

## Лабораторна робота №13

### Вимір фотометричних величин на фотометричній лаві

Ціль роботи: Вивчити методи виміру основних фотометричних величин на фотометричній лаві.

Завдання:

- Повторити теоретичний матеріал по фотометричних величинах і методам їхнього виміру.
- Ознайомитися з конструкцією фотометричної лави і її елементів.
- Вимірювати силу світла лампи накалювання і її яскравість різними методами.
- Зробити метрологічну обробку результатів вимірювань. Побудувати графік залежності  $E=f(l)$ ,  $I=const$  і виконати його апроксимацію.

#### 1. Загальні положення

##### **1.1. Фотометричні величини й одиниці їхнього виміру**

Система фотометричних величин й одиниць забезпечує можливість чисової характеристики параметрів випромінювання в оптичному діапазоні. Ця система охоплює величини й одиниці, вироблені стосовно до видимого випромінювання й отримавшого назву світлових (позначаються індексом  $v$ ), а також величини й одиниці, вироблені для енергетичних вимірювань як у видимої, так й у невидимій частині випромінювання оптичного діапазону, названі енергетичними (позначаються індексом  $e$ ).

Як основна одиниця, до якої прив'язують одиниці вимірювань й енергетичних і світлових величин, є одиниця потужності ват (Вт).

Енергетичні й світлові величини вимірюються в різних одиницях. Між ними встановлений зв'язок, що дозволяє проводити відповідні перерахування.

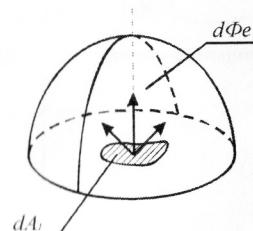
###### **1.1.1. Енергетичні величини**

Потік випромінювання  $\Phi_e$  – середня потужність, що переноситься оптичним випромінюванням за час, значно більше періоду електромагнітних коливань.

Спектральний склад випромінювання характеризується спектральним розподілом потоку випромінювання – функцією, що описує залежність монохроматичного випромінювання  $\Phi_e(\lambda)$  від довжини хвилі.

Добуток  $\Phi_e(\lambda)d\lambda$  визначає потужність, перенесену потоком в інтервалі довжин хвиль  $d\lambda$ .

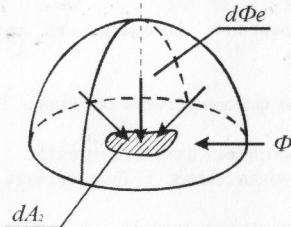
$$\Phi_e = \int_0^{\infty} \Phi_e(\lambda) d\lambda \quad [\text{Вт}] \quad (1)$$



Енергетична світність  $M_e$  – відношення потоку випромінювання, що випускає малим елементом поверхні в півсферу до площини цього елемента  $d_l$ .

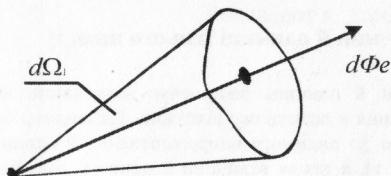
$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dA_l} \quad [\text{Вт}/\text{м}^2] \quad (2)$$

Енергетична освітленість (опромінення)  $E_e$  – відношення потоку випромінювання  $d\Phi_e$ , що падає на малий елемент поверхні, до площини цього елемента  $dA_2$ .



$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA_2} \quad [\text{Вт}/\text{м}^2] \quad (3)$$

Сила випромінювання  $I_e$  – відношення потоку випромінювання  $d\Phi_e$ , що поширяється від джерела в певному напрямку всередині малого тілесного кута, до цього тілесного кута  $d\Omega_e$ .

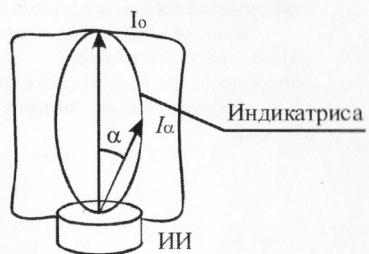
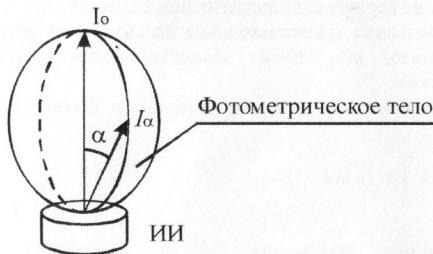


$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega_e} \quad [\text{Вт/порівн}] \quad (4)$$

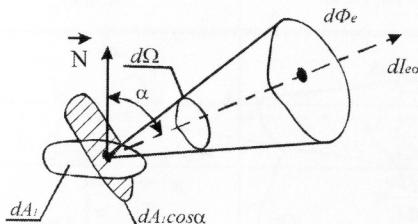
Поняття сили випромінювання ставиться до крапкового джерела випромінювання (розміри якого малі в порівнянні з відстанню, на якому розглядається його дія) ( $d_n \leq \frac{1}{10} l$ ).

Якщо із крапки, у якій розташоване джерело випромінювання в різних напрямках відкладати значення сили випромінювання, то поверхня, на якій лежать кінці векторів  $I$  називають фотометричним тілом випромінювача.

У довільній площині, що проходить через центр джерела випромінювання,



роздподіл величини  $\vec{I}$  характеризується індикаторисою випромінювання.



Енергетична яскравість  $L_{ea}$  випромінюючої поверхні  $d_l$  у даному напрямку  $\alpha$  - відношення обмірюваної в цьому напрямку енергетичної сили світла до видимої площини випромінюючої поверхні.

$$L_{ea} = \frac{dI_{ea}}{dA_i \cos \alpha} \quad [\text{Вт}/(\text{порівн. м}^2)] \quad (5)$$

$$L_{ea} = \frac{d^2 \Phi_{ea}}{d\Omega dA_i \cos \alpha} \quad (6)$$

Енергетична яскравість описує розподіл потоку по тілесному куті й по випромінюючій поверхні.

### 1.1.2. Світлові величини

При оцінці потужності випромінювання по виробленому їм світловому відчуттю, тобто по реакції людського зору на вплив потоку випромінювання, користуються світловим потоком і відповідними світловими величинами. Визначення світлових величин аналогічні визначенням відповідних енергетичних величин.

### 1.1.3. Переход від енергетичних величин до світлових

Людське око не однаково чутливе до випромінювання різних довжин хвиль. Якщо для деякого випромінювача виміряти потік випромінювання в нескінченно малому діапазоні довжин хвиль  $\lambda \dots \lambda + \Delta \lambda$  і світловий потік у тім же діапазоні, то відношення значення світлового потоку  $\Phi_{v\lambda}$  до значення потоку випромінювання  $\Phi_{e\lambda}$  буде характеризувати світлову ефективність.

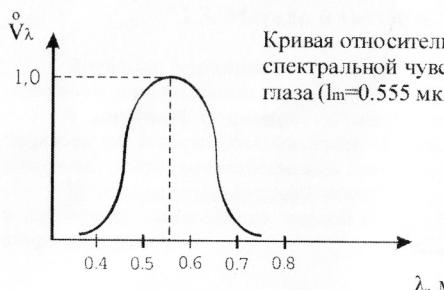
$$K(\lambda) = \frac{\Phi_{v\lambda}}{\Phi_{e\lambda}} \quad [\text{лм}/\text{Вт}] \quad (7)$$

Відношення  $K_\lambda$  для якої-небудь довжини хвилі випромінювання до максимального значення  $K_{\lambda m}$  називається відносною спектральною світловою ефективністю (для поля зору  $4^\circ$ ).

$$\dot{V}(\lambda) = \frac{K_\lambda}{K_{\lambda m}} \quad (8)$$

де  $K_{\lambda m} = 683 \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$  - світловий еквівалент потоку випромінювання.

$$\Phi_v = \int_{0.38}^{0.76} K(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda = 683 \int_{0.38}^{0.76} \dot{V}(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda \quad [\text{лм}] \quad (9)$$



Кривая относительной спектральной чувствительности глаза ( $\text{Im}=0.555 \text{ мкм}$ )

Світловий потік	$\Phi_v = 683 \int_{0.38}^{0.76} V(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda$	$\text{лм}$ (люмен)
Світлова енергія	$Q_v = \int_0^t \Phi_v(t) dt$	$\text{лм} \cdot \text{с}$
Сила світла	$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$	$\text{кд}$ (канделл)
Світимістъ	$M_v = \frac{d\Phi_v}{dA_i}$	$\frac{\text{лм}}{m^2}$
Освітленість	$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA_2}$	$\text{лк}$ (люкс)
Яскравість	$L_{va} = \frac{dI_{va}}{dA_i \cos \alpha}$	$\frac{\text{кд}}{m^2}$

За одиницю світлового потоку прийнята незалежна величина - люмен, рівна 1/683 Вт на довжині хвилі 0,555 мкм.

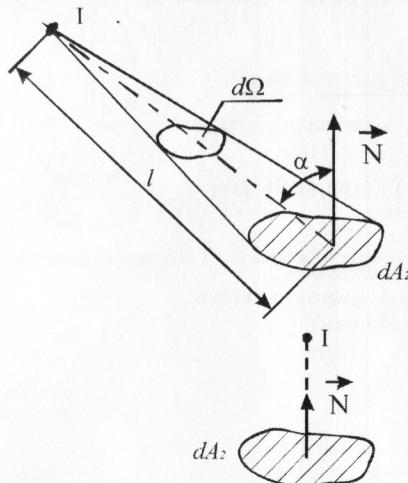
Рішенням XVI Генеральної конференції мір і ваг (1979 р.) за одиницю сили світла прийнята кандела, що представляє собою силу світла в даному напрямку від джерела, що випускає монохроматичне випромінювання з довгої хвилі 0,555 мкм, сила випромінювання якого в цьому напрямку становить 1/683 Вт/порівн.

З урахуванням даного визначення, а також того, що  $1\text{лм} = 1/683\text{Вт}$  при  $\lambda = 0,555\text{мкм}$ , одиниця сили світла визначається як сила світла крапкового рівномірного джерела, світловий потік від якого в межах тілесного кута 1 порівн дорівнює 1 лм.

$$1\text{кд} = \frac{1\text{лм}}{1\text{ср}}$$

## 1.2. Основні фотометричні співвідношення

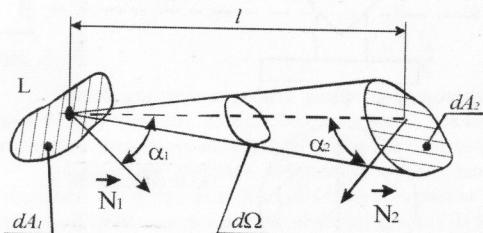
Опромінення, створюване крапковим джерелом випромінювання.



$$\begin{aligned} I &= \frac{d\Phi}{d\Omega} & d\Omega &= \frac{dA_2}{l^2} \cos \alpha \\ d\Phi &= Id\Omega = I \frac{dA_2}{l^2} \cos \alpha \\ E &= \frac{d\Phi}{dA_2} = \frac{I}{l^2} \cos \alpha \end{aligned} \quad (10)$$

$$\alpha = 0 \quad E = \frac{I}{l^2} \quad (11)$$

Потік випромінювання, що надходить із однієї площинки на іншу.

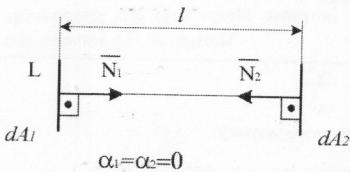


$$L = \frac{d^2\Phi}{dA_1 d\Omega \cos \alpha_1}$$

$$d\Omega = \frac{dA_2}{l^2} \cos \alpha_2$$

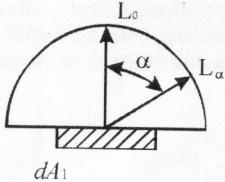
$$d^2\Phi = L \frac{dA_1 dA_2}{l^2} \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \quad (12)$$

$$d^2\Phi = L \frac{dA_1 dA_2}{l^2} \quad (13)$$



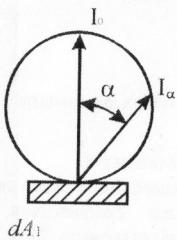
### Закон Ламберта

Для плоских джерел з яскравістю, однаковою у всіх напрямках, справедливий закон Ламберта, відповідно до якого сила випромінювання пропорційна косинусу кута  $\alpha$ .



$$L_\alpha = L_0 = \text{const}$$

$$L_\alpha = \frac{I_\alpha}{dA_1 \cos \alpha} \quad I_\alpha = L_\alpha dA_1 \cos \alpha$$



$$\alpha = 0^\circ \quad I_0 = L_0 dA_1$$

$$I_\alpha = I_0 \cos \alpha$$

(14)

### 1.3. Методи й засоби візуальної фотометрії

Візуально (суб'єктивно) фотометрією називають фотометричні виміри, у яких первинним вимірювальним перетворювачем (приймачем випромінювання) є око людини.

У візуальній фотометрії найчастіше застосовують нульовий метод виміру, що базується на здатності очка фіксувати рівність яркостей дотичних одночасно видимих поверхонь, освітлюваних джерелами світла одного складу.

Метод квадратів відстаней заснований на встановленні рівності освітленостей  $E_{v1}$  та  $E_{v2}$  двох дотичних ділянок плошкої поверхні, освітлюваних двома різними оптичними випромінювачами.

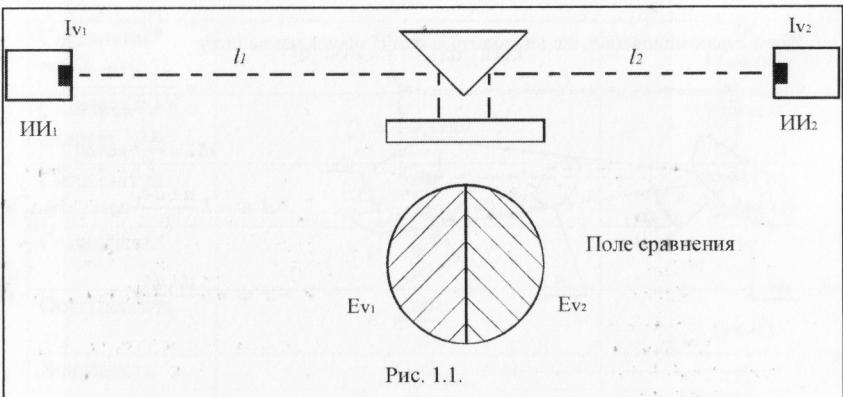


Рис. 1.1.

Для випадку нормальногопадіння світлового потоку:

$$\left. \begin{array}{l} E_{v1} = \frac{I_{v1}}{l_1^2} \cos \alpha_1 \\ E_{v2} = \frac{I_{v2}}{l_2^2} \cos \alpha_2 \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} E_{v1} = E_{v2} \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ \\ I_{v1} = I_{v2} \quad I_{v1} = I_{v2} \frac{l_1^2}{l_2^2} \end{array} \quad (15)$$

Метод косинусів заснований на порівнянні освітленостей  $E_{v1}$  й  $E_{v2}$  дотичних ділянок плоскої поверхні, освітлюваних двома різними випромінювачами із силою світла  $I_{v1}$  й  $I_{v2}$ , однаково вилучених від цієї поверхні, за рахунок зміни кута між напрямком осі світлового потоку й нормаллю до поверхні.

$$\left. \begin{array}{l} E_{v1} = \frac{I_{v1}}{l_1^2} \cos \alpha_1 \\ E_{v2} = \frac{I_{v2}}{l_2^2} \cos \alpha_2 \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} E_{v1} = E_{v2} \\ I_{v1} \cos \alpha_1 = I_{v2} \cos \alpha_2 \quad I_{v1} = I_{v2} \frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1} \end{array} \quad (16)$$

## 1.4. Вимірювання фотометричних величин

### 1.4.1. Вимірювання освітленості

Вимір освітленості належить до одного з найпоширеніших видів світлових вимірювань. Найбільш часто використовуються люксметри, що складаються із селенового фотоелемента й гальванометра. Величина погрішності становить 10%. Відхилення від справжніх значень освітленості відбувається через те, що випромінювання падає на поверхню фотоелемента під більшими кутами, що перевищують  $45^\circ$  з нормаллю. Світлофільтр, що наближає спектральні властивості фотоелемента до спектральних властивостей ока, у люксметрах звичайно не застосовуються, тому що він помітно знижує чутливість ПВ й збільшує помилку, що виникає при вимірюванні падаючих променів.

### 1.4.2. Вимірювання сили світла

Незважаючи на неточність застосування поняття сили світла до джерел світла звичайних розмірів, ним широко користуються внаслідок практичних зручностей. Вимірювати силу світла - значить звірити її з іншою відомою. Звичайно силу світла прямо не підраховують, і не вимірюють. Її визначають побічно, через вимір освітленості й відстані.

$$E_1 = \frac{I_1}{l_1^2} = E_2 \frac{I_2}{l_2^2}$$

$$I_2 = I_1 \frac{l_2^2}{l_1^2} \quad (17)$$

Найбільш зручно робити вимір на фотометричній лаві. Лава береться тим довша, чим більшу точність вимірюваних вимірювачів бажають мати; довжина лави залежить також від обраних границь освітленості на ПВ, сили світла ДВ та розмірів колби.

Найбільшу точність забезпечує метод, що складається в підборі таких двох відстаней  $l_1$  й  $l_2$  при яких джерела із силами світла  $I_1$  (зразкове джерело) і  $I_2$  (вимірюване джерело) здійснюють однакові освітленості на ПВ й однакові значення фотострумів. При цьому виключаються нелінійність ПВ.

Менш точним є метод порівняння фотострумів, отриманих від вимірюваного й зразкового ДВ при одній відстані з від ПВ. Очевидно, що сили світла пропорційні отриманим фотострумам.

$$\frac{I_{\phi 1}}{I_{\phi 2}} = \frac{I_1}{I_2} \quad l_1 = l_2 = const$$

$$I_2 = I_1 \frac{I_{\phi 2}}{I_{\phi 1}} \quad (18)$$

Світлова характеристика ПВ повинна бути лінійна.

Спектральні склади випромінювання порівнюваних ДВ істотні для будь-яких методів. Якщо вони однакові, то вимір можна проводити з кожним ПВ. Якщо ж спектральні склади різні, то застосовуваний ПВ повинен мати спектральну чутливість, близьку до спектральної чутливості середнього ока.

Простий, але менш точний метод виміру сили світла полягає у вимірі освітленості у двох крапках і відстані між цими крапками.

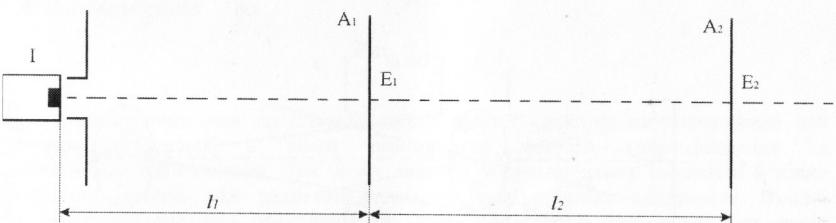


Рис. 1.2.

$$I = E_1 l_1^2 = E_2 (l_1 + l_2)^2$$

$$(E_1 - E_2) l_1^2 - 2E_2 l_1 l_2 - E_2 l_2^2 = 0$$

$$l_1 = \frac{E_2 l_2 + l_2 \sqrt{E_1 E_2}}{E_1 - E_2}$$

$$I = E_1 \left[ \frac{l_2 (E_2 + \sqrt{E_1 E_2})}{E_1 - E_2} \right]^2 \quad (19)$$

Відстань між крапками вибирають із таким розрахунком, щоб освітленості  $E_1$  й  $E_2$  значно відрізнялися один від одного.

### 1.4.3. Вимірювання яскравості

Вимір яскравості базується на використанні прямої пропорційності між яскравістю пучка променів і світловим потоком, що переноситься через дві певних ділянки поверхні (діафрагми).

У найпростішому яскравомірі, ділянка освітлюваної поверхні зображується об'єктивом на чутливій поверхні фотоелемента (ПВ). Потік, що виходить із центра поверхні в межах апертурного кута, обмежується оправою об'єктива, спеціальною діафрагмою перед ПВ й оправою ПВ. Ці елементи формують постійну сукупність пучка променів, що переносять світловий потік від світлої поверхні до ПВ. ПВ приєднаний до гальванометра, показання якого будуть пропорційні падаючому світловому потоку.

Недоліком яркомера є те, що вимірювана поверхня повинна перебувати на певній відстані від яскравоміра, що не завжди здійснено.

$$L_a = \frac{d^2\Phi}{dA_1 d\Omega \cos \alpha_1}$$

$$L_{\perp} = \frac{d^2\Phi}{dA_1 dA_2} l^2 \quad (20)$$

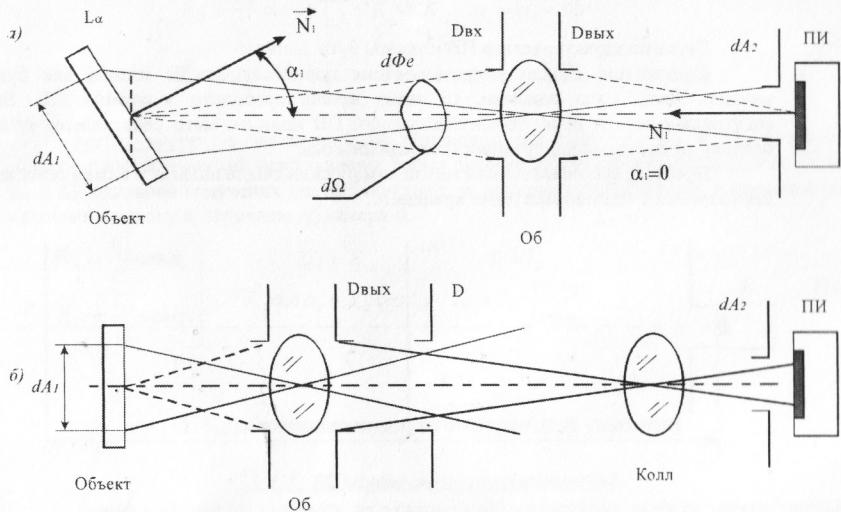
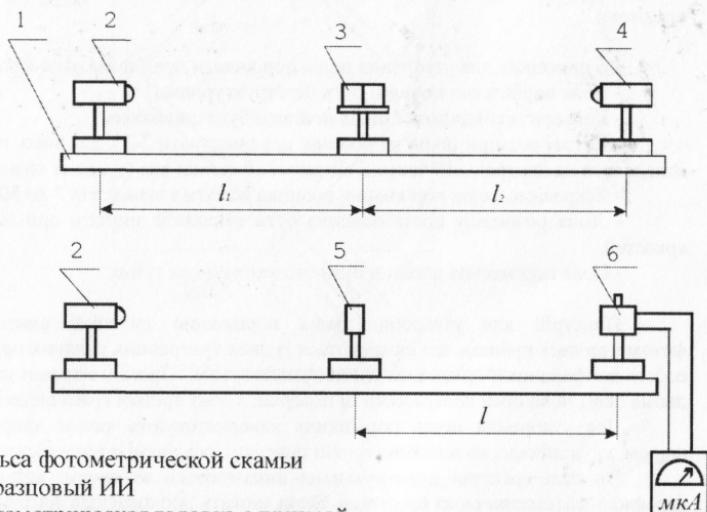


Рис. 1.3.

У більш досконалому яскравомірі застосовується колектив, що зображує вхідну зініцию об'єктива на чутливій пластинці ПВ. Між об'єктивом і колективом уздовж осі може переміщуватися діафрагма зі змінним отвором. Цю діафрагму встановлюють так, щоб вона сумістилась із зображенням вимірюваної поверхні, що утворить об'єктив. Тоді отвір діафрагми виявиться оптично сполученим зі своїм зображенням на вимірюваній поверхні, визначаючи ділянку, яскравість якого визначається. На поверхні ПВ завжди буде зображуватися рівномірно освітлена поверхня об'єктива, усуваючи зонну нерівномірність ПВ. Така схема дозволяє вимірювати яскравість предметів, що перебувають на відстанях рівних або більших подвійної фокусної відстані об'єктива.

## 2. Фотометрична лава та її елементи



1. Рельса фотометрической скамьи
2. Образцовый ИИ
3. Фотометрическая головка с призмой
4. Измеряемый ИИ
5. Линза с диафрагмой
6. Фотоприёмник

Рис. 2.1.

Фотометрична лава представляє собою пристрій якої призначені для зручного закріплення, а також переміщення джерела випромінювання та світловимірювальної головки. При цьому повинна бути можливість змінювати й точно вимірювати відстань між джерелом світла та досліджуваною пластинкою. Взагалі світловимірювальна лава призначена для зміни освітленості одного або двох полів порівняння на підставі правила квадратів відстаней. Розрізняють лави однобічну та двосторонню.

Схема пристрію однобічної лави така. Уздовж одного або двох наравляючих того або іншого обрису можуть переміщуватися два візки: зі світловимірювальною голівкою й із джерелом світла. Часто голівка закріплюється нерухомо, і для вимірювань пересувається лише джерело світла. Довжина лав робиться різноманітною, приблизно від 0,5 до 4 м. Однобічна лава застосовується як частина яких-небудь світловимірювальної установки: светомерної кулі, у світловимірювачі, у розподіленого фотометра й т.д. Лава може бути дуже короткою; люксометри Вебера, та інші, власне кажучи, є однобічними світловимірювальної лавами.

Найчастіше (але це не обов'язково) лампа на однобічній лаві або одна з ламп на двосторонній не є підлягаючим вимірю, а слугує лампою порівняння.

Лава береться тим довшою, ніж більшу точність вимірюваних величин. Довжина лави залежить також від обраних меж освітленості на досліджуваній пластинці, від сили світла лампи й розмірів її колби та від місця (у приміщенні), де встановлюють лаву.

## *Пристрій для утворення полів порівняння*

Одним з важливих елементів фотометричної лави, що використовується в даній лабораторній роботі, є пристрій для утворення полів порівняння (фотометрична голівка із призмою).

До пристрій для утворення полів порівняння пред'являються наступні вимоги:

- Поля порівняння повинні бути безструктурними.
- Кольори порівняльних полів повинен бути однаковим.
- Кутові розміри полів не повинні перевищувати  $2\text{--}3^\circ$ , для того, щоб їх зображення вкладалися на центральній частині сітчастої оболонки ока (у межах жовтої плями).
- Яскравість полів порівняння повинна лежати в межах від 7 до 30 кд/м<sup>2</sup>.
- Лінія розподілу полів повинна бути тонкою й зникати при досягненні рівності яркостей.
- Поля порівняння повинні бути оточені темним тілом.

Пристрій для утворення полів порівняння звичайно виконують у вигляді фотометричних кубиків, що складаються із двох тригранних скляніх призм, склесніх між собою шліфованими ділянками гіпотенузних граней. При висвітленні двох граней кубика двома освітлюваними поверхнями ці поверхні з боку третьої грани видні сполученими.

Для утворення полів порівняння використовують також дипризми, дзеркала з шаром, що відбиває, на половині площині поверхні, розділені одиночні призми.

Описані пристрої конструктивно виконуються як окремі вузли так і у зборці, названою фотометричною головкою. Вона містить досліджувані пластинки, пристрій для утворення й розгляду полів порівняння.

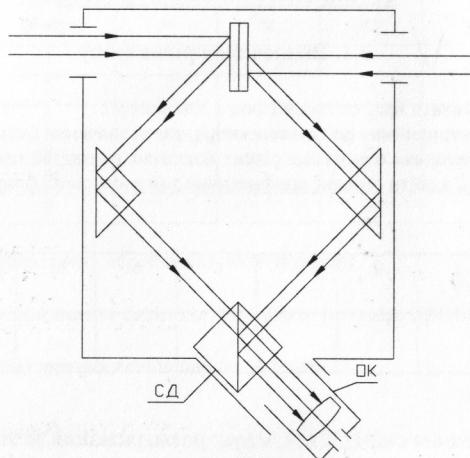


Рис.2.2 Фотометрична головка з кубиком

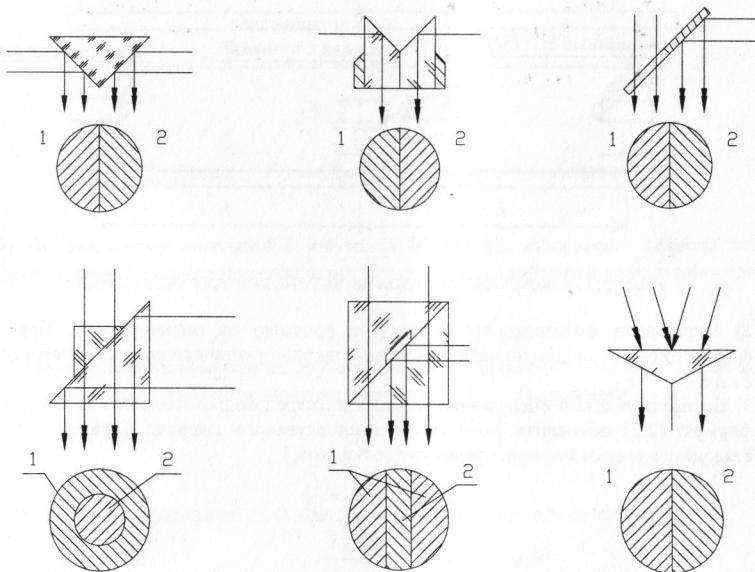


Рис.2.3 Пристрій для створення порівняння полів

### 3. Порядок виконання роботи



#### 3.1. Визначення рівня фону

- 1) Максимально знизити весь світловий фон в лабораторії.
- 2) Підключивши фотоприймач до гальванометра, зняти значення фотоструму фону.
- 3) Вимірювання повторити 6 разів для різних положень фотоприймача на лаві. Результати занести в таблицю й знайти середнє арифметичне значення рівня фону:

ТАБЛИЦЯ 3.1

Номер виміру	1	2	3	4	5	6	$\Sigma$	$I_{\Phi\Phi}$ , мка
$I_{\Phi\Phi}$ , мка								



#### 3.2. Вимірювання сили світла лампи розжарювання методом квадратів відстані (рівнянням освітленості)

- 1) Зібрати схему вимірювання відповідно до малюнка (3.1).

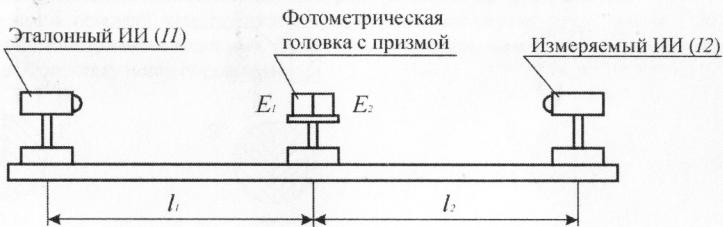


Рис. 3.1. Схема лабораторної установки для опыта №2

- 2) Встановити фотометричну головку із призмою на оптичну лаву. Переміщенням фотометричної головки по лаві, домогтися «на око» рівної освітленості поверхонь призми  $E_1$  й  $E_2$ .
- 3) Виміряти відстані віддалення голівки від джерел випромінювання ( $l_1$  й  $l_2$ ), а потім по формулі (2.2) обчислити силу світла досліджуваного джерела. (Значення сили світла еталонного випромінювача одержати в лаборанта.)

$$E_1 = \frac{I_1}{l_1^2} = E_2 = \frac{I_2}{l_2^2} \quad (2.1)$$

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{l_2^2}{l_1^2} \quad (2.2)$$

- 4) Вимірювання повторити 6 разів, результати занести в таблицю 3.2:

Таблиця 3.2

Номер виміру	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$I_1$ , кД	$I_2$ , кД
1				
2			-	
3			-	
4			-	
5			-	
6			-	

5) Зробити статистичну обробку результатів виміру.

### ✓ 3.3. Вимірювання сили світла лампи розжар. пропорційним методом

1) Зібрати схему вимірів відповідно до малюнка (3.2).

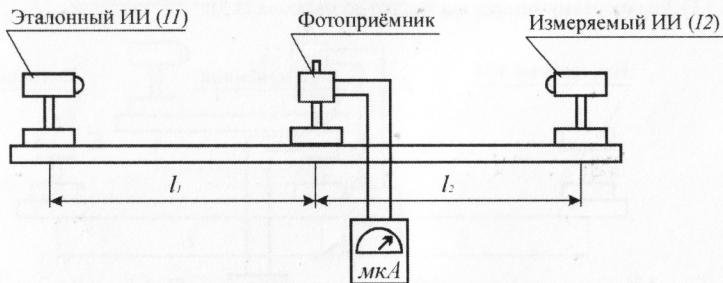


Рис. 3.2. Схема лабораторної установки для опыта №3

2) На довільному віддаленні  $l$  (не менш 0,1 м) від еталонного джерела встановити фотоприймач, виміряти значення фотоструму  $I_{\Phi_1}$  із приймача з урахуванням тла.

$$I_{\Phi_1} = I_{\phi} - I_{\phi\phi} \quad (3.1)$$

3) Розгорнути фотоприймач до другого джерела й установити його на таку ж відстань  $l$ , що й від першого. Виміряти значення фотоструму  $I_{\Phi_2}$  із приймача.

$$I_{\Phi_2} = I_{\phi} - I_{\phi\phi} \quad (3.2)$$

4) Розрахувати по формулі (3.4) значення сили світла другого джерела.

$$\frac{I_{\Phi_1}}{I_{\Phi_2}} = \frac{I_1}{I_2} \quad (l_1 = l_2 = const) \quad (3.3)$$

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{I_{\Phi_2}}{I_{\Phi_1}} \quad (3.4)$$

5) Виміру повторити 6 разів, результати занести в таблицю 3.3:

Таблиця 3.3

Номер	$I_{\phi_1}$ , мкА	$I_{\phi_2}$ , мкА	$I_I$ , кД	$I_2$ , кД
1				
2				
3				
4				
5				
6				

6) Зробити статистичну обробку результатів вимірю.



3.4. Вимірювання сили світла лампи розжарювання методом виміру двох значень освітленості

1) Зібрати схему вимірів відповідно до малюнка (3.3).

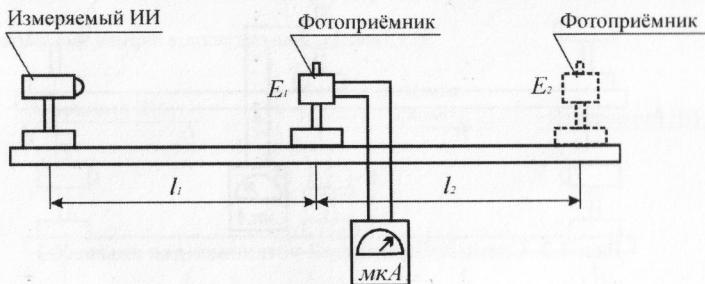


Рис. 3.3. Схема лабораторної установки для опыта №4

- 2) Установити фотоприймач на довільному віддаленні  $l_1$  від джерела, виміряти значення фотоструму  $I_{\phi_1}$  з урахуванням тла.
- 3) Пересунути фотоприймач по лаві на довільну відстань  $l_2$  від попереднього положення, виміряти значення фотоструму  $I_{\phi_2}$  в другій точці.
- 4) По формулі (4.4) розрахувати значення сили світла джерела, з огляду на, що 1 мка фотоструму дорівнює 1 лк освітленості.

$$I = E_1 \cdot l_1^2 = E_2 \cdot (l_1 + l_2)^2 \quad (4.1)$$

$$(E_1 - E_2) \cdot l_1^2 - 2 \cdot E_2 \cdot l_1 \cdot l_2 - E_2 \cdot l_2^2 = 0 \quad (4.2)$$

$$l_1 = \frac{E_2 \cdot l_2 + l_2 \cdot \sqrt{E_1 \cdot E_2}}{E_1 - E_2} \quad (4.3)$$

$$I = E_1 \cdot \left[ \frac{l_2 \cdot (E_2 + \sqrt{E_1 \cdot E_2})}{E_1 - E_2} \right]^2 \quad (4.4)$$

- 5) Виміру повторити 6 разів і результати занести в таблицю 3.4:

Таблиця 3.4

Номер	$I_{l_1, \text{М}}$	$I_{\phi_1, \text{мка}}$	$E_{l_1, \text{ЛК}}$	$I_{l_2, \text{М}}$	$I_{\phi_2, \text{мка}}$	$E_{l_2, \text{ЛК}}$	$I_{l_1, \text{ЛК}}$
1							
2							
3							
4							
5							
6							

6) Зробити статистичну обробку результатів вимірювання.

### 3.5. Вимір сили світла лампи розжарювання методом косинусів

1) Зібрати схему вимірювання відповідно до малюнка (3.4).

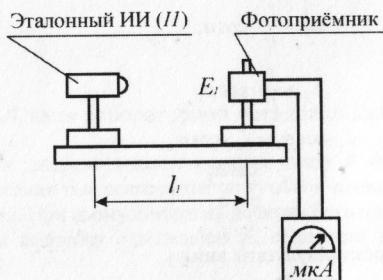


Рис. 3.4. Схема лабораторної установки для опыта №5

- 2) Установити фоточутливу пластину в положення  $\alpha_1=0^\circ$  і виміряти її освітленість.
- 3) Вимірювання повторити 6 разів і знайти середнє значення.
- 4) Зібрати схему вимірювання відповідно до малюнка (3.5).

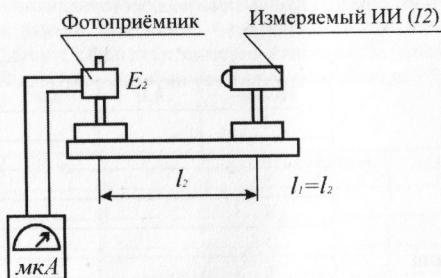


Рис. 3.5. Схема лабораторної установки для опыта №5

- 5) Змінюючи кут положення  $\alpha_2$  фоточутливі пластини, домогтися рівності фотострумів (освіщеностей) від обох джерел випромінювання.

6) Виміру повторити 6 разів і результати занести в таблицю 3.5:

Таблиця 3.5

Номер	$\alpha_1, {}^\circ$	$\alpha_2, {}^\circ$	$I_1, \text{кд}$	$I_2, \text{кд}$
1				
2			-	
3			-	
4			-	
5			-	
6			-	

7) По формулі (5.6) обчислити силу світла вимірюваного джерела випромінювання ( $\cos \alpha_i = 1$ ). Результати занести в таблицю 3.5.

$$E_1 = E_2 \quad (5.1)$$

$$l_1 = l_2 \quad (5.2)$$

$$E_1 = \frac{I_1}{l_1^2} \cdot \cos \alpha_1 \quad (5.3)$$

$$E_1 = \frac{I_1}{l_1^2} \cdot \cos \alpha_1 \quad (5.4)$$

$$I_1 \cdot \cos \alpha_1 = I_2 \cdot \cos \alpha_2 \quad (5.5)$$

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2} \quad (5.6)$$

8) Зробити статистичну обробку результатів виміру.

### 3.6. Вимір габаритної яскравості лампи розжарювання

- Включити вимірюване джерело випромінювання й зробити його яскравість майже на мін, для подальшого зручною спостереження через мікроскоп.
- Встановити на рейтер мікроскоп МІР-2.
- Досягти різкого зображення спіралі на вхідній зіниці окуляра з сіткою
- Виміряти габаритні розміри спіралі тіла розжарення 6 разів, занести результати в таблицю 3.6 і знайти його середню площину (див. мал. 3.6).

Таблиця 3.6

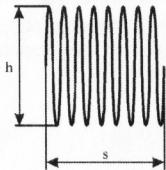


Рис. 6.1. Тіло накала

Номер	$h, \text{м}$	$s, \text{м}$	$A_m, \text{м}^2$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
$\bar{A}_m =$			$, \text{м}^2$

$$A_m = h \cdot s, \quad (6.1)$$

де  $A_m$  – площа тіла,  
 $h, s$  – габаритні розміри.

- 4) Скориставшись значенням сили світла джерела випромінювання, отриманим у попередніх досвідах, визначити габаритну яскравість лампи по формулі (6.2).

$$L = \frac{I}{A_m} \quad \left[ \frac{\text{кД}}{\text{м}^2} \right] \quad (6.2)$$

### 3.7. Вимірювання яскравості лампи розжарювання проекційним методом

- 1) Зібрати схему вимірювання відповідно до малюнка (3.7.).

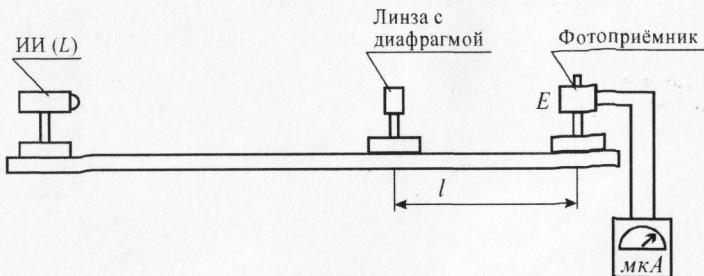


Рис. 3.7. Схема лабораторної установки для опыта №7

- 2) Установити джерело випромінювання, лінзу й фотоприймач так, щоб домогтися чіткого зображення тіла розжарення на чутливій площині фотоприймача зі збільшенням, рівним одиниці. При цьому діафрагма повинна бути максимально відкритою.  
 3) Вимірявши величину освітленості  $E$ , обчислити значення яскравості за допомогою формули (7.2):

$$E = \tau \cdot \frac{L \cdot q}{l^2}, \quad (7.1)$$

де  $q$  - площа вікна діафрагми;  $\tau$  - коефіцієнт пропущення лінзи

$$L = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{E \cdot l^2}{q} \quad (7.2)$$

Площа діафрагми визначається по шкалі, нанесеної на оправі, коефіцієнт пропущення лінзи задається викладачем, або береться рівним 0,92.

- 4) Змінюючи розмір діафрагми, виміряти значення освітленості й так само, як у попередньому пункті, обчислити значення яскравості за допомогою формули (7.2).  
 5) Виміру зробити 6 разів, дані вимірювань занести в таблицю 3.7:

Таблиця 3.7

Номер	$E, \text{лк}$	$l, \text{м}$	Діаметр діафрагми	$q, \text{м}^2$	$L, \text{кД}/\text{м}^2$
1					
2					
3					
4					
5					
6					

- 6) Зробити статистичну обробку результатів вимірювань.