

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

УДК 535.24

Віталій Цоцко, Олександр Денисенко, Розалія Шевченко

(Дніпро, Україна)

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ СВІТЛА ТОЧКОВИХ ДЖЕРЕЛ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Анотація: Пропонується проста та надійна схема вимірювання сили світла джерел оптичного випромінювання близьких до точкових. Вказаний метод визначення сили світла може бути використаний в лабораторному практикумі студентів, а також у фотометричних дослідженнях.

Ключові слова: фотометрія, сила світла, освітленість, світимість, яскравість.

Summary: Offered to a simple and reliable scheme for measuring the candle-power of sources of optical radiation approximate to point sources. This method of determining the candle-power can be used in the laboratory work of students, as well as in photometric studies.

Key words: photometry, candle-power, luminosity, radiance, brightness.

В умовах високої інтенсивності потоку знань, що діють на сучасного студента чи дослідника, часто матеріальна складова цього потоку – система навчально-дослідницького обладнання може не встигати за необхідними перебудовами та трансформаціями, зокрема за економічними критеріями. Тому виникає потреба до універсалізації одного й того самого обладнання, яке можна використати за різновекторним призначенням.

В процесі викладання курсів фізики та біофізики студентам Дніпровського державного аграрно-економічного університету (ДДАЕУ) значний акцент робиться на вивчення характеристик оптичного випромінювання зокрема на силу світла джерел випромінювання. Сила світла відноситься до основних

величин вимірювання в Міжнародній системі одиниць (SI), і саме на її основі відтворюються всі фотометричні одиниці. В типовому посібнику [1], який використовується для виконання лабораторних робіт в ДДАЕУ немає інструкцій по визначенню сили світла чи яскравості джерел оптичного випромінювання. І тому дані фізичні величини сприймаються студентами дещо формально, не конкретно. Була поставлена задача виправити вказаний недолік.

За точку відліку була взята лабораторна робота [1, с. 143], в якій вимірювалась чутливість напівпровідникового фотоелемента (селенового фотодіода). Чутливістю K фотоелемента називають відношення величини струму I_{ϕ} , що генерує фотоелемент, до величини падаючого на його робочу поверхню світлового потоку ΔF : $K = \frac{I_{\phi}}{\Delta F}$. Чутливість звичайно виражають в мікроамперах на люмен.



Рис. 1. Типова лабораторна робота по визначенню чутливості фотоелемента.

В даній роботі студентам пропонувалось визначити чутливість фотоелемента за відомими значеннями сили світла точкового джерела (малопотужної лампочки розжарення ~ 3 Вт). При цьому вимірювались площа робочої поверхні фотоелемента, відстань до неї джерела світла та сила фотоструму. Значення величини сили світла лампочки бралась наближено за

довідковими даними. Звичайно, сила світла джерела могла бути строго визначена попередньо при розгляді оберненої задачі, якщо б була відома паспортна чутливість фотоелемента. Але навчальні лабораторні установки даного типу, як правило, не забезпечуються вказаною інформацією.

Розв'язок задачі був знайдений у використанні в вимірюваннях проградуйованого фотометричного приладу – люксметра.

Світло являє собою електромагнітні хвилі певного частотного діапазону. В цьому діапазоні Сонце випромінює переважну кількість енергії, і люди та тварини можуть її безпосередньо відчувати – бачити.

Основною фотометричною величиною виступає світловий потік F - характеристика енергетичної дії світла з врахуванням його здатності викликати зорове відчуття. Світловий потік F визначається через енергетичний потік Φ – енергію випромінювання, що перетинає задану поверхню за одиницю часу.

Елементарний світловий потік ΔF (світловий потік, що відповідає випромінюванню в достатньо малому інтервалі частот $\Delta\nu$ або довжин хвиль $\Delta\lambda$) зв'язаний з елементарним енергетичним потоком $\Delta\Phi$ наступним співвідношенням:

$$\Delta F = G \cdot V(\lambda) \Delta\Phi,$$

де $V(\lambda)$ - функція видимості або точніше відносна спектральна світлова ефективність, G - коефіцієнт світлової віддачі.

Функція видимості відображує чутливість середнього нормального людського ока до випромінювання різної довжини хвилі і визначається експериментально. Відношення $V(\lambda)$ для двох різних довжин хвиль випромінювання обернене відношенню енергетичних потоків на цих хвилях, які викликають однакові за інтенсивністю зорові відчуття

$$\frac{V(\lambda_2)}{V(\lambda_1)} = \frac{\Delta\Phi(\lambda_1)}{\Delta\Phi(\lambda_2)}.$$

Якщо максимальне значення функції видимості прийняти за одиницю, то значення $V(\lambda)$ для різних довжин хвиль λ випромінювання матиме [2, с. 322] наступний вигляд (рис. 2):

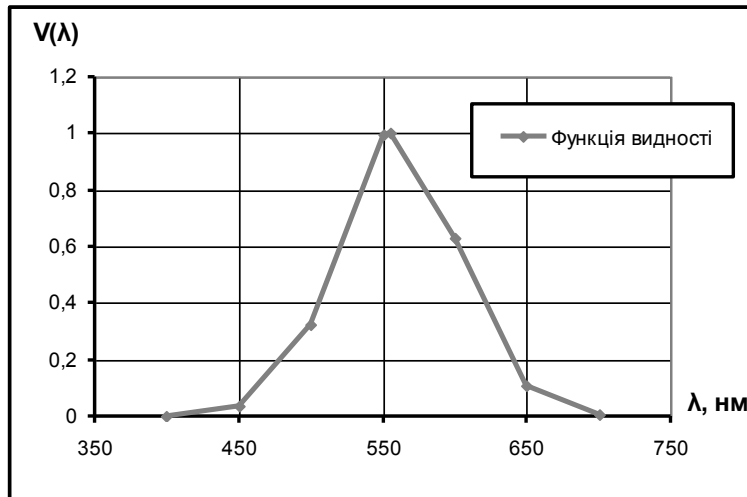


Рис. 2. Усереднений вид функції видимості.

На відміну від відносного характеру $V(\lambda)$ коефіцієнта світлової віддачі G має абсолютне значення - $G = 683 \frac{lm}{Wt}$. Обернена до G величина називається механічним еквівалентом світла.

За основну фотометричну одиницю було обрано, з позиції зручності вимірювання, не одиницю світлового потоку F - люмен (лм), а одиницю сили світла – канделу (кд), яка виступає стандартною характеристикою точкових джерел світла. Сила світла I визначається як величина світлового потоку ΔF , що приходить на одиницю тілесного кута $\Delta\Omega$ (1 стерadian):

$$I = \frac{\Delta F}{\Delta\Omega}. \quad (1)$$

При рівномірному розподілі повного світлового потоку F у просторі від точкового джерела

$$I = \frac{F}{\Omega}, \quad (2)$$

де Ω - повний тілесний кут: $\Omega=4\pi$ стерadian.

Значення сили світла в 1 кд (1 свічку) приймається таким, що відповідає повному випромінюванню перпендикулярно до поверхні з площі $\frac{1}{60}$ см² при температурі тверднення платини (1772 °C).

Освітленість E елемента поверхні площею ΔS визначається величиною світлового потоку, що падає на одиницю площі поверхні опромінення

$$E = \frac{\Delta F}{\Delta S}. \quad (3)$$

Освітленість вимірюється (SI) в люксах (лк).

Освітленість, як і споріднена з нею величина – світимість, охоплює всі випромінювання, що падають на поверхню під різними кутами. Для характеристики випромінювання світла в заданому напрямку використовується ще одна фотометрична величина – яскравість.

Яскравість B елементарної поверхні площею ΔS визначається як сила світла, що випромінюється з одиниці площі цієї поверхні перпендикулярно до неї - ΔS_n , тобто як поверхнева густина сили світла в заданому напрямі: $B = \frac{I}{\Delta S_n}$.

Таке визначення прив'язує яскравість до точкових джерел світла, але яскравість може бути поширена і на протяжні джерела, якщо її представити як освітленість (світимість), що формується лише перпендикулярними до поверхні випромінювання променями: $B = \frac{1}{\Delta \Omega} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta S_n}$.

Взагалі яскравість залежить від напрямку випромінювання з даної елементарної поверхні ΔS . Джерела світла, які не міняють свою яскравість в залежності від напрямку випромінювання з їх поверхні називаються ламбертівськими або косинусними, тому що світловий потік від таких джерел пропорційний лише косинусу кута випромінювання (падіння) θ :

$$\Delta F = B \cdot \Delta \Omega \cdot \Delta S_n = B \cdot \Delta \Omega \cdot \Delta S \cdot \cos \theta.$$

Зокрема світимість R плоскої поверхні ламбертівського джерела становить

$$R = B \int d\Omega \cdot \cos \theta = B \int d\varphi \sin \theta d\theta \cdot \cos \theta = \pi B.$$

Яскравість вимірюється (SI) в нитах ($1 \text{ нт} = 1 \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$) та стильбах ($1 \text{ сб} = 1 \frac{\text{кд}}{\text{см}^2}$).

Так яскравість безхмарного неба становить 0,1 мнт; екрана ТВ – 300 нт; полум'я свічки - 5000 нт; нитки розжарення (100 Вт) – 5,5 млн. нт; електричної дуги – 150 млн. нт; Сонця в zenіті – 1,5 млрд. нт.

Суть розробки по визначенню сили світла джерел оптичного випромінювання у їх наближенні до точкових моделей полягає в наступному.

За допомогою люксметра вимірювалась фонова E_0 та E^* комплексна освітленість, що формувалась після ініціації досліджуваного точкового джерела. За їх різницею визначалась ефективна освітленість від джерела E_E . Орієнтація робочої поверхні люксметра, чутливої до величини освітленості, експериментально налаштовувалась на максимальний вплив досліджуваного джерела і не змінювалась при фонових вимірюваннях. Як правило дана орієнтація відповідала перпендикулярному розміщенню фоточутливої поверхні приладу до напрямку на досліджуване джерело.

Фіксувалась відстань X між джерелом світла та фоточутливою поверхнею люксметра.

Із формул (2) та (3) випливає, що $I = E_E X^2$.

Для реалізації задуму (рис. 3) був використаний люксметр Ю-116 класу точності 1.0, магнітоелектричної системи, який забезпечував вимірювання освітленості в діапазоні від 1 лк до 100000 лк.



Рис. 3. Визначення сили світла точкових джерел.

Запропонована схема вимірювання сили світла джерел оптичного випромінювання близьких до точкових. проста та надійна.. Вказаний метод визначення сили світла може бути використаний в лабораторному практикумі студентів, а також у науково-практичних фотометричних дослідженнях.

ДЖЕРЕЛА ТА ЛІТЕРАТУРА

1. Дідоборець О.Й. Фізика. Лабораторний практикум і збірник задач./ О.Й. Дідоборець, Н.В. Резчик, В.І. Цоцко. – Дніпро: “Адверта”, 2016.- 229 с.
2. Белановский А.С. Основы биофизики в ветеринарии: учебное пособие для вузов / А.С. Белановский.- М.: Дрофа, 2007. - 332 с.