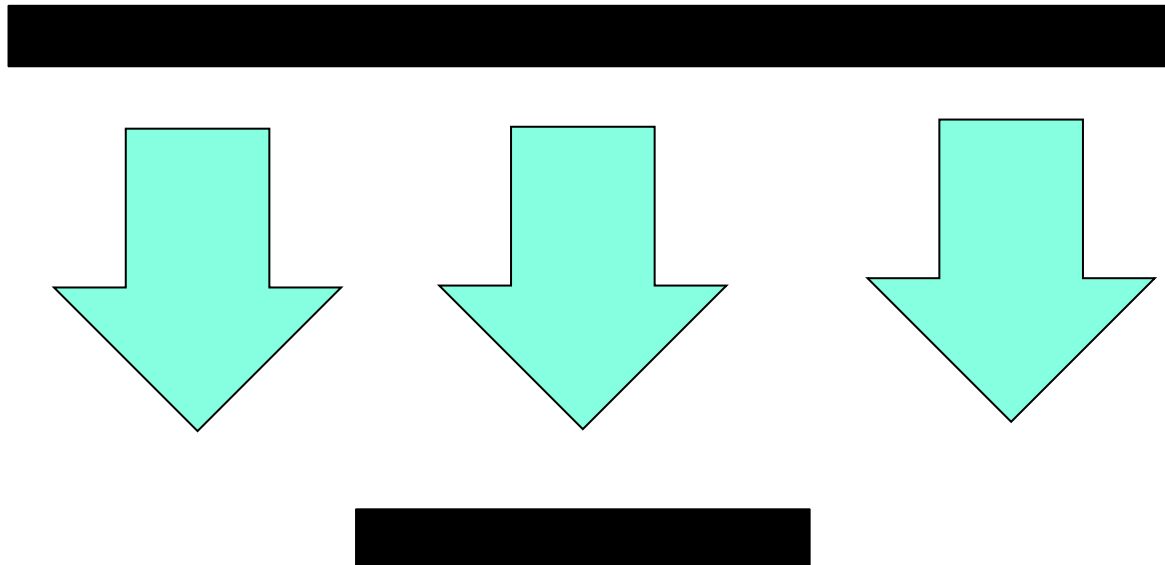
- Belysningen minskar med infallsvinkeln på ljuset:

$E = E_{\perp} \cdot \cos(\theta)$,
där θ är infallsvinkeln.



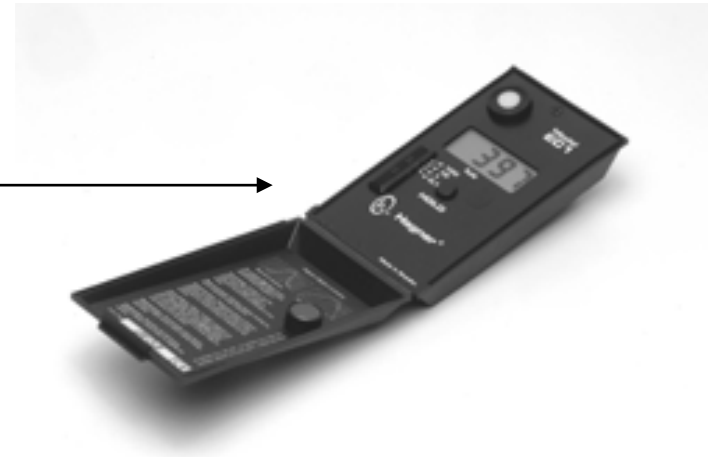
Belysning från stor utbredd källa

- Belysningen en bit från en stor, jämnt lysande källa är densamma som källans ljusemissionsförmåga



Fotometrar

- Luxmätare
- Luminansmätare
- "Screenmaster"



Ljusets reflektion

- Blank yta => spekulär reflektion.
- Matt yta => diffus reflektion
- I verkliga ytor får man ett mellanting.
- Andel som reflekteras kallas reflektans R (%)



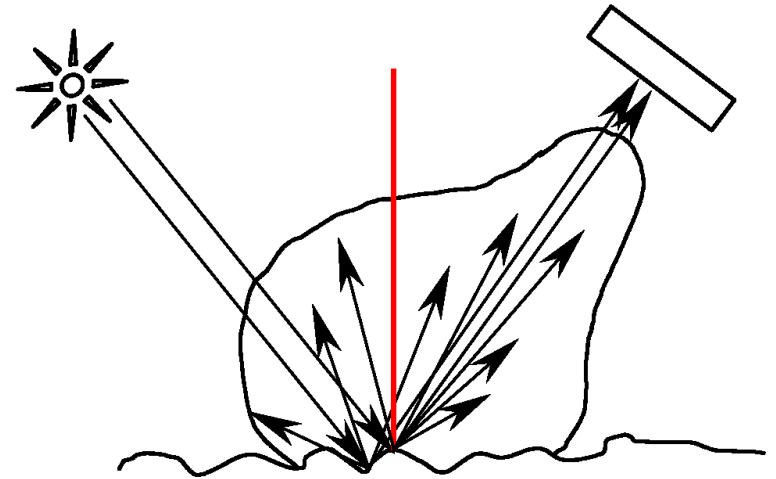
(Ju större infallsvinkeln är, desto mer spekulär reflex)

Glans

- Mäts med glansmätare
- Anges i glansenheter [GU]
0 – 100.

Glans 0 motsvarar helt
matt yta

Glans 100 motsvarar
polerad svart glasyta.

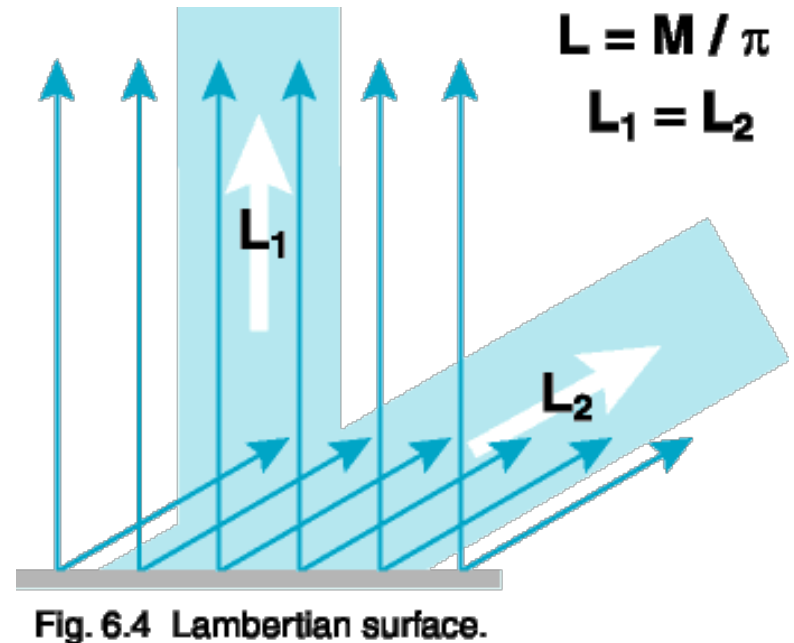


Glanslikare



Luminansen hos en belyst yta

- För en perfekt matt yta är luminansen oberoende av riktningen. (Ytan ser lika ljus ut från alla håll).
- Luminansen blir



$$L = \frac{\text{Belysningen} \cdot \text{Reflektansen}}{\pi} = \frac{\text{Ljusemissionsförmågan}}{\pi}$$

Luminansen hos en belyst yta

- Vid spekulär reflektion får man en bild av ljuskällan.
- Luminansen i bilden av ljuskällan blir:

$$L = L_{\text{ljuskälla}} \cdot \text{Reflektansen}$$

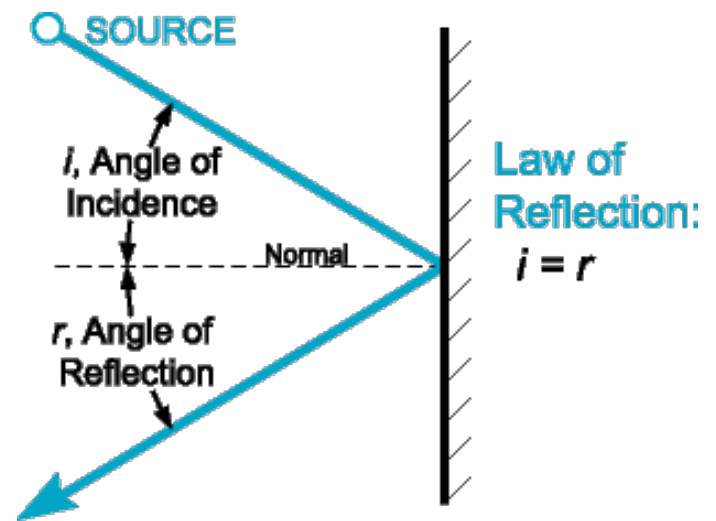


Fig. 3.1 Law of reflection.

Exempel

Glödlampa, 60W, 600 lm, 100,000 cd/m² belyser yta på avståndet 0.5 m i 45° infallsvinkel. Belysningen mot ytan blir då 130 lux.

1. Vit, matt yta med reflektans 80% får luminansen 34 cd/m².
2. Svart, blank yta med spekulär reflektans 10% ger en reflex med luminansen 10,000 cd/m²!

Bländning!

Ljuskällor

Svartkroppsstrålare

- Om man värmer upp en svart kropp så börjar den avge elektromagnetisk strålning.
- Ju varmare kroppen är desto mer förskjuts strålningen mot kortare våglängder.

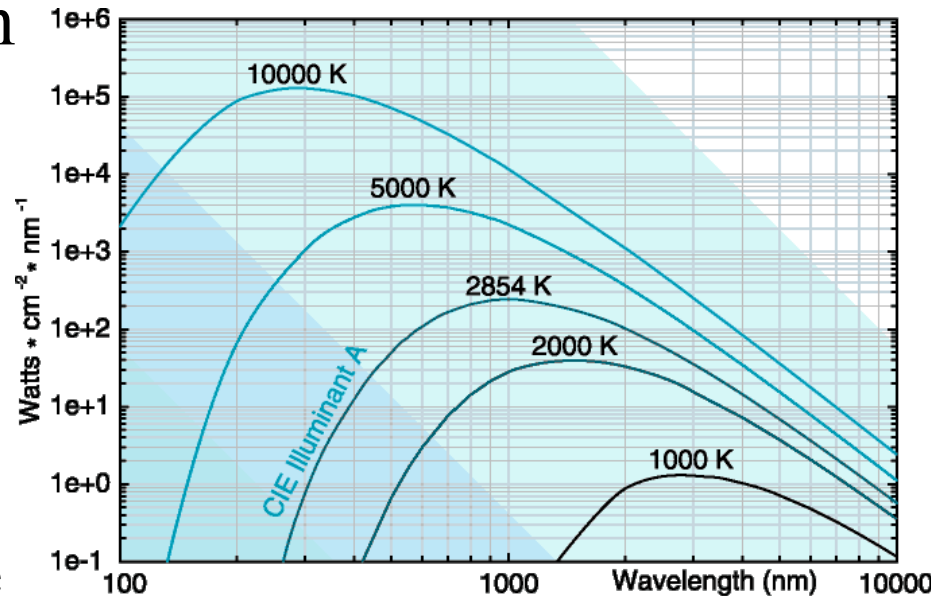


Fig. 5.1 Blackbody radiation at several color temperatures.

Den lyser!

Svartkroppsstrålare

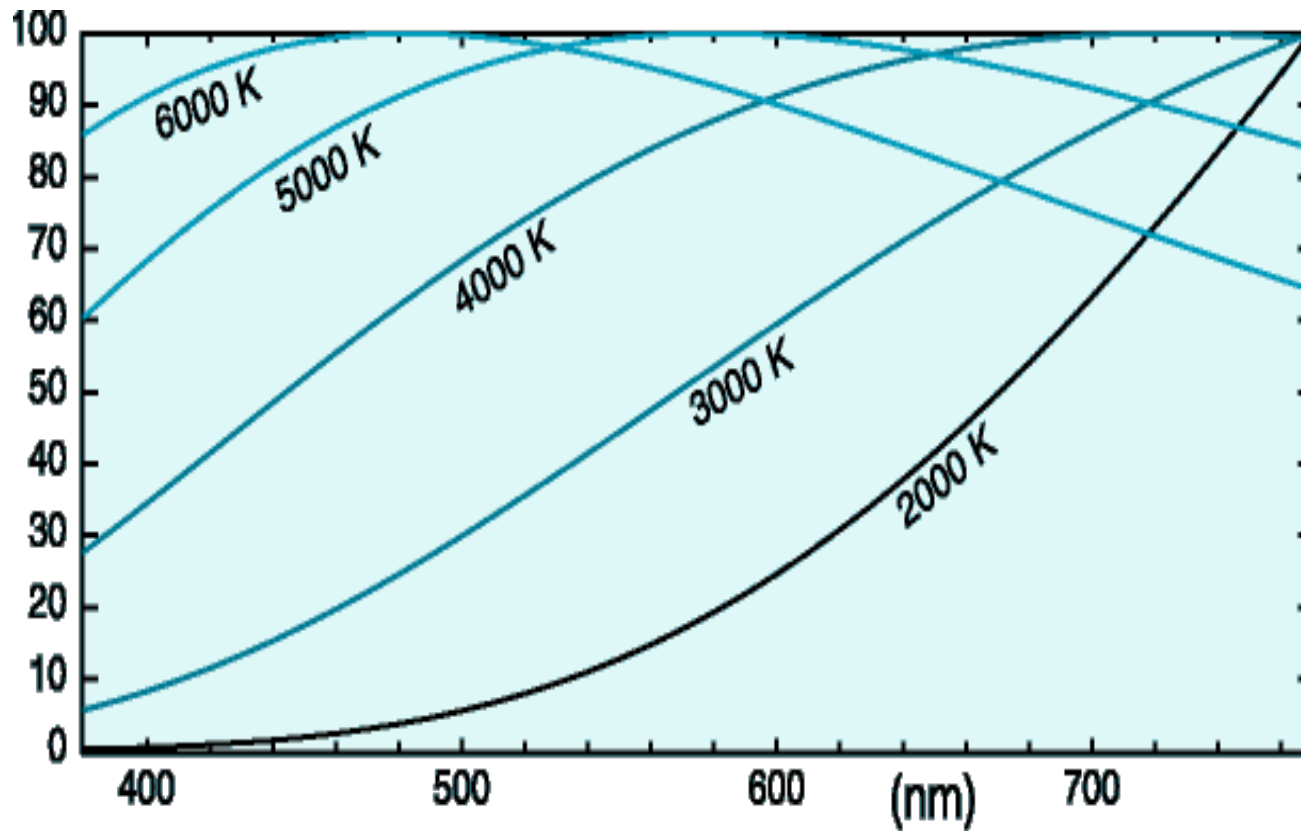


Fig. 5.2 Blackbody radiation plotted on a linear scale in the visible.

Korrelerad färgtemperatur CCT

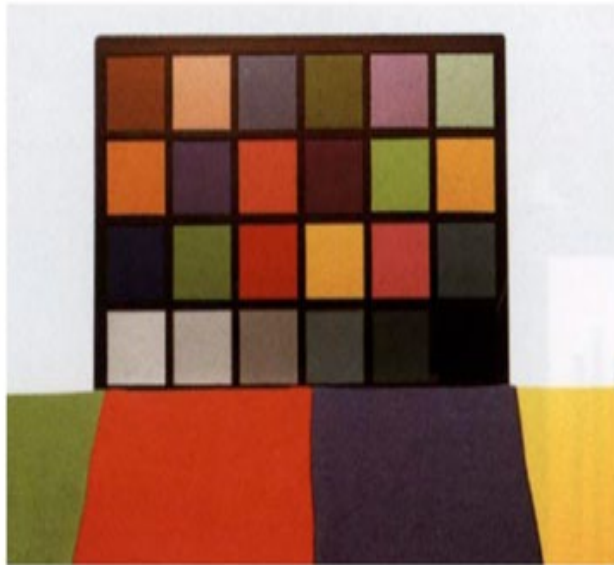
- Med färgtemperaturen på en ljuskälla menas temperaturen på den svartkroppsstrålare vars färg mest liknar den aktuella ljuskällans.
- Anges i grader Kelvin [K]. Ex. 6000 K (dagsljus).

(OBS ljuskällor med låg färgtemperatur upplevs ge ett varmt ljus, medan hög färgtemperatur upplevs ge ett kallt ljus.)

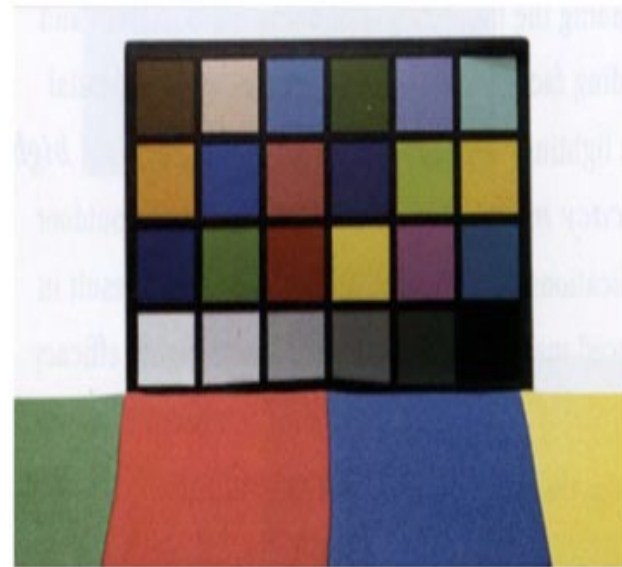
Färgåtergivningningsindex Ra

- Ljuskällans förmåga att återge färger på ett ”naturligt” sätt anges med färgåtergivningningsindex Ra.
- Man jämför 8 färgprover dels belysta med ljuskällan och dels med en svartkroppsstrålare med samma färgtemperatur.
- $Ra = 0$ betyder ingen färgåtergivning.
- $Ra = 100$ betyder att proverna ser lika ut.

Färgåtergivningningsindex



CRI 85



CRI 70

$R_a > 80$ rekommenderas där god färgåtergivning krävs

Färgåtergivningsindex

Colour rendering group	CIE colour rendering index (R_a)	Typical application	Examples of lamps
1 A	$R_a \geq 90$	Accurate colour matching required, e.g. colour printing inspection	Artificial daylight
1 B	$80 \leq R_a < 90$	Accurate colour judgements are necessary or good colour rendering is required for reasons of appearance, e.g. shops	Kolor-Rite 38
2	$60 \leq R_a < 80$	Moderate colour rendering is required	Warm white
3	$40 \leq R_a < 60$	Colour rendering is of little significance, but marked distortion is unacceptable	Colour 35
4	$20 \leq R_a < 40$	Colour rendering of no importance	

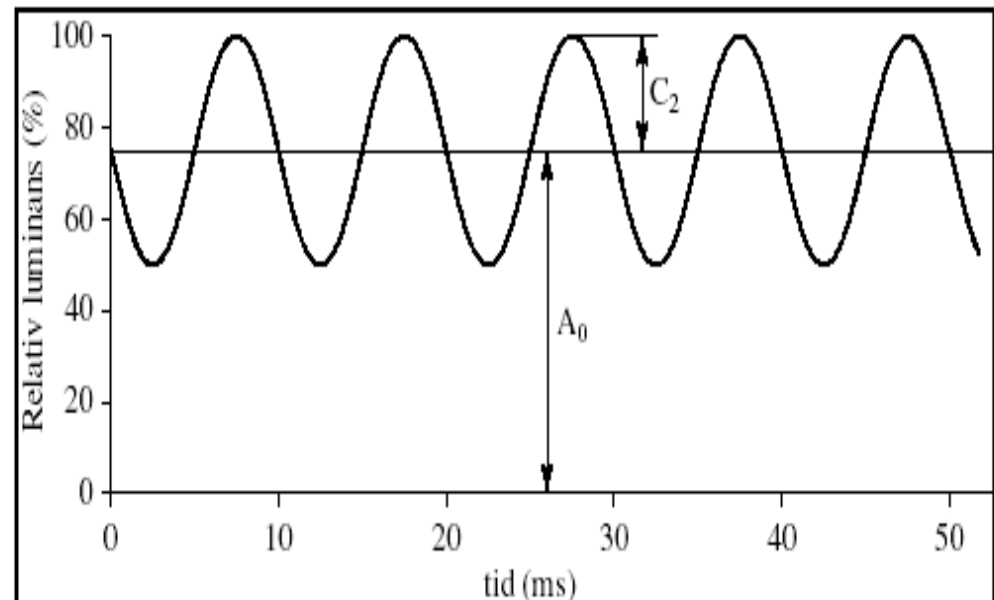
Ljusutbyte

- Mängden ljus man får ut ur lampan för varje watt elektrisk effekt den konsumerar.
- Mäts i lumen/watt [lm/W]

Ex. 60 W glödlampa ger ca 800 lm. Alltså är ljusutbytet ca 13 lm/W .

Ljusmodulation

- Luminansen varierar i tiden.
- 100 Hz vanligast.
- Mäts i procent
- Ger upphov till flimmer
- Stroboskopeffekt
- Bildskärm + lampa

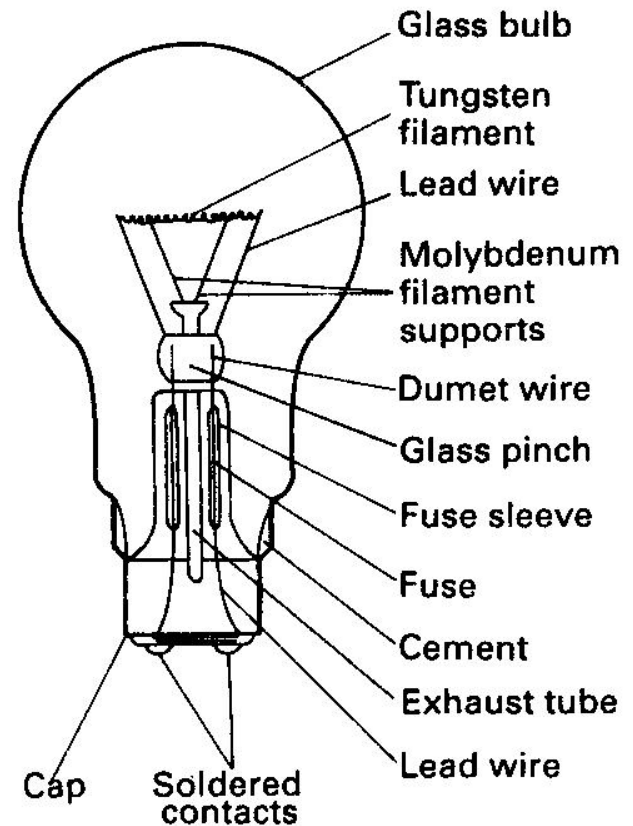


Ex glödlampa 10-20 %

Lysrör 30-40 %

Glödlampa

- Glödande wolframtråd
- Temperatur 2500 K
- $R_a = 100$
- Ljusutbyte 10-15 lm/W
- Lågt flimmer
- Livstid 1000 h



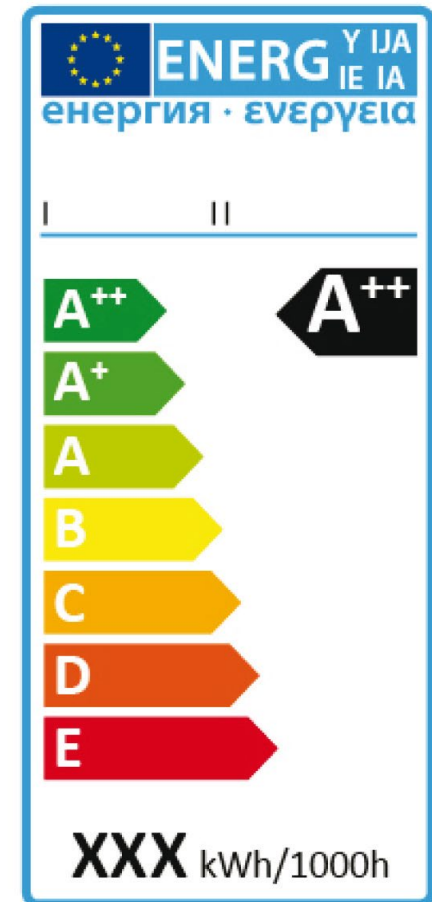
Utfasning av glödlampor

1 september 2009	Förbud mot alla matta glödlampor
1 september 2009	Förbud mot klara glödlampor på 100 W och däröver
1 september 2010	Förbud mot klara 75 W glödlampor
1 september 2011	Förbud mot klara 60 W glödlampor
1 september 2012	Förbud mot klara 40 och 25 och 15 W glödlampor
1 september 2013	Skärpta krav på prestanda på lågenergilampor och LED lampor
1 september 2016	Skärpta krav på halogenlampor och alla lampor > 60 lm

Energimärkning av ljuskällor

Energieffektivitetsklass	Energieffektivitetsindex (EEI) för oriktade lampor
A++ (effektivast)	$EEI \leq 0,11$
A+	$0,11 < EEI \leq 0,17$
A	$0,17 < EEI \leq 0,24$
B	$0,24 < EEI \leq 0,60$
C	$0,60 < EEI \leq 0,80$
D	$0,80 < EEI \leq 0,95$
E (minst effektiv)	$EEI > 0,95$

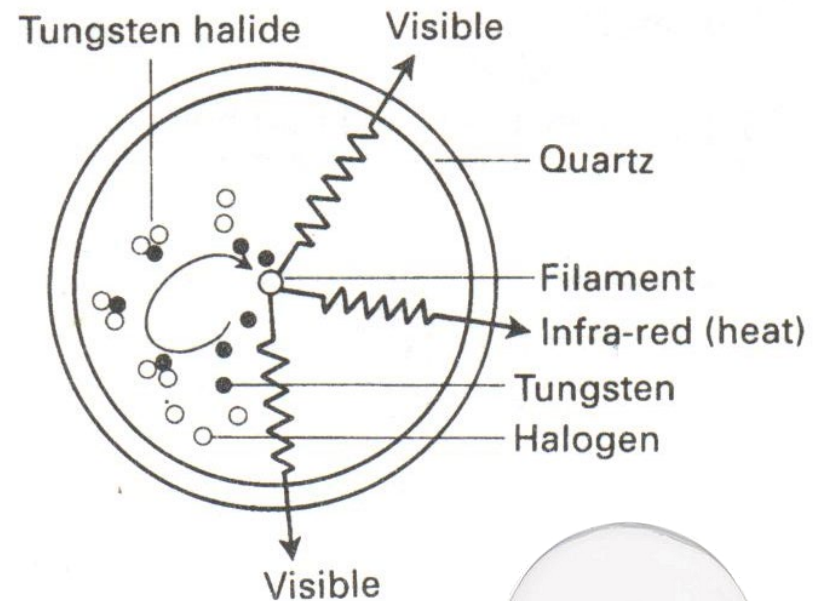
EEI 1,0 motsvarar ungefär glödlampa
(11-14 lumen/watt)



Halogenlampa

- Glödande wolframtråd
- Temperatur 3000 K
- Ra = 100
- Ljusutbyte 15-25 lm/W
- Lågt flimmer
- Livstid 2000 - 5000 h

Halogener = fluor, klor,
brom, jod och astat

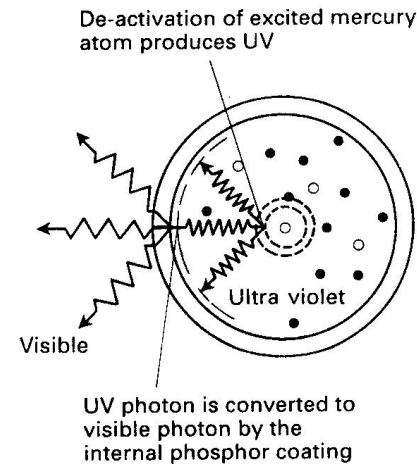
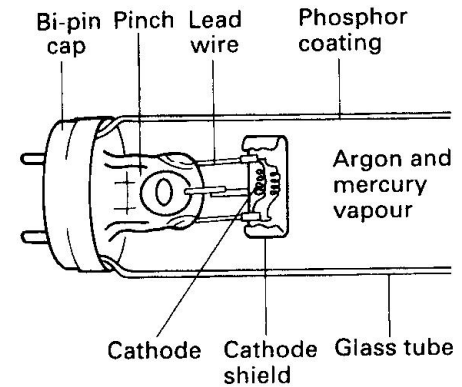


Gasurladdningslampor

- Ström av elektroner genom en gas (kvicksilver eller natrium) ger ljus.
- Lågt tryck ger vissa bestämda våglängder (spektrallinjer).
- Högt tryck ger bredare spektralfördelning
- Kräver driftdon för att ge lampan rätt spänning och ström

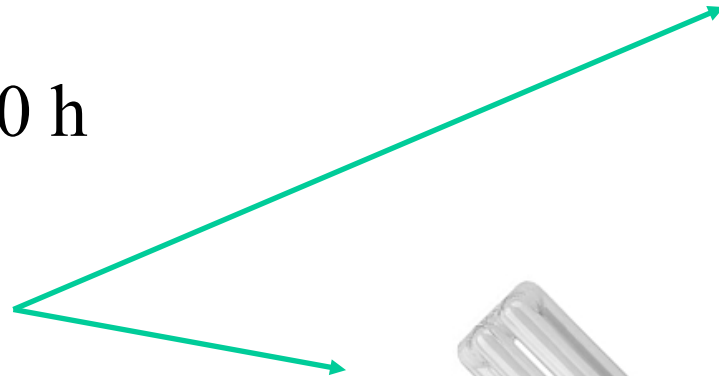
Lysrörslampor

- Kvicksilver lågt tryck ger UV 254 nm och synliga linjer.
- Fosforskikt ger ljus av UV
- CCT 2700 – 6500 K
- Ra = (40) - 90
- Ljusutbyte 20 - 100 lm/W (inklusive driftdon)



Lysrörslampor

- Kan ge 50 Hz flimmer
- Flimmer kan minskas med elektroniska driftdon med 30 – 40 KHz.
- Livstid upp till 20 000 h
- Kompaktlysrör med inbyggda driftdon (lågenergilampor)
- Mindre ljus vid lägre omgivningstemperatur



Märkning av lysrör

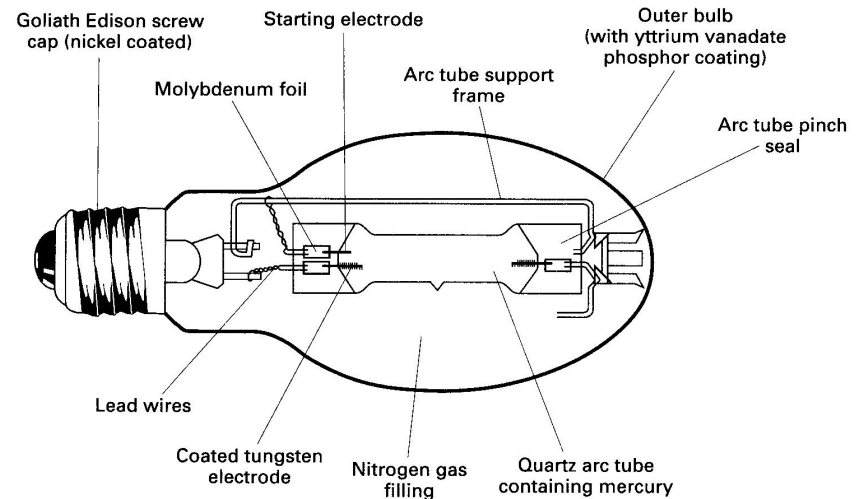
Ex. 827

8 betyder Ra mellan 80 och 90

27 betyder färgtemperatur på 2700 K

Kvicksilverlampor

- Kvicksilver högt tryck ger UV 365 nm och betydande andel synligt ljus.
- Fosforskikt ger ljus av UV
- CCT 3000 – 4000 K
- $R_a = 40 - 60$
- Ljusutbyte 20 - 60 lm/W (inklusive driftdon)
- Vägbelysning, industri
- Livstid upp till 16 000 h



100% flimmer

Förbjuden från 2015

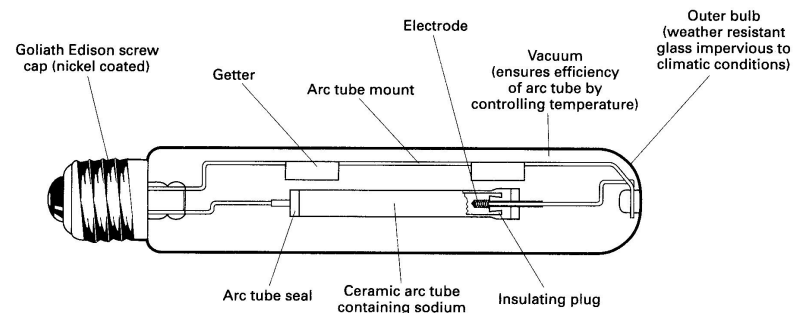
Metallhalogenlampor

- Kvicksilver högt tryck ger UV 365 nm och betydande andel synligt ljus.
 - Metallhalider ger högre ljusutbyte och Ra (Indium, thallium, tenn)
 - Fosforskikt ger ljus av UV
 - CCT 3000 – 6500 K
 - Ra = 45- 95
 - Ljusutbyte 45 - 95 lm/W (inklusive driftdon)
 - Fasadbelysning, sporthallar. Projektorer, butiker (med högt Ra)
- Livstid upp till 12 000 tim



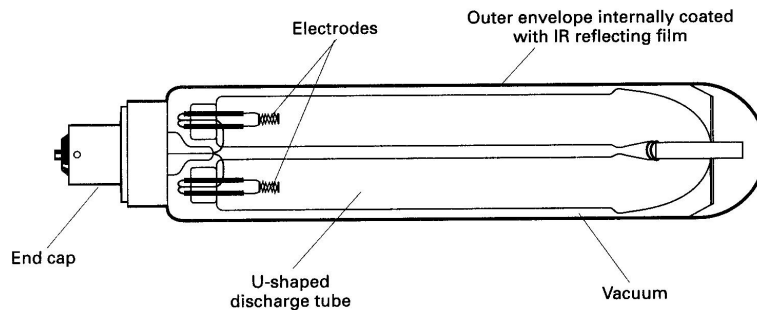
Högtrycksnatrium lampor

- Ger ljus runt 590 nm.
- CCT 2000 - 2200 K
- Ljusutbyte 65-150 lm/W
- $R_a = 20$, Dålig
- Vägbelysning i städer, flodljus, industriomr.

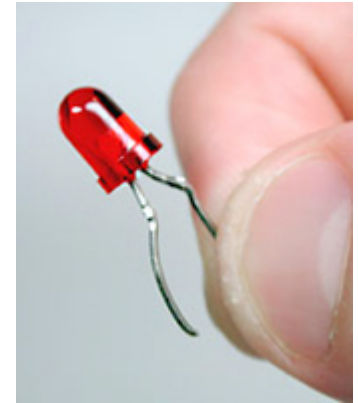


Lågtrycksnatrium lampor

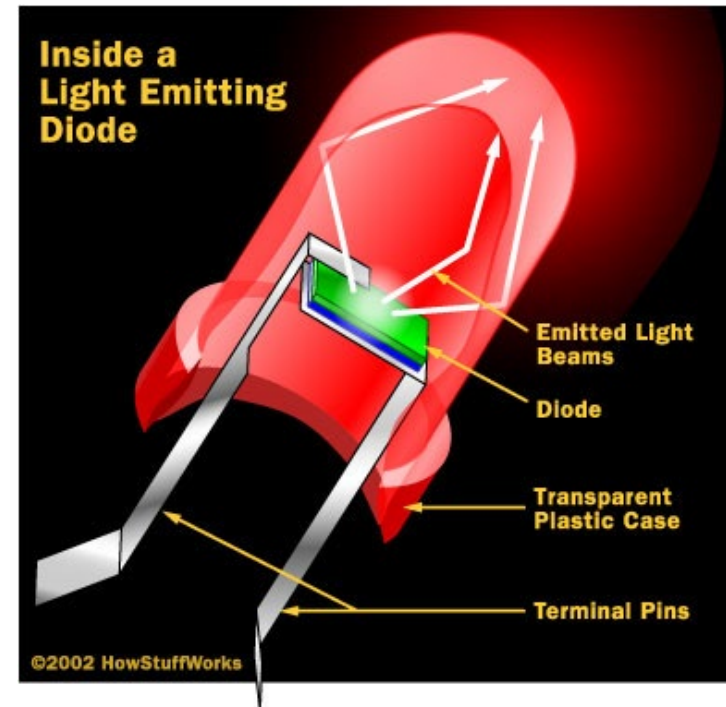
- Ger endast ljus vid 590 nm.
- Ljusutbyte 70-190 lm/W
- Ra = ?
- Motorvägsbelysning
- Livstid 18000 h



Lysdioder (LED)



- Halvledarmaterial, ljus genom rekombination av elektron-hålpär
- Normalt enfärgade.
- Trafikljus, ficklampor, reklamskyltar, BELYSNING



LED-lampor

- Formade som lysrör, glödlampor, mm.
- Blå + fosforskikt
(Blå+grön+röd=vit eller UV + fosforskikt)
- Ljusutbyte upp till 130 lm/W
(inklusive driftdon)
- Ra = 70 - 90 (vita)
- Hembelysning, gatubelysning, kontorsbelysning – allt!
- Livstid upp till 50 000 h
(beror på kylningen)



LED lamp (2700 K)

