

مهندسی روشنایی

فصل دوم – تعاریف و کمیت های روشنایی

دکتر علیرضا عباسی



تعاریف و کمیت های روشنایی



جریان نور (شار نورانی) : (Luminous flux)

مجموع کل امواج نورانی که در یک ثانیه از منبع نوری خارج می شود را جریان نور می گویند.

با Φ نشان می دهند و واحد آن لومن (Lumen) است، که با Lm نشان داده می شود.

تعریف لومن:

یک لومن برابر است با انرژی نورانی معادل $\frac{1}{680}$ انرژی الکتریکی که طول موجی با حداکثر حساسیت را بوجود آورد.

$$1Lm = \frac{1}{680} W$$

شدت نور (Luminous Intensity)

جهت بررسی چگونگی پخش نور در زوایای مختلف احتیاج به تعریف زاویه فضایی داریم.

تعریف زاویه فضایی: زاویه ای است که توسط شعاع های کره با سطح آن ساخته می شود.

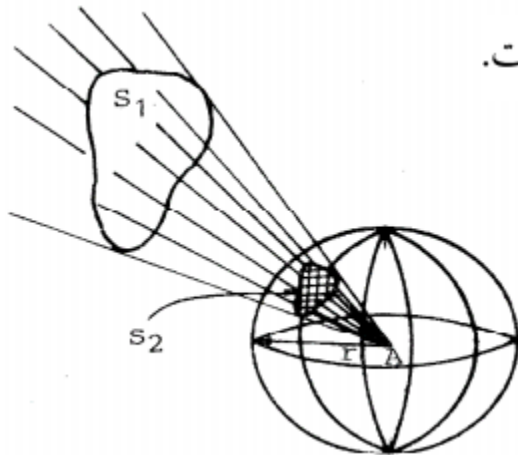
اندازه زاویه فضایی برابر نسبت سطح به مجذور شعاع یا مجذور فاصله سطح از مرکز کره است.

واحد زاویه فضایی استرادیان می باشد.

$$\Omega = \frac{S}{r^2}$$

تعریف استرادیان: برابر زاویه فضایی است که در سطح کره به شعاع یک متر، یک سطح یک متر مربع جدا

می سازد. و آن را با St نشان می دهیم.



نکته ۱: زاویه فضایی هر کره برابر 4π استرادیان می باشد. (سطح جانبی کره $S = 4\pi r^2$)

نکته ۲: زاویه فضایی یک مخروط با زاویه راس α را اگر محاسبه کنیم، خواهیم داشت: $\Omega = \frac{S}{r^2} = 4\pi \sin^2 \frac{\alpha}{2}$

شدت نور، عبارت است از مقدار نوری که در یک جهت یا زاویه مشخص وجود دارد.

با حرف I نشان داده می شود. و با واحد جدیدی به نام کاندیلا مورد قبول واقع شد (cd)

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad \left(\frac{lm}{st} \text{ یا } cd \right)$$

تعریف کاندیلا: هر گاه در زاویه فضایی واحد (یک استرادیان) جریان نوری برابر یک لومن داشته

باشیم، شدت نور منبع یک شمع (کاندیلا) می باشد.

بهره نوری و بهره الکتریکی لامپ:

یک لامپ با دو انرژی سر و کار دارد:

(۱) انرژی مصرفی، انرژی الکتریکی بر حسب وات است و با P نشان می دهیم.

(۲) انرژی تولیدی (خروجی) که به آن انرژی نورانی می گویند و با Φ نشان دهند.

با توجه به این که در لامپ های الکتریکی از توان ورودی، مقدار قابل ملاحظه ای به حرارت و مقداری نیز

به تشعشع الکترومغناطیسی تبدیل می شود و تنها بخش کوچکی از طیف الکترومغناطیسی مربوط به

نور مرئی می باشد، لذا دو نوع بهره نوری و الکتریکی داریم.



تعریف بهره نوری :

نسبت شار نورانی به توان ورودی لامپ را بهره نوری می نامیم و بر حسب لومن بر وات اندازه گیری می کنیم.

$$\eta_l = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{Lm}{W} \right]$$

تعریف بهره الکتریکی:

نسبت توان نوری خروجی بر حسب وات بر توان ورودی الکتریکی بر حسب وات تعریف می کنیم.
ارزش تبدیل را ۶۸۰ لومن بروات منظور میکنیم:

$$\text{بهره الکتریکی} = \frac{\text{انرژی نورانی معادل انرژی الکتریکی}}{\text{انرژی الکتریکی}} \times 100$$

$$\eta_e = \frac{\phi/680}{w} \times 100$$

شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی Illuminance

شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی یک سطح ، میزان توان نورانی تابیده بر واحد سطح را نشان می دهد
و با حرف E مشخص می شود و واحد آن لومن بر متر مربع یا لوکس Lux است. واحد دیگر آن ft-cd است.

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

درخشندگی، یا تهاکه نور (Luminance Brightness)

نسبت شدت نور ساطع شده از منبع در یک جهت به مؤلفه سطح منبع نورانی در آن جهت می باشد. واحد

درخشندگی کاندیلا بر متر مربع $\frac{cd}{m^2}$ است. که به نیت (NIT) هم معروف است. واحد دیگر درخشندگی

استیلب است که برابر یک کاندیلا بر سانتی متر مربع $\frac{cd}{cm^2}$ می باشد.

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

$$1 \text{ استیلب} = \frac{1 \text{ کاندیلا}}{cm^2}, \quad 1st = 10^4 Nit, \quad 1Nit = \frac{1 \text{ کاندیلا}}{m^2}$$

نکته: درخشندگی مناسب برای چشم انسان از ۶۵ تا ۶۵۰۰ نیت است.

اگر میزان درخشندگی بیش از حد باشد باعث چشم زدگی و

مشکل در دیدن جسم خواهد بود.



قانون لامبرت:

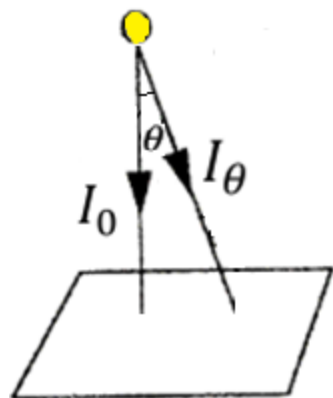
منابعی که دارای درخشندگی یکسان در همه ی جهات هستند مطابق این قانون عمل می کنند و

$$I(\theta) = I_0 \cos \theta$$

منابع با تشعشع پخش شده نامیده می شوند.

I_0 = شدت نور در جهت عمود بر سطح

I_θ = شدت نور در زاویه ی θ



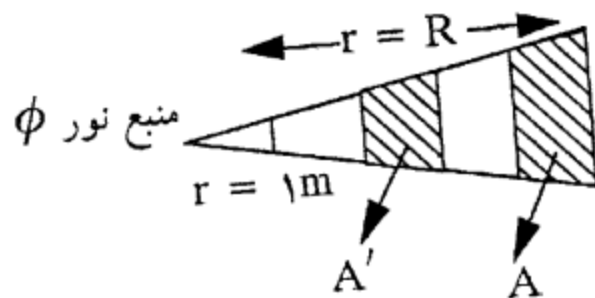
قوانین روشنایی

قانون فاصله

در صورتیکه سطح A به فاصله R و سطح A' به فاصله یک متر از منبع نور در نظر گرفته شود:

$$\Omega = \frac{A}{R^2} = \frac{A'}{r^2} \rightarrow A = \Omega R^2$$

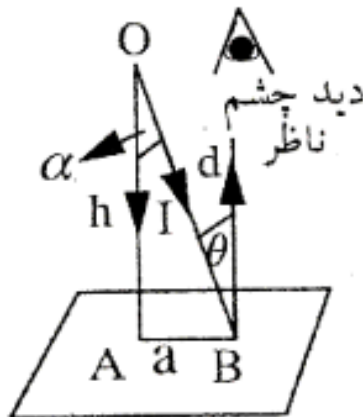
$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{\Phi}{\Omega R^2} = \frac{\frac{\Phi}{\Omega}}{R^2} = \frac{I}{R^2} \longrightarrow \boxed{E = \frac{I}{R^2}}$$



مشاهده می شود شدت روشنایی با مجذور فاصله نسبت معکوس دارد.

قانون کسینوس ها

(الف) تابش نور به صفحات افقی

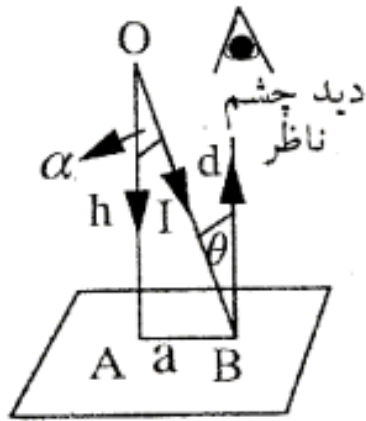


اگر نور تحت زاویه تابش مثلا α بتابد ، در این صورت در نقطه B

شدت نور منعکس شده بر چشم ناظر برابر است با : $I_B = I_\alpha \cos \theta$

و با توجه به اینکه زاویه تابش برابر زاویه انعکاس است یعنی $\alpha = \theta$

تابش نور به صفحات افقی



لذا داریم: $I_B = I_\alpha \cos \alpha$ و شدت روشنایی در نقطه B برابر است با:

$$E_B = \frac{I_B}{OB^2} = \frac{I_\alpha \cos \alpha}{d^2}$$

$$E = \frac{I}{R^2}$$

و چون $\cos \alpha = \frac{h}{d}$ پس خواهیم داشت:

$$\cos \alpha = \frac{h}{d} = \frac{h}{\sqrt{h^2 + a^2}} \quad (d = \sqrt{h^2 + a^2})$$

نهایتاً داریم:

$$E_B = \frac{I_\alpha \cos \alpha}{d^2}$$

$$\xrightarrow{d = \frac{h}{\cos \alpha}}$$

$$E_B = \frac{I_\alpha}{h^2} \times \cos^3 \alpha$$

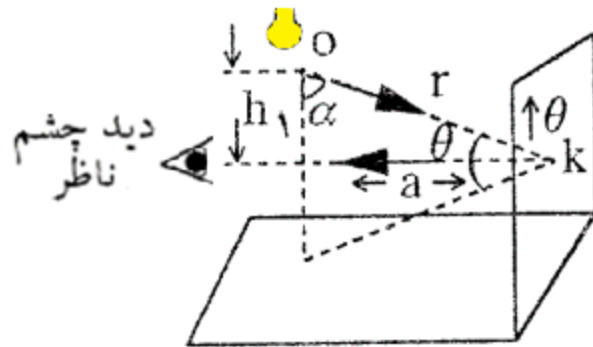
$$\rightarrow E_B = \frac{I_\alpha}{h^2} \times \frac{h^3}{(h^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$\rightarrow E_B = \frac{I_\alpha h}{(h^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$$

از این فرمول ها در انجام محاسبات روشنایی استفاده خواهیم کرد.

ب) تابش نور به صفحات عمودی

اگر در نقطه K زاویه تابش α باشد و زاویه اشعه نسبت به سطح افق θ باشد،



$$E_K = \frac{I_K}{OK^2} \quad \text{و} \quad I_K = I_\alpha \cos \theta \quad \rightarrow \quad E_K = \frac{I_\alpha}{OK^2} \cos \theta$$

$\alpha + \theta = 90^\circ$ پس خواهیم داشت:

$$E_K = \frac{I_\alpha}{OK^2} \cos(90 - \alpha) = \frac{I_\alpha}{OK^2} \sin \alpha$$

و با جایگذاری $OK = \frac{h_1}{\cos \alpha}$ خواهیم داشت :

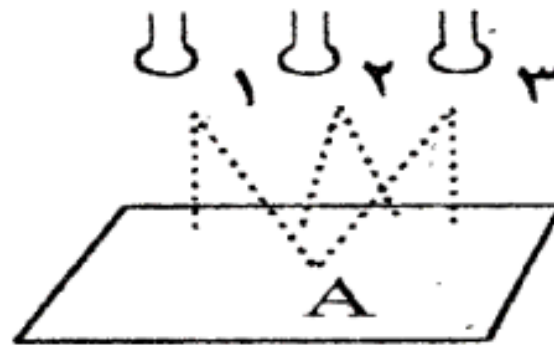
$$E_K = \frac{I_\alpha}{h_1^2} \cos^2 \alpha \sin \alpha$$

و با جایگذاری $\cos \alpha = \frac{h_1}{r} = \frac{h_1}{\sqrt{a^2 + h_1^2}}$, $\sin \alpha = \frac{a}{\sqrt{a^2 + h_1^2}}$ خواهیم داشت :

$$E_K = \frac{I_\alpha \times a}{(a^2 + h_1^2)^{\frac{3}{2}}}$$

قانون جمع :

اگر چند منبع نورانی داشته باشیم در این صورت اگر بخواهیم شدت روشنایی یک نقطه ای را که از تمام منابع نور متاثر می شود ، حساب کنیم ، لازم است شدت روشنایی هر منبع نور را در آن نقطه محاسبه و با هم جمع کنیم.



مثلا اگر سه منبع ۱ و ۲ و ۳ نقطه A را روشن کنند داریم:

$$E_A = E_{A_1} + E_{A_2} + E_{A_3}$$

و بطور کلی :

$$E_A = \sum_{m=1}^n E_{A_m}$$

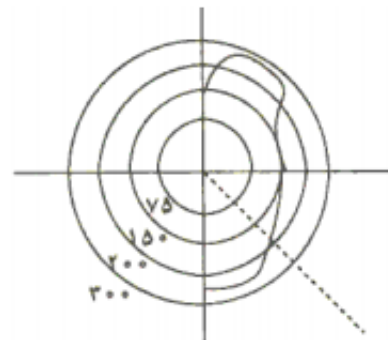
منحنی های روشنایی

به سه دسته تقسیم می شوند:

- منحنی های پخش نور بر حسب زاویه تابش یا $I=f(\alpha)$ که شدت نور در زوایای مختلف را نشان می دهد.
- منحنی شدت روشنایی بر حسب فاصله $E=f(a)$
- منحنی ایزولوکس: از ترکیب دو منحنی ۱ و ۲ فوق یک منحنی دیگری به دست می آید که چگونگی توزیع نور به نقاط هم پتانسیل را نشان می دهد و بنام منحنی ایزولوکس (Iso Lux) معروف می باشد.

۱ - توزیع شدت نور - منحنی پخش نور:

شدت نور عاملی است جهت دار و در جهات مختلف مقدار آن متفاوت است. منحنی پخش نور یک مولد نشان می دهد که در هر جهت چه مقدار شدت نور موجود است برای رسم منحنی پخش نور، مولد نور را از مرکز، توسط صفحه ای عمودی قطع می نمائیم. سپس نسبت به این صفحه، در زوایای مختلف، شدت نور را بدست آورده و نقاط بدست آمده را بهم وصل می کنیم. برای نمایش پخش نور، روشهای مختلفی وجود دارد که منحنی های قطبی، یکی از معمول ترین روشهاست که در مثال زیر استفاده شده است.



۳۶۰ یا ۰
راستای صفر لامپ (شدت نور حداکثر است)

درجه α	شدت نور cd
۰	۳۰۰
۳۰	۲۷۰
۶۰	۲۰۰
۹۰	۱۳۰
۱۲۰	۱۷۰
۱۵۰	۱۲۰
۱۸۰	۸۰

در شکل زیر منحنی پخش نور برای دو لامپ نشان داده شده است:

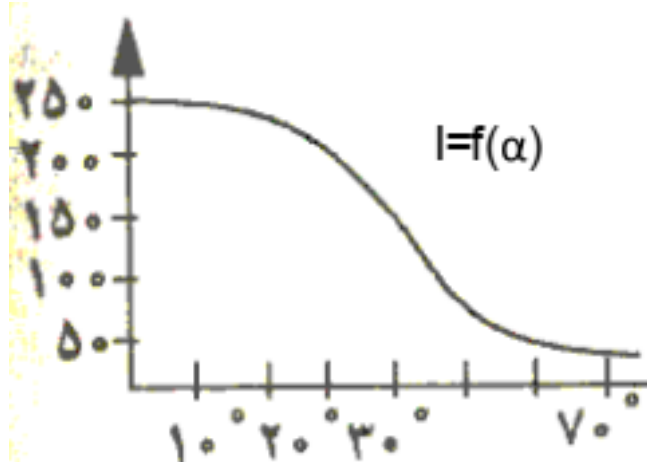
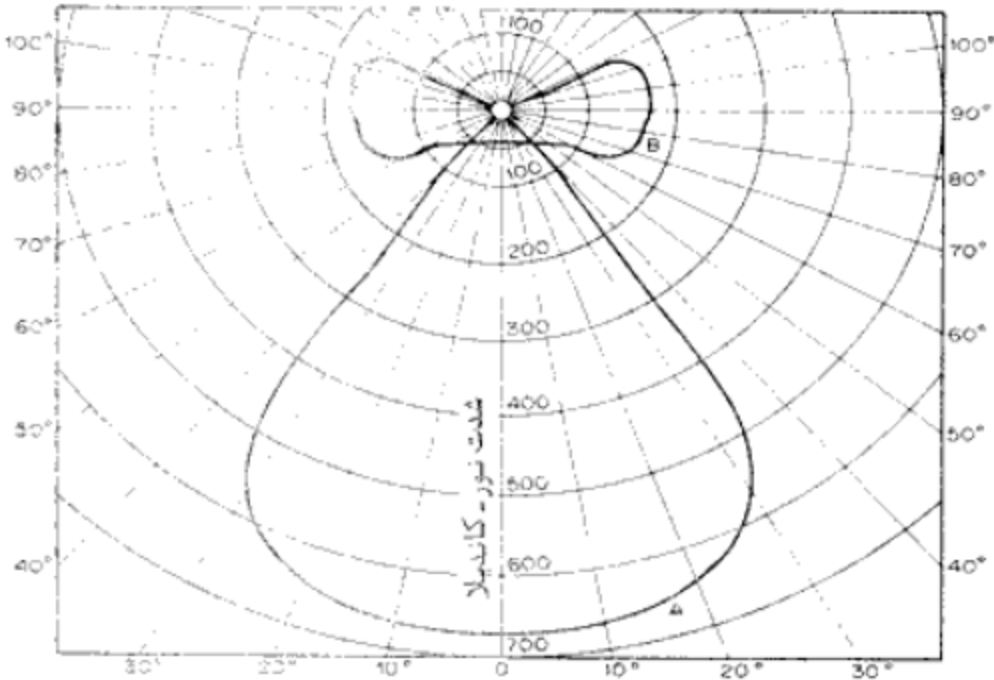
عیب منحنی های قطبی:

(۱) معیار درستی از شار نوری نمی باشد مثلا در نمودار فوق شار نوری A خیلی بیشتر از B به نظر می رسد که واقعیت ندارد.

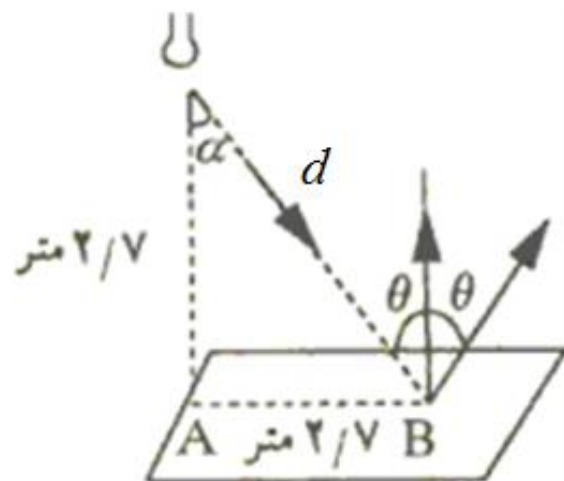
(۲) در زوایایی که شدت نور تغییرات سریع دارد، این منحنی دقت کافی به دست نمی دهد.

با توجه به معایب یاد شده، در بعضی کاتالوگ ها علاوه از منحنی پخش نور به صورت قطبی، منحنی به صورت دکارتی نیز رسم می شود.

نکته: همه منحنی ها برای جریان نور 1000 لومن رسم می شوند.



مثال: اگر منحنی پخش نور یک لامپ، مطابق منحنی پخش نور جدول زیر باشد، اگر یک لامپ ۱۵۰ واتی داشته باشیم که در ارتفاع ۲/۷ متری قرار گرفته باشد، مطابق شکل می‌خواهیم شدت روشنایی E_A و E_B را دست آوریم. (لومن لامپ ۱۵۰ وات ۱۹۴۰ می‌باشد)



$$E = \frac{I_A}{r^2}$$

منحنی پخش نور $\alpha = 0$ در راستای لامپ $\rightarrow 300 \text{ cd}$

با توجه به لومن لامپ ۱۵۰ وات که ۱۹۴۰ می‌باشد داریم:

۱۰۰۰ Lm

۳۰۰ cd

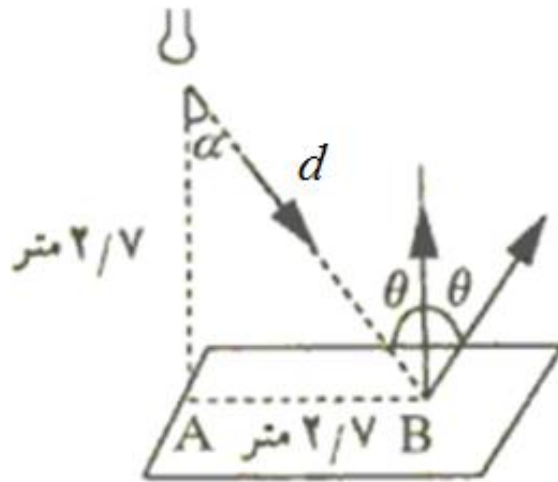
۱۹۴۰ Lm

$$X = \frac{1940 \times 300}{1000} = 582 \text{ cd}$$



$$E_A = \frac{582}{(2.7)^2} = 79.83 \text{ Lux}$$

درجه α	شدت نور cd
۰	۳۰۰
۳۰	۲۷۰
۶۰	۲۰۰
۹۰	۱۳۰
۱۲۰	۱۷۰
۱۵۰	۱۲۰
۱۸۰	۸۰



$$E_B = \frac{I_{\alpha}}{d^2} \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{h}{d} = \frac{2.7}{\sqrt{2.7^2 + 2.7^2}} = 0.707$$

$$\rightarrow \alpha = \arccos 0.707 = 45^\circ$$

از روی منحنی پخش نور برای زاویه 45° داریم: $I = 225 \text{ cd}$ پس خواهیم داشت:

درجه α	شدت نور cd
0	300
30	270
60	200
90	130
120	170
150	120
180	80

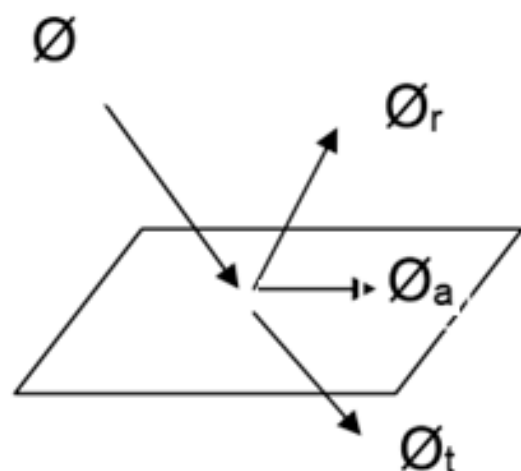
$$1000 \text{ Lm} \quad 225 \text{ cd}$$

$$1940 \text{ Lm} \quad X = \frac{1940 \times 225}{1000} = 436.5 \text{ cd}$$

شدت نور در زاویه 45° :

$$E_B = \frac{436.5}{14.58} \times \cos 45^\circ = \frac{436.5}{14.58} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 21.16 \text{ Lux}$$

ضرایب روشنایی (ضریب انعکاس ، جذب و عبور یا انتقال):



اگر بر سطح یک جسم شار نوری Φ تابیده شود ، مقداری از آن منعکس می شود (Φ_r) و مقداری جذب می شود (Φ_a) و مابقی عبور می کند (Φ_t) پس رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$\Phi = \Phi_r + \Phi_t + \Phi_a \rightarrow 1 = \frac{\Phi_r}{\Phi} + \frac{\Phi_t}{\Phi} + \frac{\Phi_a}{\Phi}$$

اگر نسبت های فوق را به صورت درصد بیان کنیم خواهیم داشت:

$$\rho_r = \frac{\Phi_r}{\Phi} \Rightarrow \rho_r \% = \frac{\Phi_r}{\Phi} \times 100 \quad \text{ضریب انعکاس :}$$

$$\rho_a = \frac{\Phi_a}{\Phi} \Rightarrow \rho_a \% = \frac{\Phi_a}{\Phi} \times 100 \quad \text{ضریب جذب :}$$

$$\rho_t = \frac{\Phi_t}{\Phi} \Rightarrow \rho_t \% = \frac{\Phi_t}{\Phi} \times 100 \quad \text{ضریب عبور یا انتقال :}$$

عوامل موثر در درصد مقادیر ضرایب فوق عبارتند از:

جنس ، رنگ و سطح جسم و همچنین زاویه تابش و رنگ (طول موج) اشعه تابیده شده.