

Fotometri 1

Mätning av ljus sker ofta med hjälp av ett system av storheter som är SI-anslutet men som inte bygger på de "vanliga" storheterna (meter, kilo, sekund och ampere). Utgångspunkten är egentligen strålningseffekt, dvs någonting man mäter i Watt (energi/tid). Denna storhet kallas strålningsflöde.

För att komma från denna till motsvarande fotometriska enhet multiplicerar man uppmätt effekt vid varje våglängd med en viktningsfaktor som är proportionell mot normalögats känslighet för denna våglängd, dvs IR och UV-strålning kommer att få vikten noll och grön strålning kommer att få högst vikt.

Flöde

Den storhet vi börjar med är den som motsvarar strålningsflöde och följaktligen kallas ljusflöde (luminous flux)

(1) Φ_v = totalt viktat strålningsflöde

Denna beskriver hur mycket ljus

- En källa avger totalt
- Som totalt träffar en detektor, en fotografisk film, en kameras inträdespupill etc
- Som transporteras genom ett optiskt system

Däremot innehåller den ingen information om hur utspritt flödet blir på en mottagaryta, från hur stor källa det kommer eller i vilka vinklar det sprids.

Ljusflöde från en lampa dividerat med den elektriska effekt som denna matas med brukar kallas ljusutbyte och mäts i lumen/W

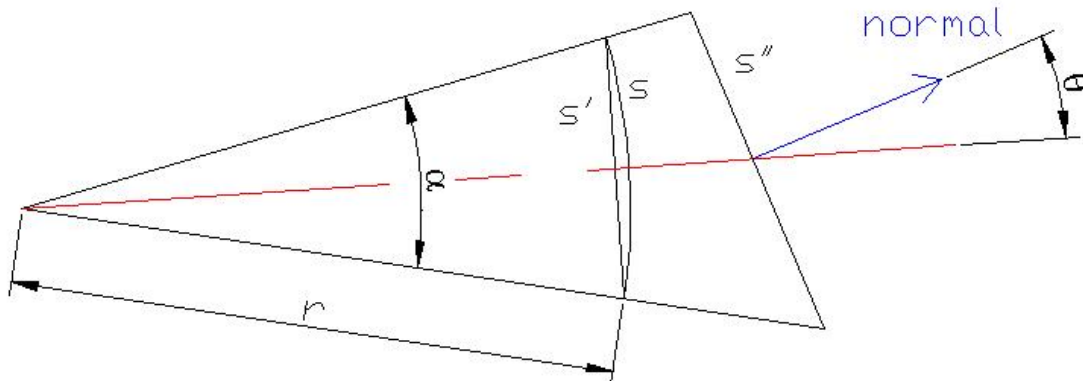
För en konventionell glödlampa ligger denna på 10 eller strax däröver, för en lågenergilampa på drygt 50 och energisnåla gatlyktor på drygt 100. Det som inte blir till synligt ljus blir i allmänhet värme eller värmestrålning.

Flödet är vidare vad man brukar kalla en bevarad storhet dvs i avsaknad av förluster kommer det flöde man stoppar in i ena änden på ett system detsamma som kommer ut i andra änden.

För att beskriva nästa storhet behövs begreppet rymdvinkel. Om du redan är bekant med detta kan du hoppa till Ljusstyrka.

Rymdvinkel

Vanlig (plan) vinkel definieras genom att man mellan vinkelbenen drar en kurvbåge med krökningscentrum i vinkelspetsen



Denna får då längden s och den plana vinkeln α (mätt i radianer) fås då som $\alpha = s/r$.

Detta är definitionen och inte någon approximation till små vinklar e.d. Exempelvis fås för en rät vinkel att kurvbågen är en fjärdedels omkrets dvs

$$(2) \quad s = \frac{2\pi r}{4} \Rightarrow \alpha = \frac{s}{r} = \frac{\pi}{2} \text{ vilket ju känns välbekant.}$$

Om vinkeln är måttlig är s' , dvs den raka linjen en god approximation till s

Om man däremot ska beräkna den vinkel ett tiltat föremål med längden s har måste man multiplicera med $\cos$ för tiltvinkeln

På motsvarande sätt vill man sedan definiera en vinkel med utsträckning i två dimensioner. Den intuitiva innebörden av detta är inte lika uppenbar, men även i detta fall definieras den genom att dela ett mått på objektets storlek med en funktion av avståndet.

Av skäl som kommer att bli uppenbara har man valt att dela ytan av den del av en sfär som är instängd mellan vinkelbenen (som då blir många och kallas generatriser) med denna sfärs radie i kvadrat.

Vi definierar alltså rymdvinkeln mätt i steradianer som

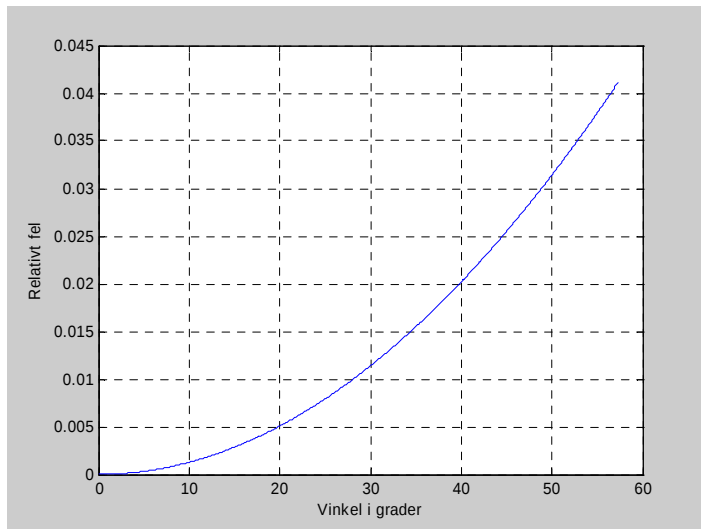
$$(3) \quad \Omega = \frac{S}{r^2}$$

Även denna kan för måttliga vinklar (se ovan) approximeras med motsvarande plana yta S' .

En tiltad ytas rymdvinkel får genom att multiplicera med $\cos$ för tiltvinkeln.

Några intressanta specialfall är liten cirkulär yta och halvsfär

$$(4) \quad \Omega_{\text{halvsfär}} = \frac{2\pi r^2}{r^2} = 2\pi \text{ ster} \quad \Omega_{\text{liten cirkel}} = \frac{\pi(r\alpha)^2}{r^2} = \pi\alpha^2$$



Ljusstyrka

Ljusstyrkan är en källegenskap och beskriver hur flödet fördelas i olika riktningar.

Engelska beteckningen är Luminous Intensity vilket för en svensk är förvillande eftersom vi använder ordet intensitet för effekt per yta:

Enheten för ljusstyrka är 1cd (vilket är samma sak som 1 lumen/steradian) och är egentligen utgångspunkten för de fotometriska enheterna (men pedagogiskt blir det vansinnigt att ta den först)

Definition:

$$(5) \quad I_v = \frac{\Phi_v}{\Omega} = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$$

dvs ju mindre rymdvinkel ett givet flöde sprids i desto större blir ljusstyrkan i denna riktning.

Enheten 1cd motsvarade ursprungligen ett extremt väldefinierat stearinljus, och även om denna numera nyttas mot en mer allmänngiltig så är 1cd fortfarande en bra beskrivning av ett stearinljus.

En 60W –lampa med ljusutbyte 12 lumen/W får alltså ljusstyrkan 57cd

Och om den placeras i en strålkastare som sprider ljuset i en kon med halv toppvinkel 10° , så får man 7600cd.

Tänk efter om du förstod hur jag fick ovanstående resultat. Om det var oklart kanske rymdvinkelavsnittet ovan kan vara till hjälp

Belysning

Den storhet man oftast kommer i kontakt med är belysningen, som definieras som flöde per mottagaryta. Vi kommer i det fortsatta härledandet att kalla mottagarytor för S, S', S'' etc och källor för A, A', A'' etc.

Definitionen och en mycket praktisk följsats:

$$(6) \quad E_v \equiv \frac{d\Phi_v}{dS} = \frac{d\Phi_v}{d\Omega} \frac{d\Omega}{dS} = I_v \frac{\cos \theta}{r^2}$$

Den sista är oftast mycket mer användbar än definitionen.

Den leder exempelvis till att en belysningen under en gatlykta som avger 12000 lumen i en halvsfär, ger en ljusstyrka nedåt på ca 2000 cd och därmed en belysning som ges av

$$(7) \quad E_v = I_v \frac{\cos^3 \theta}{h^2}$$

Där h är stolpens höjd och θ är vinkeln ut till den belysta punkten. Man ser exempelvis att belysningen sjunker till hälften då $\cos^3 \theta = 1/2 \Rightarrow \theta = 37,5^\circ$

Ljusemissionsförmåga, Emittans

Är en storhet som används mindre ofta men behövs i beräkningar. Anger en ljuskällas utsända flöde per källa, men ingenting om vilka riktningar strålningen går i.

Definition:

$$(8) \quad M_v = \frac{\Phi_v}{A} = \frac{d\Phi_v}{dA}$$

Det sista ledet används då ytan är ojämnt ljusfördelad.

Storheten används när man beskriver ljusheten hos en backlight, men framför allt när man anger hur lyst synintryck en yta ger i en viss belysning.

Om en yta sprider en andel R_{diffus} (kallas diffus reflektans) kommer ju en yta som belyst med E att få en ljusemissionsförmåga

$$(9) \quad M_v = R_{\text{diffus}} E_v \quad R_{\text{diffus}} \in [0,1]$$

Värt att påpeka är också att emittansens radiometrisk motsvarighet är den som ingår i exvis Stephan Boltzmann's lag.

Luminans

Den sista av våra storheter är den mest användbara, men också den mest svårförklarade. I ord: Luminansen är ljusstyrkan i en viss riktning delat med den projicerade ytan i denna riktning.

Som vi ska se i avsnittet om fotometri i avbildande system är det luminansen hos ett föremål som avgör hur lyst detta ser ut.

Definition och två enkla följsatser

$$(10) \quad L_v = \frac{\Phi_v}{\Omega A} = \frac{I_v}{A} = \frac{M_v}{\Omega}$$

För en plan, idealt matt yta (=Lambertyta) avtar ljusstyrkan enligt

$$(11) \quad I_v(\theta) = I(\theta=0) \cos \theta$$

dvs ljusstyrkan hos en plan yta avtar vid sned betraktning, men det gör även den projicerade ytan vilket medför

$$(12) \quad L_v = \frac{I_0 \cos \theta}{A \cos \theta} = \frac{I_0}{A}$$

dvs den är oberoende av betraktningssvinkel.

"Tittar man på en belyst matt vägg från sidan så ser den lika ljus ut som om man tittar rakt framifrån"

Samband mellan luminans och belysning

Hur stort blir nu I_0 uttryckt i inkommande flöde?

$$(13) \quad \Phi_v = \int\int_{\text{halvsfär}} I_0 \cos \theta d\Omega = \int\int_{\text{halvsfär}} I_0 \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi = I_0 \pi$$

Förståelse av denna vackra integral är inte nödvändig för att acceptera följande stats som däremot är viktig.

om detta samband delas med π och källyta fås

$$(14) \quad L_v = \frac{\Phi_v}{\pi A} = \frac{M_v}{\pi} = R_{\text{diffus}} \frac{E_v}{\pi}$$

Detta är ett mycket kraftfullt samband med vilket t ex synintrycket från en duk belyst av en projektor kan beräknas.