

Практичне заняття 2. Фотометрія

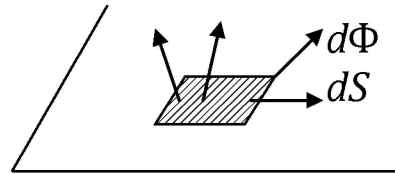
Зміст. Фотометричні величини. Визначення та формули фотометричних величин. Формули зв'язку між фотометричними величинами. Енергетичні та фотометричні одиниці їх вимірювання. Прилади для вимірювання фотометричних величин.

Основні формули:

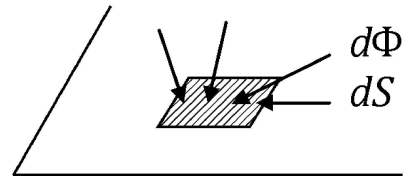
$$\text{Сила світла } I = \frac{\Phi}{\omega}; \quad I = \frac{d\Phi}{d\omega}; \quad I = \frac{\Phi}{4\pi}.$$

$$\text{Світловий потік } \Phi = 4\pi I.$$

$$\text{Світність } R = \frac{d\Phi}{dS}, \text{ або } R = \frac{\Phi}{S}.$$

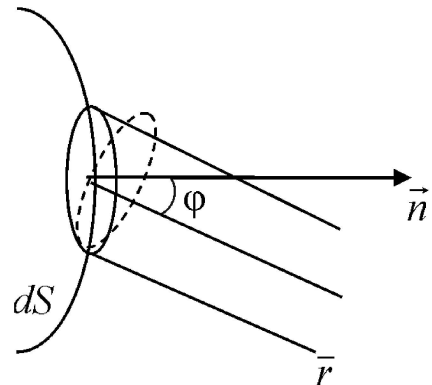


$$\text{Освітленість } E = \frac{d\Phi}{dS}, \text{ або } E = \frac{\Phi}{S}.$$

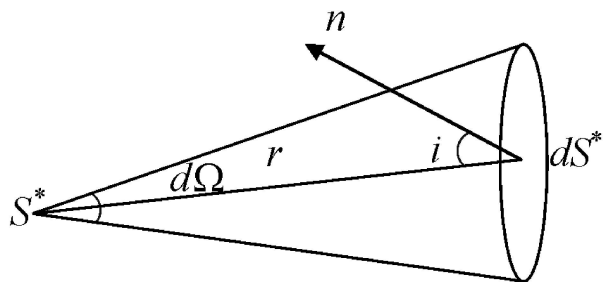


$$\text{Яскравість } B = \frac{I}{dS \cos(\vec{n}, \vec{r})};$$

$$B_{max} = \frac{I}{dS}, \text{ при } \varphi=0 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{ср} \cdot \text{м}^2} \right).$$



$$E = \frac{I}{r^2} \cos(r, n).$$



Порівняльна таблиця

Величина	Фотометрична одиниця виміру	Енергетична одиниця виміру
Світловий потік Φ	люмен	Вт
Сила світла I	кандела	Вт/ср
Освітленість E	люкс	Вт/м ²
Світність R	люкс	Вт/м ²
B	ніт	кд/м ² = Вт/ср м ²

Методичні вказівки

Основна мета заняття: ознайомлення з фотометричними величинами, пояснення необхідності їх введення в оптику, тому що око людини здатне сприймати тільки окремий діапазон електромагнітних хвиль. Розрахунки фотометричних величин для окремих випадків. Ознайомлення з фотометричними приладами.

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Для друкування фотознімка при лампі, яка дає силу світла 40 кандел, на відстані 1 метр потрібен час друкування 2 секунди. Який потрібен час друкування при лампі 30 кд на відстані 1,5 метра? Припускаємо, що загальна кількість енергії, яку отримує фотознімок, повинна бути в першому та другому випадках однаковою.

$I_1 = 40$ кд	Світловий потік – це сумарна потужність випромінювання, тобто
$R_1 = 1$	
$t_1 = 2$	
$I_2 = 30$	
$R_2 = 1,5$	
$W_1 = W_2$	
$\Phi = \frac{W}{t}, E = \frac{\Phi}{S} = \frac{W}{t \cdot S},$	
тобто $W = E \cdot t \cdot S$.	
Оскільки $W_1 = W_2$, записуємо $E_1 \cdot t_1 \cdot S = E_2 \cdot t_2 \cdot S$,	
або $\frac{I_1}{R_1^2} \cdot t_1 = \frac{I_2}{R_2^2} \cdot t_2$, визначаємо t_2 :	
$t_2 = ?$	$t_2 = \frac{I_1 t_1 \cdot R_2^2}{R_1^2 \cdot I} = \frac{40 \cdot 2 \cdot 2,25}{1 \cdot 30} = 6 \text{ с.}$

Відповідь: 6 с.

Аналіз результату: Зрозуміло, що час друкування збільшиться, тому що в другому випадку сила світла лампи зменшилась, а відстань до фотопаперу збільшилась.

Задача 2. Люмінесцентна циліндрична лампа діаметром $d = 2,5$ см і довжиною $l = 40$ см утворює на відстані $r = 5$ м в напрямку, перпендикулярному вісі лампи; освітленість $E = 2$ лк. Приймаючи лампу за косинусний випромінювач, визначити: 1) силу світла I в даному напрямку; 2) яскравість; 3) світність R лампи.

Аналіз та розв'язок:

1) Більший із двох параметрів лампи – довжина – в 12 раз менше за відстань, на якій виміряна освітленість. З цього випливає, що для розрахунку сили світла в даному напрямку можна прийняти лампу за точкове джерело і задіяти формулу

$$d = 2,5 \text{ см} = 0,025 \text{ м}$$

$$l = 40 \text{ см} = 0,4 \text{ м}$$

$$r = 5 \text{ м}$$

$$E = 2 \text{ лк}$$

$$E = \frac{I}{r^2}, \text{ звідки } I = Er^2.$$

$$I = ?$$

$$B = ?$$

$$R = ?$$

Підставивши значення величин у цю формулу і зробивши розрахунок, отримаємо $I = 25$ кд,

2) Для визначення яскравості застосуємо формулу $B = \frac{I}{S}$, де S – площа проекції протяжного джерела світла на площину, яка перпендикулярна напрямку спостереження.

У випадку циліндричної люмінесцентної лампи проекція має форму прямокутника довжиною l і шириною d , звідси

$$B = \frac{I}{(ld)}.$$

Провівши розрахунок за цією формулою, знайдемо $B = 2,5 \text{ ккд/м}^2 = 2,5 \text{ кніт}$.

3) Оскільки люмінесцентну лампу можна вважати косинусним випромінювачем, то її світність знаходимо за законом Ламберта:

$$R = \pi B = 7,9 \text{ клк.}$$

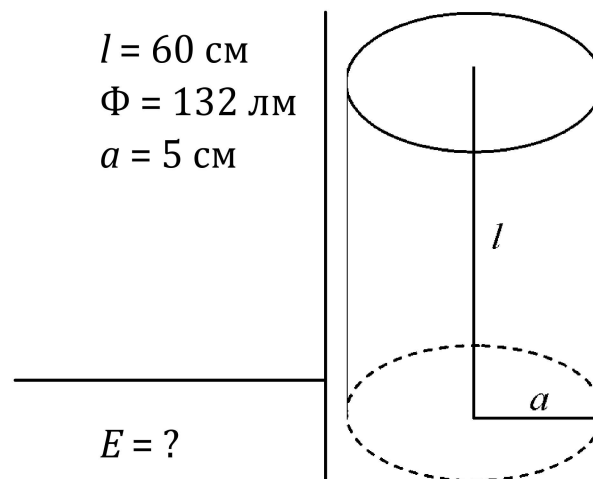
$$\text{Відповіді: } I = 25 \text{ кд; } B = 2,5 \text{ кніт; } R = 7,9 \text{ клк.}$$

Задача 3. Загальний світловий потік, який випромінюється прямою розжареною ниткою довжиною $l = 60$ см, дорівнює $\Phi = 132$ лм. Визначити найбільшу освітленість плоскої поверхні, яка розміщена паралельно нитки на відстані $a = 5$ см від неї (мається на увазі місце, яке знаходиться навпроти середини нитки).

Аналіз та розв'язок. Оскільки $l \gg a$, то поверхню, яка рівномірно освітлена на відстані a , буде циліндрична поверхня, тому що краєвими ефектами на кінцях нитки можна знехтувати.

Проведемо циліндр радіусом a навколо нитки.

Розв'язок:



Оскільки $l \gg a$, то світловий потік будемо вважати рівномірним.

$$E = \frac{\Phi}{S}, \text{ де } S - \text{бокова поверхня циліндра.}$$

$$E = \frac{\Phi}{2\pi al} = \frac{132}{6,28 \cdot 0,05 \cdot 0,6} = 700 \text{ лк.}$$

Відповідь: $E = 700$ лк.

Задачі для самостійного розв'язування та домашнього завдання

1. Аркуш паперу розміром 10×30 см освітлюється світлом від лампи силою в 100 кд, причому на нього падає 0,5% всього світла, що відсилається лампою. Знайти освітленість цього аркуша паперу.
2. Електрична лампа в 100 кд відсилає в усі сторони кожную хвилину 122 Дж світлової енергії. Знайти: 1) механічний еквівалент світла; 2) коефіцієнт корисної дії світлової віддачі, якщо лампа вживає потужність 100 Вт.
3. У центрі круглого стола діаметром 1,2 м є настільна лампа з однієї електричної лампи на висоті 40 см від поверхні столу. Над центром столу на висоті 2 м від його поверхні висить люстра з чотирьох таких же ламп. В якому разі буде більша освітленість на краю столу (та у скільки разів) – коли горить настільна лампа чи коли горить люстра?
4. З якої найбільшої відстані розвідник може побачити вночі вогник цигарки ворожого солдата, якщо сила світла цигарки при сильному затягуванні $I = 1/400$ кд? Найменший світловий потік, який сприймає око, дорівнює $\Phi = 10^{-13}$ лм. Поверхня зіниці ока в темряві $S = 0,4$ см.
5. Над горизонтальною поверхнею MN розміщені на висоті $h = 2$ м і на відстані $L = 1$ м один від одного два випромінювачі світла, які дають світлові потоки по $\Phi = 300$ лм кожний. Визначити освітленість на поверхні MN : а) в точках під випромінювачами світла; б) на середині відстані між ними.
6. Висота Сонця змінюється від кута α до φ . Як зміниться освітленість поверхні Землі?
7. Довжина розжареної до білого світіння металевої нитки дорівнює 30 см. Діаметр 25 мкм. Сила світла нитки в перпендикулярному до неї напрямку становить 24 кд. Знайти яскравість нитки.

8. На якій висоті треба повісити лампочку з силою світла 10 кд над аркушем матового білого паперу, щоб його яскравість дорівнювала 1 ніт, якщо коефіцієнт відбивання паперу 0,8?
9. На висоті 3 м над землею на відстані 4 м від стіни висить лампа силою світла 100 св. Визначити освітленість стіни і горизонтальної поверхні землі біля лінії їх перетину.
10. Отвір у корпусі ліхтаря закритий плоским матовим склом з розмірами (10×15) см². Сила світла ліхтаря в напрямі під кутом 60° до нормалі дорівнює 15 кд. Знайти яскравість скла.
11. На аркуш білого паперу (20×30 см) нормально до поверхні падає світловий потік у 120 лм. Яка освітленість аркуша паперу, його світність та яскравість? Коефіцієнт відбивання = 0,75.
12. На екран площею 3 м², який розсіює світло з коефіцієнтом відбивання 0,8, падає світловий потік 150 лм. Яка світність та яскравість екрана?
13. Світильник, що має вигляд сфери радіусом $r = 6,0$ см, який рівномірно освітлює кімнату, знаходиться на відстані $r_0 = 3$ м від підлоги, Яскравість світильника $B = 2 \cdot 10^4$ нт і не залежить від напрямку. Визначити освітленість поля в точці, що знаходиться під світильником.