

## Фотометрія

Слово "фотометрія" складене з двох грецьких слів і означає "світлові (оптичні) вимірювання".

Під оптичним випромінюванням розуміють електромагнітне випромінювання, довжина хвилі якого міститься в діапазоні з умовними межами від  $10^3$  нм до 1 мм. До оптичного випромінювання належить видиме випромінювання (світло у вузькому значенні слова), що займає діапазон довжин хвиль від 380-400 нм до 760-780 нм. Саме таке випромінювання викликає зорове відчуття у людини. З довгохвильового боку до цього діапазону аж до  $\lambda \approx 1$  мм розташована область інфрачервоного (ІЧ), а з короткохвильового – області ультрафіолетового (УФ) випромінювання та ультрам'якого рентгенівського випромінювання (аж до  $\lambda \approx 1$  нм).

Для світла, тобто електромагнітних хвиль видимого діапазону, були встановлені (історично першими) властивості електромагнітного випромінювання та величини, що кількісно оцінюють це випромінювання, введені одиниці вимірювання цих величин. Пізніше на основі уже вибудованої системи світлових величин та їх одиниць вимірювання була створена система енергетичних величин і їх одиниць для вимірювання оптичного випромінювання, яке крім видимої ділянки спектру ("світла") містить і суміжні ділянки - "ультрафіолетову" та "інфрачервону".

Вихідною характеристикою, яка використовується при вимірюванні світлових та енергетичних величин, є потужність випромінювання, яка називається потоком випромінювання -  $\Phi$ . Потік - це потужність, що переноситься у вигляді випромінювання і яку вимірюють відношенням енергії випромінювання до тривалості переносу, що значно перевищує період коливань. Якщо виміряний у видимій ділянці спектру потік пов'язують із спектральною чутливістю людського ока, то застосовують термін "світловий потік". У разі вимірювання потоку за допомогою об'єктивних приладів кажуть про "енергетичний потік". В позначеннях потоків використовують індекси: "v" - видимий, "e" - енергетичний. При вимірюванні світлових величин застосовують термін "фотометрія", а енергетичних величин - "радіометрія".

Для вимірювання енергетичного потоку застосовують одиниці вимірювання потужності - Вт. При вимірюванні світлового потоку використовують одиницю - лм (люмен).

Якщо випромінювання складне, тобто складається з кількох монохроматичних складових, то повний енергетичний потік такого випромінювання складається з суми монохроматичних енергетичних потоків.

У випадку ж суцільного спектру в діапазоні від  $\lambda_1$  до  $\lambda_2$  повний енергетичний потік визначиться, як:

$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_e(\lambda) d\lambda \quad (2.1)$$

де  $\varphi_e(\lambda)$  - величина, яка називається спектральною густиною енергетичного потоку:

$$\varphi_e(\lambda) = \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \quad (2.2)$$

$d\Phi_e$  - потік енергії, який припадає на довжини хвиль від  $\lambda$  до  $\lambda + d\lambda$ .

**Система фотометричних величин:**

Дія світла на око залежить від довжини хвилі. Чутливість середньо статистичного адаптованого людського ока до оптичного випромінювання різних довжин хвиль відображається кривою спектральної чутливості ока (рис.2.1), встановленою міжнародною угодою (1924 р.), яка застосовується при всіх розрахунках світлового впливу випромінювання. Величина  $V(\lambda)$  - відносна спектральна світлова ефективність монохроматичного випромінювання.

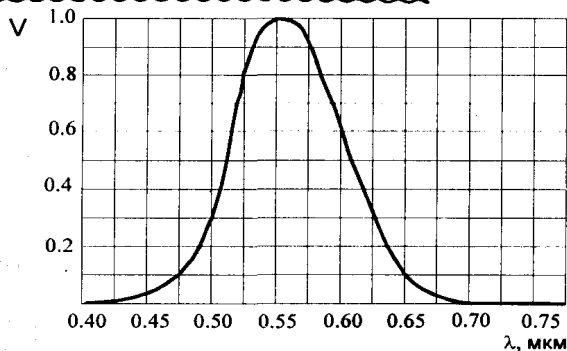


Рис.2.1. Крива відносної спектральної чутливості ока

Найбільш чутливе око до випромінювання з  $\lambda = 0.55$  мкм (зелене світло). Функція  $V$  для цієї довжини хвилі дорівнює одиниці. При тому ж потоці енергії інтенсивність світла для інших довжин хвиль оцінюється оком як менша. Відповідно для інших, крім  $\lambda = 0.55$  мкм, довжин хвиль і значення функції  $V$  будуть менші за 1. Поза інтервалу довжин хвиль видимого світла  $V = 0$ .

**Світловий потік**  $\Phi_v$  - це потужність випромінювання, яка оцінюється по його дії на середнестатистичне людське око.

Одиниця вимірювання світлового потоку - люмен (лм). При  $\lambda = 0.55$  мкм світловий потік в 1 лм відповідає енергетичному потоку в (1/680) Вт.

Світловий потік і енергетичний потік в інтервалі  $d\lambda$  пов'язані між собою співвідношенням:

$$d\Phi_v = K_m \cdot V(\lambda) \cdot d\Phi_e \quad (2.3)$$

де  $K_m = 680$  лм/Вт.<sup>\*)</sup>

Якщо підставити (2.1) в (2.3), то отримаємо:

$$d\Phi = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \varphi(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2.4)$$

Повний світловий потік

*\*) Далі індекс "v" для світлових величин писати не будемо. При цьому будемо мати на увазі, що величина без індекса - світлова величина. Для енергетичних величин будемо писати індекс "e".*

$$\Phi = K_m \cdot \int_0^{\infty} V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2.5)$$

**Сила світла** – це відношенням світлового потоку, що поширюється від джерела в деякому заданому напрямі всередині елементарного телесного кута, що має центральною віссю цей напрям, до цього елементарного телесного кута:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.6)$$

Для ізотропних джерел (коли сила світла  $I$  не залежить від напрямку)

$$I = \frac{\Phi}{4\pi} \quad (2.7)$$

де  $\Phi$  – повний світловий потік, який випромінюється джерелом в усіх напрямках (в телесному куті  $4\pi$  стерадіан).

Силу світла можна використовувати не тільки для точкового джерела, а і у випадку протяжного джерела, говорячи про силу світла елемента його поверхні  $dA$ . Тоді під  $d\Phi$  в (2.6) розуміють світловий потік, який випромінює елемент поверхні  $dA$  в межах телесного кута  $d\Omega$ .

Одиниця сили світла в СІ- кандела (кд), або свіча (св).

**Освітленість** – це відношення світлового потоку, що падає на елемент поверхні, до площі цього елемента поверхні

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.8)$$

Одиницею освітленості є люкс (лк), рівний освітленості, що створює світловий потік в 1 лм, який рівномірно розподілений по поверхні в  $1 \text{ м}^2$ :

$$1 \text{ лк} = \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ м}^2} \quad (2.9)$$

Освітленість  $E$ , що створює точкове джерело, можна виразити через силу світла  $I$  джерела, відстань  $r$  від поверхні до джерела та кут  $\alpha$  між нормаллю до поверхні  $\vec{n}$  і напрямком на джерело (рис.2.2):

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha \quad (2.10)$$

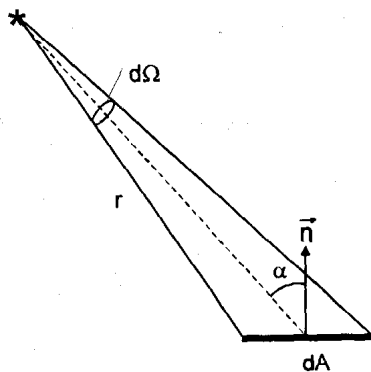


Рис.2.2. До визначення освітленості

**Світність**. Протяжне у просторі джерело можна характеризувати світністю  $M$  різних його ділянок. Під світністю  $M$  розуміють світловий потік, який виходить з одиниці поверхні у всіх напрямках (в межах значень  $\theta$  від 0 до  $\pi/2$ ;  $\theta$  – кут, який утворений даним напрямком із зовнішньою нормаллю до поверхні):

$$M = \frac{d\Phi_{\text{випр}}}{dA} \quad (2.11)$$

де  $\Phi_{\text{випр}}$  - світловий потік, що випромінюється по всіх напрямках поверхню  $dA$  джерела.

Світність може характеризувати не тільки поверхню, що випромінює світло, але і поверхню, що не дзеркально відбиває світло, яке падає на неї. Тоді під  $\Phi_{\text{випр}}$  в (2.11) розуміють світловий потік, що відбивається поверхню  $dA$  у всіх напрямках.

Світність  $M$  вимірюється у  $\text{лм}/\text{м}^2$ . Формально  $\text{лм}/\text{м}^2 = \text{лк}$  - одиниця вимірювання освітленості.

**Яскравість.** Для характеристики поверхні, що випромінює світло у заданому напрямку, використовують яскравість ( $L$ ). Яскравість визначається як відношення сили світла  $dI$  елемента поверхні  $dA$  у заданому напрямку до проекції площі  $dA$  на площину, що перпендикулярна до обраного напрямку (рис.2.3):

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos \theta} = \frac{d^2\Phi_{\text{випр}}}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos \theta} \quad (2.12)$$

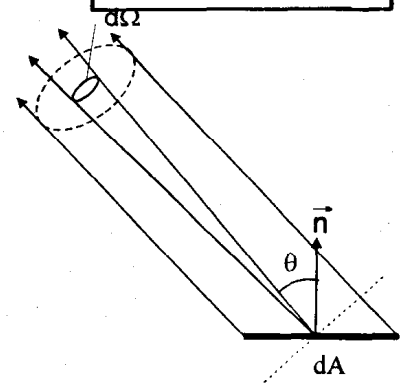


Рис.2.3. До визначення яскравості

$L \neq L(\theta)$

В загальному випадку яскравість для різних напрямків різна. Джерела, яскравість яких у всіх напрямках однакова, називаються ламбертовськими, або косинусними.

Для ламбертовських джерел світність та яскравість пов'язані простим співвідношенням:

$$M = \pi L \quad (2.13)$$

Одиницею яскравості є  $\text{кд}/\text{м}^2$ , або  $\text{нит}$  ( $\text{нтл}$ ).