تأسیسات الکتریکی

تعداد واحد: ۳ (نظری)
مدرس: کاظم وارثی (kzm.varesi@gmail.com)
پیش‌نیاز: تحلیل سیستم‌های انرژی الکتریکی ۱
هم‌نیاز: -
هدف: آشنایی با مهندسی روشنایی و تأسیسات الکتریکی

- روشنایی: تعریف و ماهیت نور، اشعه مادون قرمز و ماوراء بنفش، کمیت‌های نورسنجی، استانداردهای روشنایی، محاسبات روشنایی داخلی و خارجی.
- ساختمان و راه‌اندازی لامپ‌ها: رشته‌ای، فلورسنت، جیوه‌ای، سدیم، کم‌مصرف.
- ایمنی و حفاظت در تأسیسات الکتریکی.
- محاسبات سطح مقطع سیم و کابل و سیم‌کشی هوایی.
- فیوز و محاسبات آن.
- طراحی تابلو.
- برآورد بار و تقاضا برای بارهای صنعتی و تجاری.
- زمین کردن (الکتریکی و حفاظتی)، اندازه‌گیری مقاومت زمین، رله‌های زمین و سایر ادوات و رله‌های مرتبط.
- انواع سیستم‌های توزیع برق.
- سیستم‌های اضطراری.
- آشنایی با آسانسور و پله‌های برقی
- تصحیح ضریب قدرت در کارخانجات.
- سیستم‌های هشدار دهنده.
- سیستم‌های جریان ضعیف شامل آنتن و سیستم تلفن.
- آشنایی با نرم‌افزارهای مربوطه.
- پروژه

تأسیسات الکتریکی

❑ مراجع

[۱] مهندسی تأسیسات الکتریکی، دکتر حسن کلهر، شرکت سهامی انتشار، چاپ بیست و چهارم، ۱۳۹۵.
[۲] مهندسی روشنایی، دکتر حسن کلهر، شرکت سهامی انتشار، چاپ بیست و هشتم، ۱۳۹۵.
[۳] لامپ‌ها و محاسبات روشنایی فنی، محمدمهدی موحدی، چاپ چهارم، ۱۳۷۵.
[۴] روشنایی فنی (شاخهٔ: کاردانش، گروه تحصیلی: برق، زیرگروه: الکتروتکنیک، رشته‌های مهارتی: برق ساختمان)، محمدحسن اسلامی، شهرام خدادادی و علیرضا حجرگشت، ناشر: شرکت چاپ ونشر کتاب‌های درسی ایران، چاپ سوم، ۱۳۹۴.
[5] Mechanical and Electrical Equipment for Buildings [12th Edition], by: Walter T. Grondzik & Alison G. Kwok. Wiley, 2014.
[6] Electrical Installations Hand Book, Siemens I, II, III.
[7] The Lighting Handbook, Zumtobel Lighting GmbH, 5th edition, revised and updated: July 2017.

تأسیسات الکتریکی

❑ ارزیابی

- میان‌ترم: ۷ نمره
- تسلط و انجام پروژه با یکی از نرم‌افزارهای مهندسی تأسیسات یا روشنایی (مثلاً DIALux یا CalcuLUx): ۳ نمره
- پایان‌ترم: ۱۰ نمره
- حضور و غیاب: ۱ نمره (اضافی)

❖ لطفاً برای دریافت اطلاعات تکمیلی درباره این درس، به آدرس: **سایت دانشکده مهندسی برق، آموزش، دروس کارشناسی، تأسیسات الکتریکی** مراجعه بفرمایید.

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی

۲ـ۵ـ شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی

شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی یک سطح، میزان توان نوری تابیده بر واحد سطح را نشان می‌دهد و با حرف E مشخص می‌شود و واحد آن لومن بر متر مربع یا لوکس است. اگر کل شار نوری که بر سطح A متر مربع می‌تابد Φ لومن و توزیع آن روی سطح یکنواخت باشد، E چنین است:

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

در صورتی که توزیع روشنایی روی سطح یکنواخت نباشد، E به این صورت است:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی

برای پیداکردن رابطه بین E و I به شکل ۲ ـ ۳ دقت کنید.

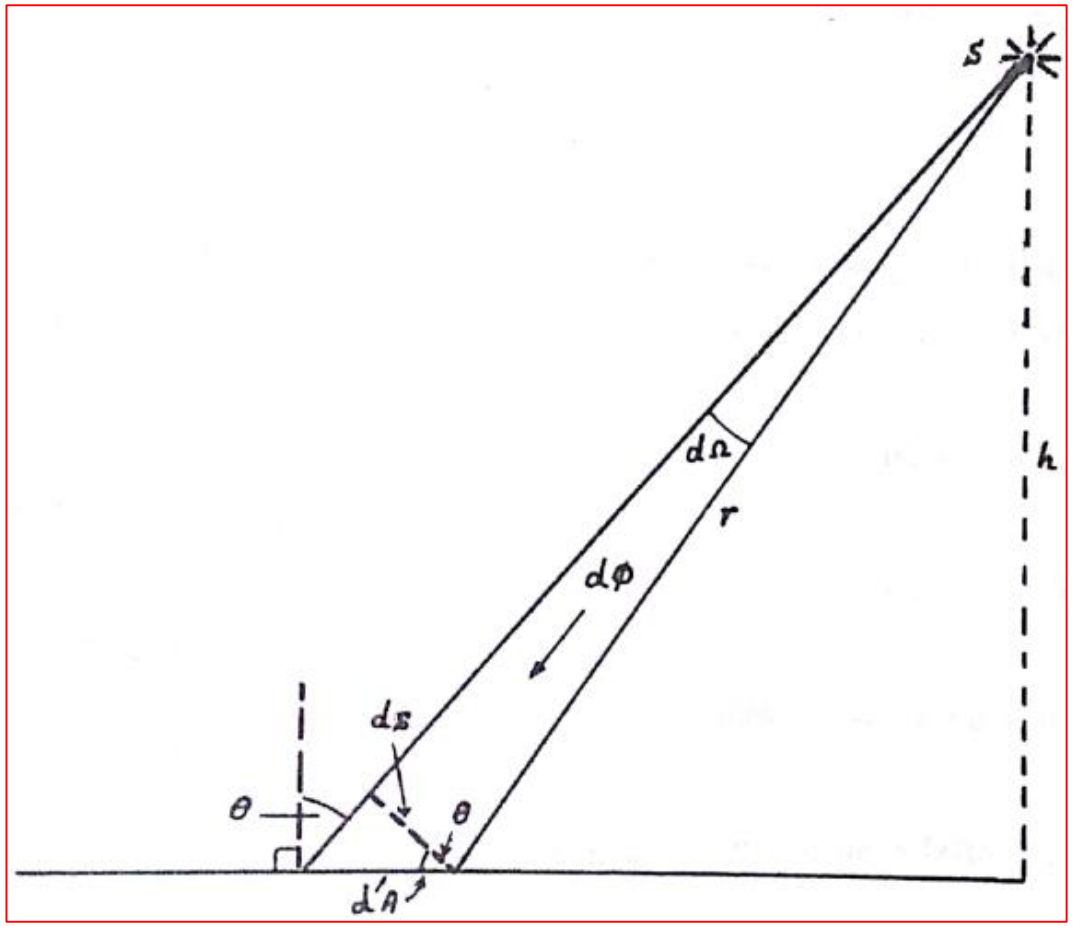
$$E = \frac{d\Phi}{dA} = \frac{d\Phi}{d\Omega}\frac{d\Omega}{dA}$$

$$= \frac{d\Phi}{d\Omega}\frac{d\Omega}{ds}\frac{ds}{dA}$$

$$= I\left(\frac{ds/r^2}{ds}\right)\left(\frac{dA\cos\theta}{dA}\right)$$

بنابراین:

$$E = \frac{I}{r^2}\cos\theta \qquad (۹ ـ ۲)$$



شکل ۲ ـ ۳: شدت روشنایی روی سطح

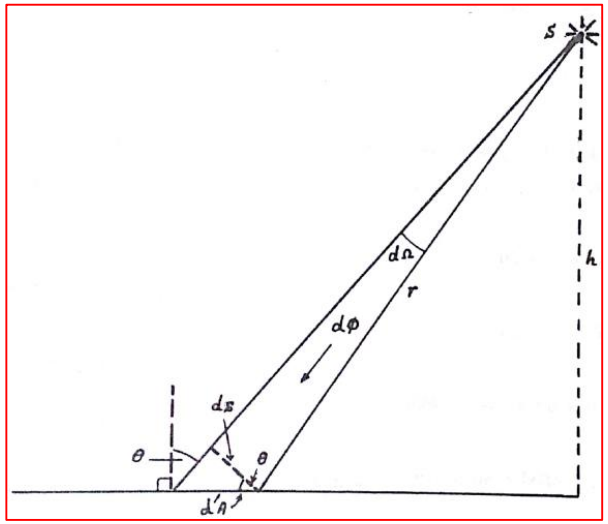
روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی

ملاحظه می‌کنید که شدت روشنایی روی هر سطح با مجذور فاصله منبع از سطح کاهش می‌یابد. روشن است که در یک فاصله معین r ، شدت روشنایی برای $\theta = 0$ یعنی روی سطح عمود بر جهت انتشار نور حداکثر است. این معادله قانون اصلی روشنایی برای یک منبع نقطه‌ای به‌شمار می‌آید. با توجه به اینکه بین فاصله عمود h و فاصله مایل r ، رابطه زیر برقرار است:

$$h = r\cos\theta$$



شکل ۲ ـ ۳ : شدت روشنایی روی سطح

چنین داریم:

$$E = \frac{I}{h^2}\cos^3\theta \qquad (۲ - ۱۰)$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی

شدت روشنایی معمول در بعضی محلهای آشنا به قرار زیر است:

سطح خیابان	۳۰	لوکس
اتاق نشیمن	۱۰۰	لوکس
اتاق کار	۳۰۰	لوکس
سطح زمین در خورشید زمستان	۱۰,۰۰۰	لوکس
سطح زمین در خورشید تابستان	۱۰۰,۰۰۰	لوکس

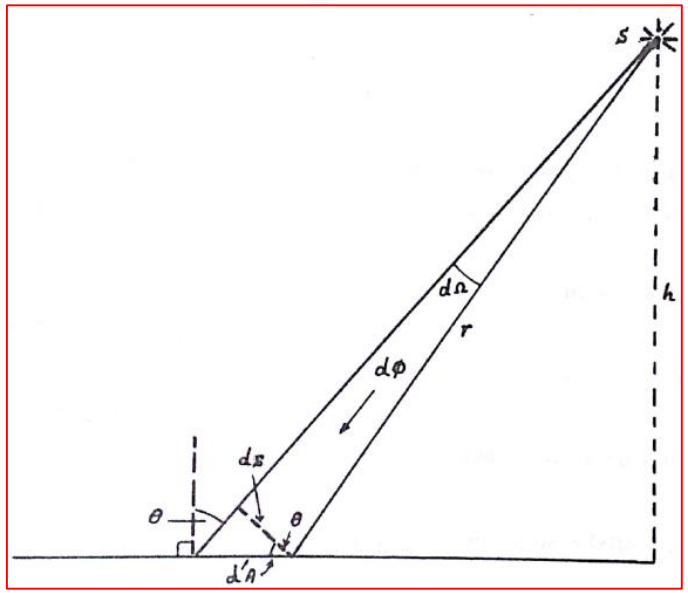
روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی

مثال ۲ـ۵

یک لامپ دارای شدت نور ۲۰۰ کاندیلا در همه جهات در نیم فضای پایین لامپ است. لامپ در فاصله ۲ متری بالای مرکز میز مربع‌شکل به ابعاد ۱ متر قرار دارد. حداکثر و حداقل شدت روشنایی را روی سطح حساب کنید.



بیشترین شدت روشنایی در مرکز میز است. بنابراین:

$$E_{max} = \frac{200}{(2)^2} = 50 \quad \text{Lux}$$

کمترین شدت روشنایی در رئوس مربع است. در این نقاط

$$r^2 = (2)^2 + (0.5)^2 + (0.5)^2 = 4.5$$

$$\text{Cos}\theta = \frac{2}{\sqrt{4.5}}$$

$$E = \frac{I}{r^2}\text{Cos}\theta$$

$$E = \frac{I}{h^2}\text{Cos}^3\theta$$

$$E_{min} = \frac{200}{4.5} \times \frac{2}{\sqrt{4.5}} = 41.90 \quad \text{لوکس}$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی

دقت کنید که هرچه میز بزرگتر باشد شدت روشنایی در نقاط آن غیریکنواخت‌تر می‌شود و هرچه ارتفاع افزایش یابد، یکنواختی بیشتر می‌شود. در صورتی که بیش از یک منبع نقطه‌ای موجود باشد، شدت روشنایی را با استفاده از قضیه جمع خطی اثرها به ترتیب زیر به‌دست می‌آوریم:

$$E = \sum_{k} \frac{I_k \cos\theta_k}{r_k^2} \qquad (۱۱-۲)$$

اگر به جای منابع نقطه‌ای یک منبع با طول و عرض قابل ملاحظه یا منبع گسترده نظیر یک لامپ فلورسنت داشته باشیم، هر نقطه آن را به‌عنوان یک منبع نقطه‌ای درنظر می‌گیریم و E را به‌صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$E = \int_{\text{سطح منبع}} \frac{dI \cos\theta}{r^2} \qquad (۱۲-۲)$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی

در این رابطه dI شدت نور رسیده به نقطه مورد نظر از هر ذره سطح گسترده، r فاصله ذره از نقطه ما و θ زاویه بین عمود بر ذره سطح و خطی که آن ذره را به نقطه ما وصل می‌کند است. واحد انگلیسی شدت روشنایی که هنوز در جداول دیده می‌شود و آشنایی با آن مفید است لومن بر فوت مربع است که چون برابر روشنایی رسیده به یک سطح ۱ فوت مربع که در فاصله ۱ فوت از یک منبع با شدت نور یکنواخت ۱ کاندیلاست، فوت کندل هم نامیده می‌شود. روش تبدیل فوت کندل به لوکس چنین است:

$$1\,fc = 1\,Lumen/ft^2 = 10.76\,Lux$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ درخشندگی یا تراکم نور

اگر دو منبع نورانی که شدت نور برابر ولی اندازه فیزیکی مختلف داشته باشند، به‌طور پشت سر هم رؤیت شوند منبعی که کوچکتر است درخشنده‌تر به‌نظر می‌رسد، درخشندگی L در هر جهت را با نسبت شدت نور ساطع شده از منبع در آن جهت به مؤلفه سطح منبع نورانی در آن جهت تعریف می‌کنیم و چنین می‌نویسیم:

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

لذا واحد درخشندگی کاندیلا بر متر مربع است که به نیت هم معروف است. واحد دیگری که برابر یک کاندیلا بر سانتیمتر مربع است و استیلب نامیده می‌شود، نیز واحد قبول شده بین‌المللی است که واحد بزرگتری است.

۱۰۰۰۰ نیت = ۱ استیلب

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ درخشندگی یا تراکم نور

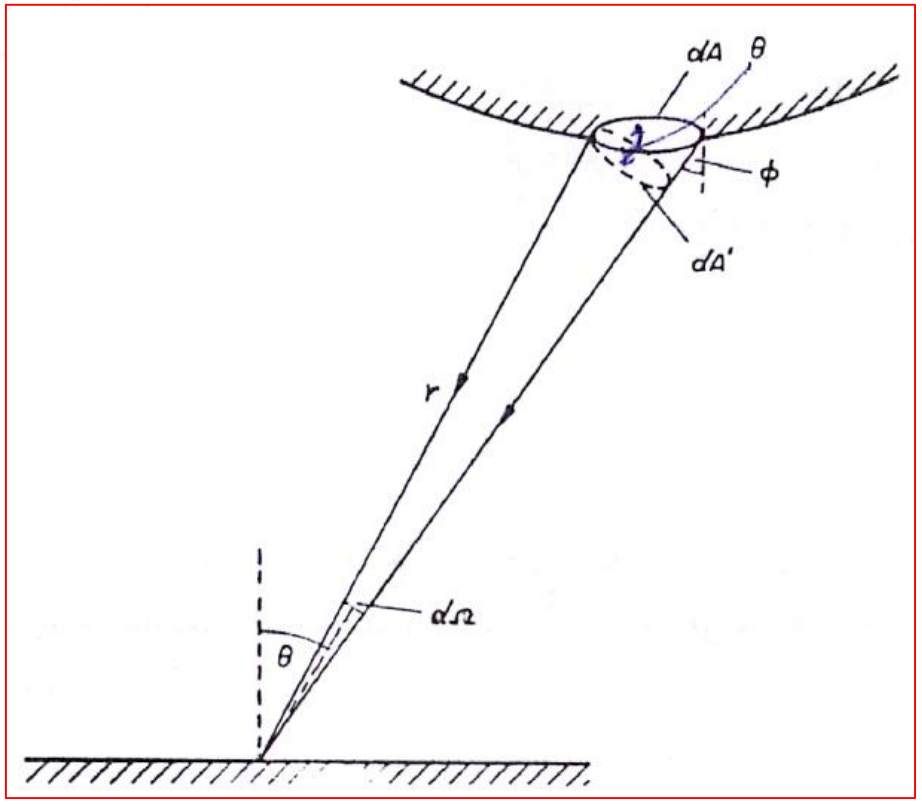
در منابع گسترده، درخشندگی همه سطح لزوماً یکسان نیست و بنابراین بهتر است از درخشندگی متوسط سطح منبع صحبت کنیم و یا درخشندگی را برای هر ذره سطح منبع نورانی تعریف کنیم.

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ درخشندگی یا تراکم نور

درخشندگی ذره کوچک سطح dA را در جهت نشان داده شده برابر شدت نور این سطح کوچک در این جهت تقسیم بر مؤلفه dA عمود بر این جهت یعنی dA' تعریف می‌کنیم.



شکل ۲ ـ ۴ : درخشندگی یک منبع گسترده

پس

$$L = \frac{dI}{dA'} \qquad (۱۳-۲)$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ درخشندگی یا تراکم نور

درخشندگی بعضی منابع آشنا به قرار زیر است:

آسمان شب هنگام بدون ماه	10^{-4} کاندیلا بر مترمربع
آسمان صاف روز	$0/4 \times 10^{4}$ کاندیلا بر مترمربع
سطح لامپ رشته‌ای ۱۰۰ وات شیشه‌ای	$6/5 \times 10^{6}$ کاندیلا بر مترمربع
سطح لامپ رشته‌ای ۱۰۰ وات شیری	8×10^{4} کاندیلا بر مترمربع
خورشید ظهر	2×10^{9} کاندیلا بر مترمربع

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

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ درخشندگی یا تراکم نور

با استفاده از (۲ ـ ۱۳) در معادله (۲ ـ ۱۲) شدت روشنایی روی یک سطح به‌علت یک منبع گسترده برحسب L به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$L = \frac{dI}{dA'} \qquad (۲ ـ ۱۳)$$

$$E = \int_{\text{سطح منبع}} \frac{dI\ \cos\theta}{r^2} \qquad (۲ ـ ۱۲)$$

$$L = \frac{dI}{dA'} \Rightarrow E = \int_{\text{سطح منبع گسترده}} \frac{L dA' \cos\theta}{r^2}$$

و یا

$$E = \int_{\text{سطح منبع گسترده}} L\cos\theta\ d\Omega \qquad (۲ ـ ۱۴)$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ درخشندگی یا تراکم نور

مثال ۲ ـ ۶

شدت نور یک منبع مستطیلی‌شکل ۸ میلیمتر در ۱۰ میلیمتر در جهت عمود بر سطح آن ۸۰۰ کاندیلاست. درخشندگی متوسط نورانی را در این جهت حساب کنید. اگر درخشندگی این منبع در زاویه ۶۰ درجه با مقدار آن در جهت عمود تفاوت نداشته باشد، شدت نور در ۶۰ درجه چقدر است؟

$$L = \frac{I}{S} = \frac{800}{8 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-3}} = 10^7$$ کاندیلا بر مترمربع یا نیت

$$10^7 = \frac{I}{8 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-3} \times \cos 60^\circ}$$

$S' = S \times Cos\theta$

$I = 400$ کاندیلا

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ درخشندگی یا تراکم نور

روشن است که منابعی که دارای درخشندگی یکسان در همه جهات هستند مطابق قانون لامبرت یعنی:

$$I(\theta) = I_0 \cos\theta \qquad L = \frac{I}{S'} = \frac{I_0 \times \cos\theta}{S \times \cos\theta}$$

I_0 شدت نور در جهت عمود بر سطح و $I(\theta)$ شدت نور در زاویه θ تشعشع می‌کنند. در این فرمول از خط عمود است. منابعی که از این قانون تبعیت می‌کنند منابع با تشعشع پخش شده نامیده می‌شوند.

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

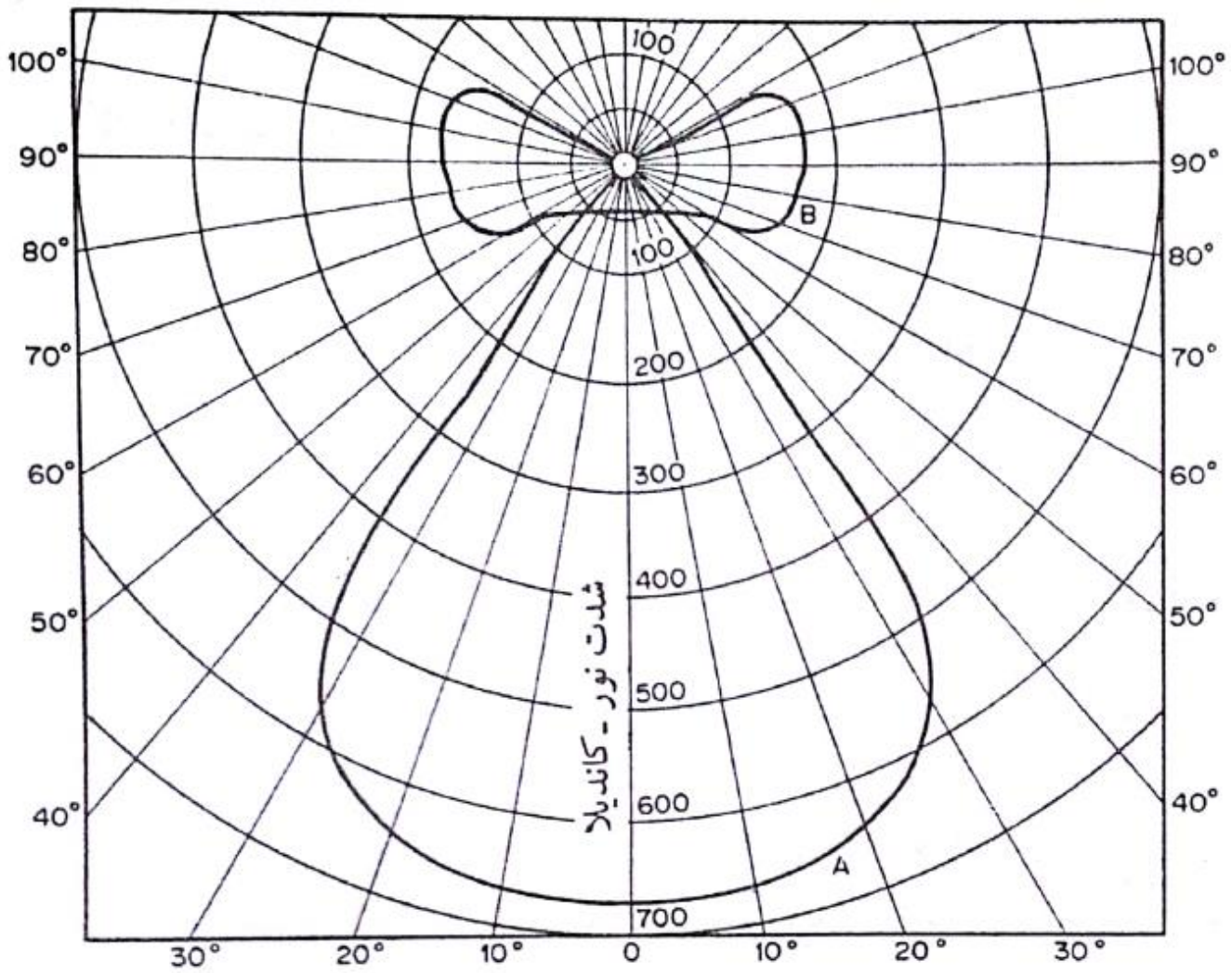
۲ـ۷ـ توزیع شدت نور ـ منحنی پخش نور

بیشتر منابع نوری، منابع نقطه‌ای نیستند و لذا شدت نور یکنواخت در جهات مختلف ندارند. نحوه توزیع شدت نور یک منبع برای محاسبات نوری با اهمیت است و معمولاً توسط سازنده لامپ اندازه‌گیری می‌شود و به‌عنوان منحنی پخش نور داده می‌شود. برای نمایش پخش نور روشهای مختلفی ممکن است که منحنیهای قطبی یکی از معمولترین روشهاست. شدت نور بسیاری از چراغها بخصوص آنها که از لامپهای رشته‌ای استفاده می‌کنند دارای تقارن حول محور عمود چراغ است و برای نمایش پخش نور تنها یک منحنی در یکی از صفحات قائم کافی است. منحنی پخش نور دو چراغ A و B در شکل ۲ ـ ۵ نشان داده شده است.

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور



شکل ۲ ـ ۵ : منحنی قطبی پخش نور

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

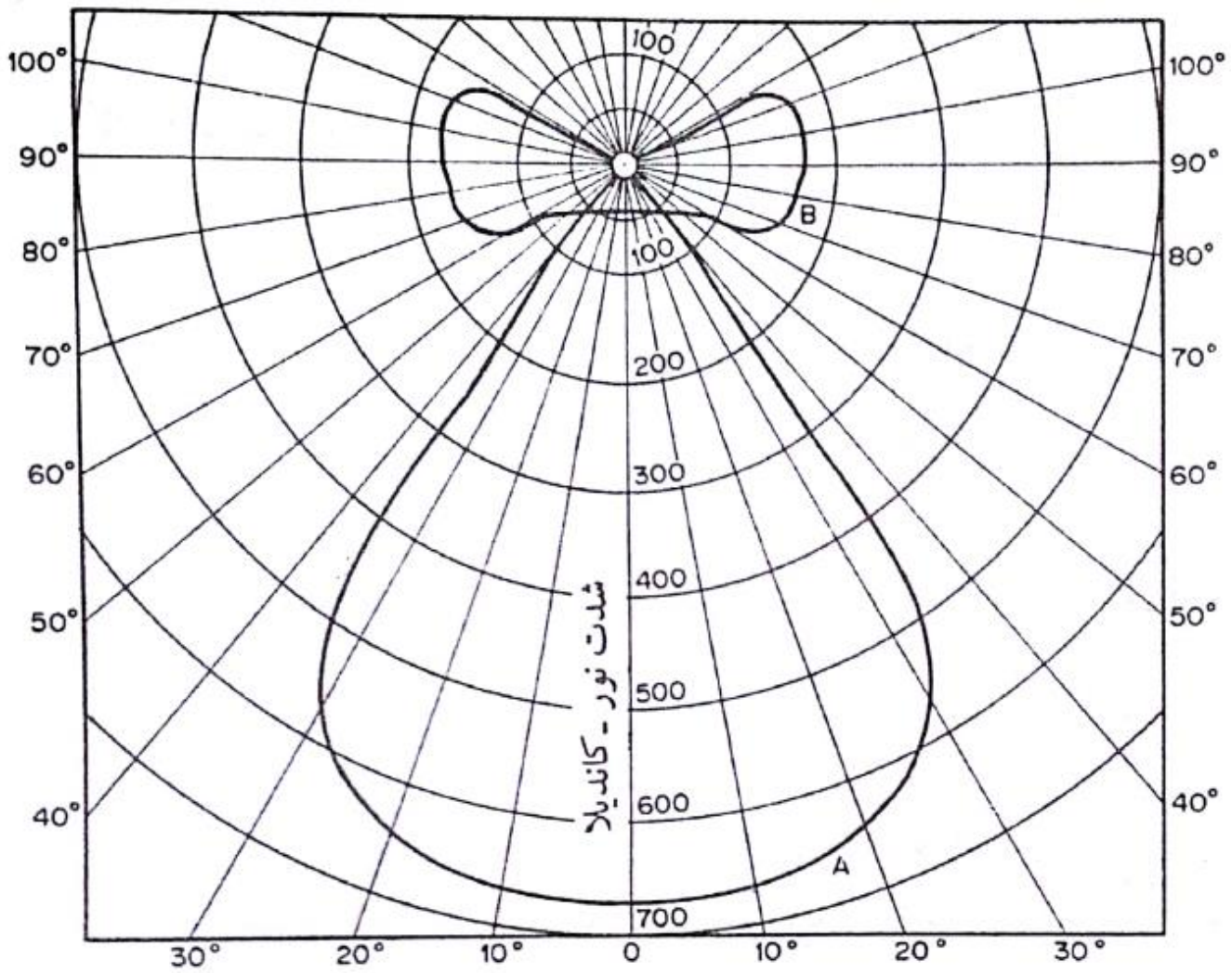
❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

در این منحنیها زاویه از محور قائم که از چراغ می‌گذرد اندازه گیری می‌شود و در هر زاویه فاصله شعاعی منحنی از محل چراغ شدت نور در آن زاویه را مشخص می‌کند. نور چراغ A به ۳۵ درجه حول محور قائم محدود است و شدت نور حداکثر آن در حدود ۶۷۵ کاندیلاست. نور چراغ B در اطراف خط افق متمرکز است و حداکثر شدت نور آن ۱۷۰ کاندیلاست. شار نوری چراغ A خیلی بیشتر از B به‌نظر می‌رسد که واقعیت ندارد و این یکی از عیوب منحنیهای قطبی است. عیب دیگر آن، این است که در زوایایی که شدت نور تغییرات سریع دارد، این منحنی دقت کافی به‌دست نمی‌دهد. به رغم این معایب، استفاده از منحنیهای قطبی معمولترین روش برای نشان دادن توزیع نور است. برای چراغهایی که تقارن محوری ندارند دو یا چند منحنی قطبی ترسیم می‌شود. برای چراغهایی که شعاع خیلی متمرکز دارند به منظور دقت بیشتر از مختصات مستطیلی استفاده می‌شود که در آن زاویه روی محور افقی و شدت نور روی محور قائم ترسیم می‌شود. نظر به اینکه بسیاری لامپها با شار نوری متفاوت دارای توزیع شدت نور مشابه هستند منحنیهای توزیع شدت نور غالباً برای شار نوری ۱۰۰۰ لومن ترسیم می‌شود و برای یافتن توزیع واقعی لازم است نسبت شار نوری لامپ به ۱۰۰۰ لومن را در مقادیر منحنی ضرب کنیم.

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور



شکل ۲ ـ ۵ : منحنی قطبی پخش نور

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

۲ـ۷ـ۱ـ محاسبه شار نوری از منحنی پخش نور

با استفاده از منحنی پخش نور می‌توان با کمک معادله (۲ ـ ۲) شار نوری را محاسبه کرد.

$$\Phi = \int I(\Omega)\, d\Omega$$

منحنی پخش نور $I(\theta)$ یعنی تغییرات شدت نور را با زاویه از محور عمود به‌دست می‌دهد. به‌علت تقارن منحنی پخش نور، جزء زاویه فضایی مربوط به زاویه $d\theta$ که روی آن $I(\theta)$ را می‌توان یکسان فرض کرد مطابق شکل ۲ ـ ۱ برابر است با :

$$d\Omega = \frac{2\pi r \sin\theta r d\theta}{r^2} = 2\pi \sin\theta\, d\theta$$

و لذا

$$\Phi = \int_0^{\pi} I(\theta)\, 2\pi \sin\theta\, d\theta \qquad (۲ ـ ۱۵)$$

اگر تابع $I(\theta)$ معین باشد، می‌توان این انتگرال را محاسبه کرد.

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

مثال ۲ـ۷

یک سطح تشعشع‌کننده در نیم فضای پایین مطابق قانون لامبرت به‌صورت زیر تشعشع می‌کند.

$$I(\theta) = 60\ Cos\theta$$

شار نوری این منبع به سمت پایین چقدر است؟

$$\Phi = \int_0^{\pi/2} 60Cos\theta\ (2\pi Sin\theta d\theta) = 60\pi Sin^2\theta]_0^{\pi/2}$$

$$\Phi = 60\pi = 188.5 \quad \text{لومن}$$

دانشگاه صنعتی سهند/دانشکده مهندسی برق/گروه قدرت/درس تأسیسات الکتریکی/کاظم وارثی

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

در غالب موارد تنها منحنی پخش نور موجود است و شکل ریاضی آن معلوم نیست. لذا می‌توان زاویه θ را به قسمتهای برابر مثلاً ۵ درجه‌ای یا ۱۰ درجه‌ای تقسیم کرد و روی هر قسمت $I(\theta)$ را مقدار ثابتی برابر مقدار وسط آن قسمت درنظر گرفت. اگر محدوده θ یعنی ۱۸۰ درجه را به N قسمت برابر به اندازه $\Delta\theta$ با مرکز هر قسمت در θ_i قسمت کنیم، شار نوری چنین می‌شود:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{N} I(\theta_i) \int_{\theta_i - \frac{\Delta\theta}{2}}^{\theta_i + \frac{\Delta\theta}{2}} 2\pi \mathrm{Sin}\theta \, d\theta$$

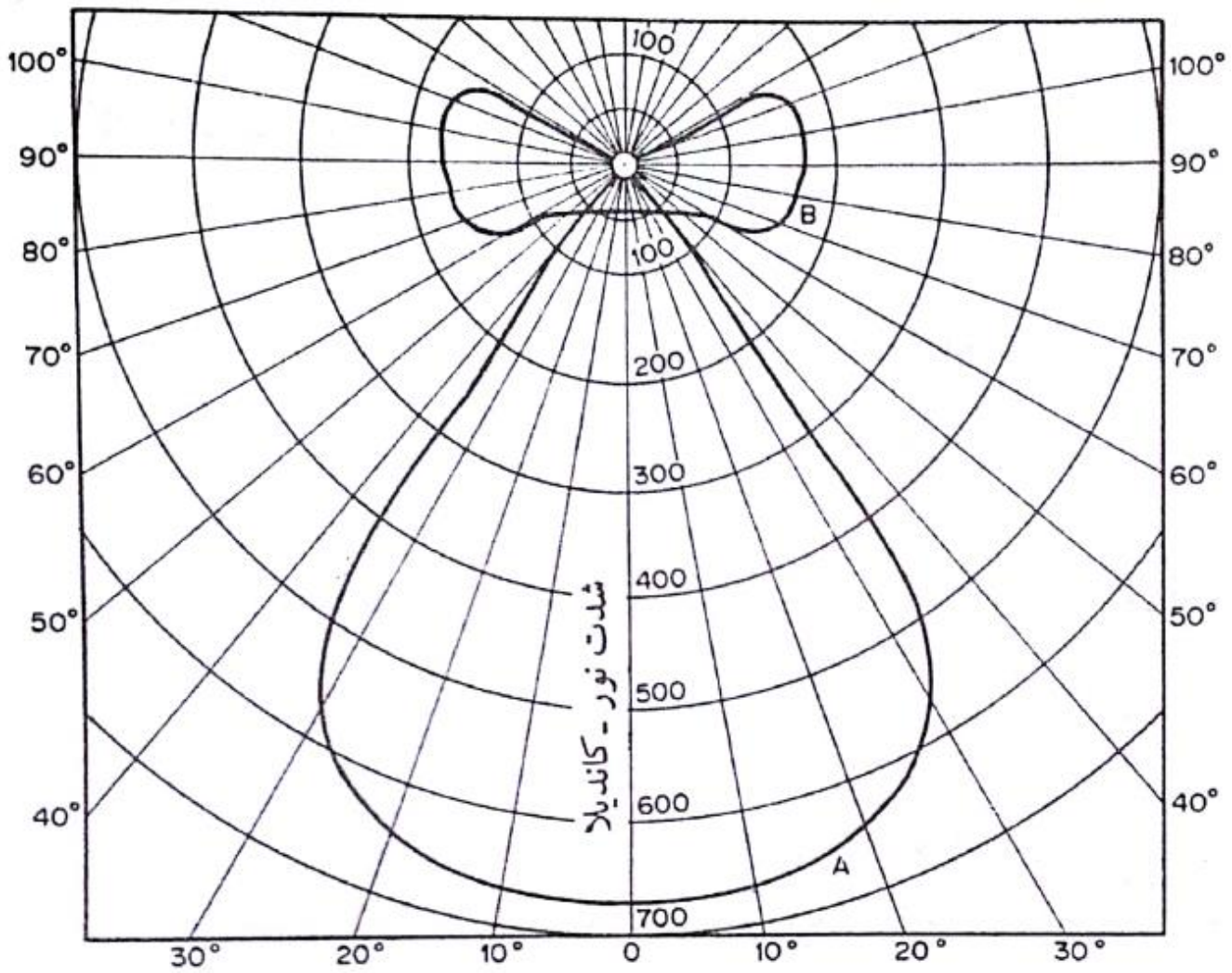
$$= \sum_{i=1}^{N} I(\theta_i) \cdot 2\pi \left[\mathrm{Cos}\left(\theta_i - \frac{\Delta\theta}{2}\right) - \mathrm{Cos}\left(\theta_i + \frac{\Delta\theta}{2}\right)\right]$$

$$= 4\pi \sum_{i=1}^{N} I(\theta_i) \, \mathrm{Sin}\theta_i \mathrm{Sin}\frac{\Delta\theta}{2}$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور



شکل ۲ ـ ۵ : منحنی قطبی پخش نور

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

$$\Phi = \sum_{i=1}^{N} I(\theta_i) \int_{\theta_i - \frac{\Delta\theta}{2}}^{\theta_i + \frac{\Delta\theta}{2}} 2\pi \mathrm{Sin}\theta \, d\theta$$

$$= \sum_{i=1}^{N} I(\theta_i) \cdot 2\pi \left[\mathrm{Cos}\left(\theta_i - \frac{\Delta\theta}{2}\right) - \mathrm{Cos}\left(\theta_i + \frac{\Delta\theta}{2}\right)\right]$$

$$= 4\pi \sum_{i=1}^{N} I(\theta_i) \, \mathrm{Sin}\theta_i \mathrm{Sin}\frac{\Delta\theta}{2}$$

ضریب $4\pi \, \mathrm{Sin}\theta_i \mathrm{Sin}\frac{\Delta\theta}{2}$ برحسب N تفاوت می‌کند. این ضریب برای تقسیمات ۱۰ درجه در جدول ۲ ـ ۳ آمده است. بدیهی است که عدد اول جدول $4\pi \, \mathrm{Sin}5^\circ \mathrm{Sin}5^\circ$ ، عدد دوم $4\pi \, \mathrm{Sin}15^\circ \mathrm{Sin}5^\circ$ و بقیه به همین ترتیب محاسبه شده‌اند.

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

جدول ۲ ـ ۳: ضریب ناحیه برای قسمتهای ۱۰ درجه‌ای

زاویه		ناحیه برحسب درجه	ضریب $4\pi \ Sin\theta_i Sin\frac{\Delta\theta}{2}$
۵	یا	۱۷۵	۰/۰۹۵۵
۱۵	یا	۱۶۵	۰/۲۸۳۵
۲۵	یا	۱۵۵	۰/۴۶۲۹
۳۵	یا	۱۴۵	۰/۶۲۸۲
۴۵	یا	۱۳۵	۰/۷۷۴۴
۵۵	یا	۱۲۵	۰/۸۹۷۲
۶۵	یا	۱۱۵	۰/۹۹۲۶
۷۵	یا	۱۰۵	۱/۰۵۷۹
۸۵	یا	۹۵	۱/۰۹۱۱

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

مثال ۲ ـ ۸

شدت نور یک لامپ مطابق جدول زیر است. شار نوری آن چقدر است؟

θ درجه	۵	۱۵	۲۵	۳۵	۴۵	۵۵	۶۵	۷۵	۸۵
$I(\theta)$ کاندیلا	۱۳۹/۳۷	۱۳۷/۳۰	۱۳۴/۰۶	۱۳۰/۲۳	۱۲۸/۰۱۷	۱۲۴/۳۴	۱۱۹/۹۲	۱۱۶/۶۸	۱۰۴/۸۹

θ درجه	۹۵	۱۰۵	۱۱۵	۱۲۵	۱۳۵	۱۴۵	۱۵۵	۱۶۵	۱۷۵
$I(\theta)$ کاندیلا	۱۰۱/۹۵	۱۱۱/۶۷	۱۱۷/۸۶	۱۲۴/۰۴	۱۲۹/۹۴	۱۳۴/۰۶	۱۲۶/۹۹	۹۵/۱۷	۳۷/۱۳

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

مثال ۲ ـ ۸

شدت نور یک لامپ مطابق جدول زیر است. شار نوری آن چقدر است؟

$$\Phi = 4\pi \sum_{i=1}^{N} I(\theta_i)\, \mathrm{Sin}\theta_i \mathrm{Sin}\frac{\Delta\theta}{2}$$

با استفاده از ضرایب جدول (۲ ـ ۳) شار نوری را حساب می‌کنیم.

$$\Phi = 0.0955\,(139.37 + 37.13) + 0.2835\,(137.30 + 95.17) +$$
$$0.4629\,(134.06 + 12.699) + 0.6282\,(130.23 + 134.06) +$$
$$0.7744\,(128.17 + 129.94) + 0.8972\,(124.34 + 124.04) +$$
$$0.9926\,(119.92 + 117.86) + 1.0579\,(116.68 + 111.67) +$$
$$1.0911\,(104.89 + 101.95) = 1495.63 \quad \text{لومن}$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

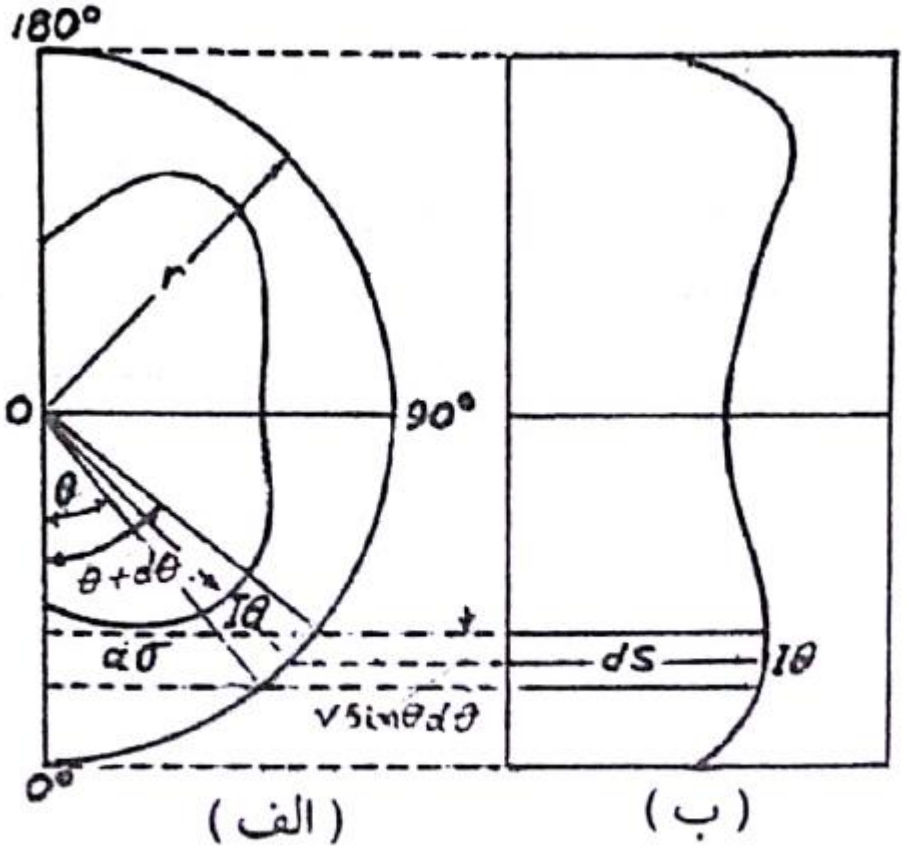
شار نوری معادله (۲ ـ ۱۵) را به طریق ترسیمی هم می‌توان محاسبه کرد که به روش روسو معروف است. در این روش مطابق شکل ۲ ـ ۶ دایره‌ای به مرکز لامپ با شعاع r طوری ترسیم می‌کنیم که منحنی پخش نور در داخل آن قرار گیرد.

اگر دو نقطه تقاطع θ و $\theta + d\theta$ را با دایره به شعاع r روی محور عمود تصور کنیم $r\sin\theta d\theta$ به‌دست می‌آید. حال مستطیل کوچکی می‌سازیم که طول آن $I(\theta)$ کاندیلا و عرض آن $r\sin\theta d\theta$ باشد، مطابق رابطه (۲ ـ ۱۵) مساحت همه این مستطیلهای کوچک یا سطح زیر منحنی شکل (ب) متناسب با شار نوری لامپ است و با ضرب آن در $\frac{2\pi}{r}$ شار نوری به‌دست می‌آید. این مساحتهای نامنظم با مساحت‌سنجها به سهولت قابل اندازه گیری هستند.

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور



شکل ۲ ـ ۶ : روش ترسیمی روسو برای محاسبه شار نورانی

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

۲ـ۷ـ۲ـ تقسیم‌بندی چراغها براساس پخش نور

چراغی که در ارتفاع بالای سطح کار (سطح کار به صفحه افقی در ارتفاع ۸۰ سانتیمتر از کف اتاق گفته می‌شود که سطح معمول برای انجام بسیاری کارهاست) نصب شده است را درنظر بگیرید. اگر همه نور چراغ در نیمکره پایین چراغ متمرکز باشد نور به‌طور مستقیم به صفحه کار می‌تابد. این‌گونه چراغ را چراغ با نور مستقیم می‌نامند. برعکس اگر بیشتر نور چراغ در نیم کره بالای چراغ پخش شود نور تنها از طریق انعکاس از سقف و دیوارها به سطح کار می‌رسد و این‌گونه چراغ را دارای نور غیرمستقیم گویند. البته بین این دو حالت، سه حالت دیگر نیز وجود دارد. تقسیم‌بندی چراغها توسط کمیته بین‌المللی روشنایی از سال ۱۹۳۵ مطابق جدول ۲ ـ ۴ است:

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

جدول ۲ ـ ۴ : تقسیم‌بندی چراغها

مشخصه چراغ	درصد شار نوری نیمکره پایین	درصد شار نوری نیمکره بالا
مستقیم	۹۰ ـ ۱۰۰	۰ ـ ۱۰
نیمه مستقیم	۶۰ ـ ۹۰	۱۰ ـ ۴۰
پخش یکسان	۴۰ ـ ۶۰	۴۰ ـ ۶۰
نیمه عمر مستقیم	۱۰ ـ ۴۰	۶۰ ـ ۹۰
غیر مستقیم	۰ ـ ۱۰	۹۰ ـ ۱۰۰

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

بدیهی است شار نوری که به طرف بالا منتشر می‌شود و در اثر انعکاسهای سقف و دیوارها به سطح کار می‌رسد به اندازه نور مستقیم در تولید روشنایی مؤثر نیست.

در سالهای اخیر روشهای جدید و دقیقتری برای تقسیم‌بندی چراغها مورد قبول قرار گرفته است که اهم آنها تقسیم‌بندی منطقه‌ای بریتانیایی نام گرفته است که در آن برای تقسیم‌بندی چراغها درصد نور نیم‌کره بالا و پایین آن محاسبه می‌شود و با انواع ده گانه مقایسه و نزدیکترین تقسیم‌بندی انتخاب می‌شود.

۱۰ توزیع مختلف با معادلات ریاضی به شرح زیر تعریف شده‌اند:

جدول ۲ ـ ۵ : تقسیم‌بندی منطقه‌ای بریتانیایی

BZ_1	BZ_2	BZ_3	BZ_4	BZ_5	BZ_6	BZ_7	BZ_8	BZ_9	BZ_{10}
$\cos^4\theta$	$\cos^3\theta$	$\cos^2\theta$	$\cos^{1.5}\theta$	$\cos\theta$	$1+2\cos\theta$	$2+\cos\theta$	ثابت	$1+\sin\theta$	$\sin\theta$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ توزیع شدت نور-منحنی پخش نور

مثال ۲ ـ ۹

یک چراغ با تقسیم‌بندی BZ_5 در نیمکره پایین دارای حداکثر شدت نور ۲۰۰ کاندیلاست. کل شار نوری آن را حساب کنید.

با استفاده از (۲ ـ ۱۵) برای نیم فضای پایین

$$\Phi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} 200\cos\theta \; 2\pi\sin\theta d\theta$$

$$= 200\pi \left(\sin^2 \frac{\pi}{2} - \sin^2 0\right) = 200\pi = 628.32 \quad \text{لومن}$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ اندازه‌گیری کمیت‌های روشنایی (فتومتری)

۲ ـ ۸ ـ اندازه گیری کمیتهای روشنایی (فوتومتری)

اندازه گیری کمیتهای نوری، فوتومتری نامیده می‌شود که در طی تاریخ مهندسی روشنایی پیشرفتهای قابل ملاحظه‌ای کرده است. در فوتومترهای اولیه چشم انسان در اندازه گیری نقش اساسی را به‌عهده داشت. چون چشم انسان قادر به اندازه گیری مطلق نیست، تنها می‌تواند از طریق مقایسهٔ دو کمیت، یکی معلوم (استاندارد) و دیگری مجهول، کمیت مجهول را معین کند. برعکس، بسیاری از فوتومترهای امروزی که فوتومتر فیزیکی نامیده می‌شوند کمیتهای نوری را به‌طور مطلق اندازه می‌گیرند، مثل نورسنج که شدت روشنایی روی یک سطح را از طریق اندازه گیری جریان برقی که در سلول فوتوالکتریک برقرار می‌کند، اندازه گیری می‌کند. فوتومتری دارای دامنهٔ بسیار وسیعی است و هدف ما در اینجا تنها آشنا ساختن خوانندگان با چند روش اندازه گیری معمول است.

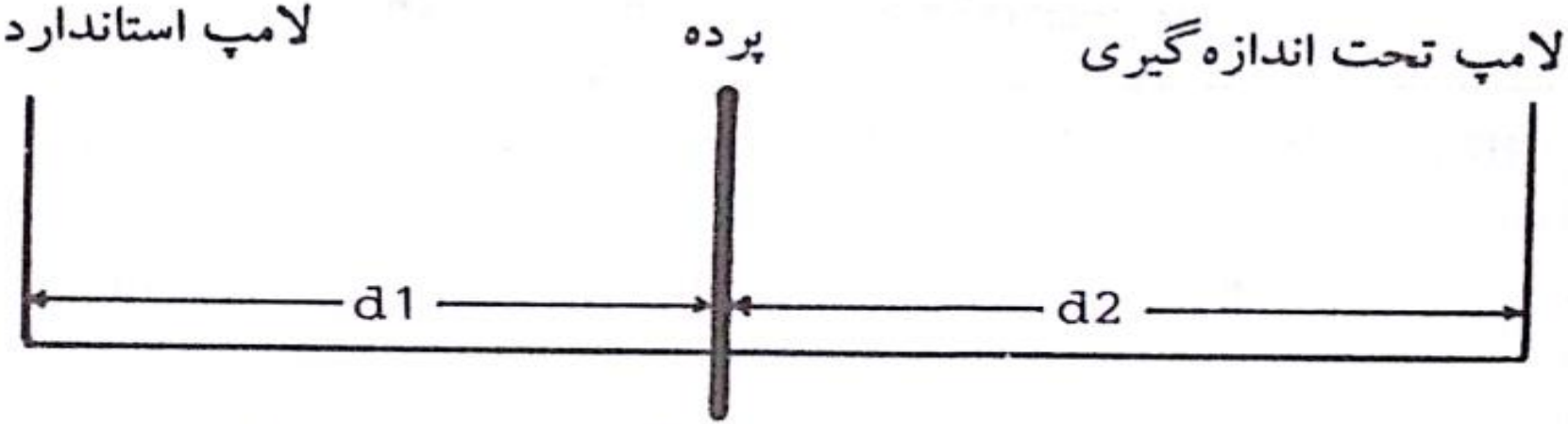
روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ اندازه‌گیری کمیت‌های روشنایی (فتومتری)

۲ ـ ۸ ـ ۱ ـ اندازه‌گیری شدت نور لامپها

شدت نور یک لامپ را از طریق مقایسه با یک لامپ استاندارد که دارای شدت نور معلوم است بدست می‌آورند. برای این کار، از فوتومتر مطابق شکل ۲ ـ ۷ استفاده می‌شود.



شکل ۲ ـ ۷ : فوتومتر برای اندازه‌گیری شدت نور لامپ

روشنایی

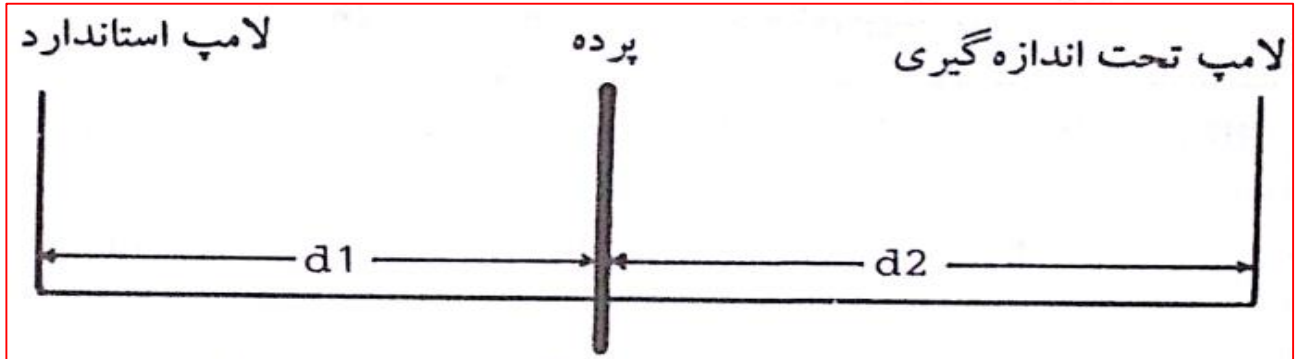
✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ اندازه‌گیری کمیت‌های روشنایی (فتومتری)

لامپ استاندارد دارای شدت نور معلوم I_1 است و می‌خواهیم شدت نور لامپ تحت اندازه گیری را که مجهول است و آن را I_2 می‌نامیم معین کنیم. پردهٔ متحرک را روی ریل آن‌قدر حرکت می‌دهیم که شدت روشنایی روی دو سطح آن به تشخیص چشم یا وسیلهٔ فیزیکی برابر شود. در این حالت:

$$\frac{I_1}{d_1^2} = \frac{I_2}{d_2^2} \qquad (۱۶-۲)$$

که از آن مقدار I_2 به سهولت قابل محاسبه است.



شکل ۲ ـ ۷ : فوتومتر برای اندازه‌گیری شدت نور لامپ

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ اندازه‌گیری کمیت‌های روشنایی (فتومتری)

۲ـ۸ـ۲ـ اندازه گیری شار نوری یک لامپ

برای اندازه گیری شار نوری یک لامپ از کرهٔ اولبریخت استفاده می‌کنیم. این فوتومتر از یک کرهٔ بزرگ توخالی تشکیل می‌شود که سطح داخلی آن با رنگ سفید پوشیده شده است و نور را کاملاً پخش می‌کند. لامپ تحت آزمایش را در داخل کره می‌آویزیم و با قرار دادن مانعی از تشعشع مستقیم نور لامپ به قسمت کوچکی از سطح داخلی کره ممانعت می‌کنیم. در این حالت می‌توان نشان داد که شدت روشنایی که از طریق انعکاس از سطح داخلی کره به این قسمت می‌رسد با شار نوری لامپ متناسب است و با اندازه گیری این شدت روشنایی می‌توان کل شار نوری را محاسبه کرد. این اندازه گیری را هم می‌توان به سهولت از طریق مقایسه با لامپ استاندارد انجام داد.

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ اندازه‌گیری کمیت‌های روشنایی (فتومتری)

برای نشان دادن این حقیقت که شدت روشنایی روی سطح داخلی کره با شار نوری متناسب است، کل شار نوری لامپ را برابر Φ فرض می‌کنیم و شعاع کره را R درنظر می‌گیریم. در این صورت شدت روشنایی که به هر نقطهٔ سطح کره می‌رسد برابر است با :

$$E = \frac{\Phi}{4\pi R^2}$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ اندازه‌گیری کمیت‌های روشنایی (فتومتری)

اگر ضریب انعکاس سطح کره ρ باشد، شار نوری برابر $\rho\Phi$ از سطح داخلی کره منعکس می‌شود که به علت پخش شدن به‌طور یکسان به همهٔ نقاط سطح کره می‌تابد و در اثر انعکاس اول شدت روشنایی E_1 در همهٔ نقاط تولید می‌شود.

$$E_1 = \frac{\rho\Phi}{4\pi R^2}$$

از کل شار نوری $\rho\Phi$ مقدار $\rho^2\Phi$ منعکس می‌شود و این انعکاس دوم شدت روشنایی E_2 در همهٔ نقاط تولید می‌کند.

$$E_2 = \frac{\rho^2\Phi}{4\pi R^2}$$

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ اندازه‌گیری کمیت‌های روشنایی (فتومتری)

به همین ترتیب می‌توان شدت روشنایی ناشی از همهٔ انعکاسها را محاسبه کرد و نتیجه از این قرار می‌شود:

$$E_{کل} = \frac{\Phi}{4\pi R^2}\left[\rho + \rho^2 + \rho^3 + \dots\right]$$

$$E_{کل} = \left(\frac{\Phi}{4\pi R^2}\right) \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \qquad (۱۷-۲)$$

که تناسب شدت روشنایی پشت مانع را با کل شار نوری نشان می‌دهد.

روشنایی

✓ تعاریف و کمیت‌های اصلی روشنایی

❖ اندازه‌گیری کمیت‌های روشنایی (فتومتری)

۲ـ۸ـ۳ـ اندازه گیری شدت روشنایی

شدت روشنایی را با استفاده از سلول فوتوالکتریک اندازه گیری می‌کنیم. در این وسایل نور تابیده شده بر سطح سلول، جریانی برقی برقرار می‌کند که مقدار آن تابع شدت روشنایی است و با اندازه گیری جریان، شدت روشنایی را مشخص می‌کنیم. این وسایل را به‌صورت نورسنج عکاسی قبلاً دیده‌اید.