

ПРОВЕРКА ЗАКОНА ОСВЕЩЕННОСТИ ДЛЯ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

*Методические указания
по курсу общей физики*

Рецензент: *О.Я. Березина*, ст. преподаватель, кандидат физ.-мат. наук

Составитель: *С.А. Чудинова*, доцент, кандидат физ.-мат. наук

Петрозаводск
2007

Проверка закона освещенности для точечных источников света

Цель работы:

1. Проверить зависимость освещенности, создаваемой точечным источником света, от расстояния.
2. Определить силу света, излучаемого лампой.
3. Исследовать отражение света экраном из фольги. Определить коэффициент отражения экрана.

Принадлежности:

Оптическая скамья, люксметр, лампа накаливания (6 В, 5 А), источник напряжения, измерительный модуль "люкс".

Внимание! Лампа накаливания очень яркая. Рекомендуется включать ее только на время измерений и периодически выключать.

Теоретическое введение

I. Поток энергии и световой поток

Регистрация электромагнитных волн оптического диапазона основана на измерении потока энергии, переносимой волной. Способы измерения используют разнообразные действия излучения (тепловое, фотоэлектрическое, физиологическое). Большинство приемников света (глаз, фотоэлемент, фотопленка) обладают селективной чувствительностью, то есть их реакция за-

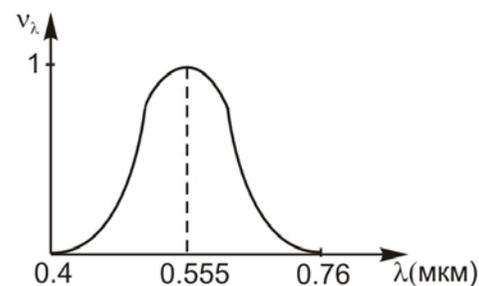


Рис. 1. Кривая видимости

висит не только от мощности излучения, но и от длины волны. Чувствительность среднего нормального человеческого глаза к световой энергии характеризуется кривой относительной спектральной чувствительности (кривой видимости). Ее вид показан на рис. 1. Величина v_λ называется коэффициентом видимости. Для зеленого света ($\lambda = 0.555$ мкм) $v_\lambda = 1$. Коэффици-

енты v_λ обратно пропорциональны потокам энергии (W_λ) монохроматического излучения, дающим одинаковые зрительные ощущения:

$$\frac{v_{\lambda_1}}{v_{\lambda_2}} = \frac{W_{\lambda_1}}{W_{\lambda_2}}. \quad (1)$$

Зависимость чувствительности приемников излучения от длины волны требует введения особых понятий. Так, кроме понятия потока излучения W_λ , как энергии, переносимой волнами через некоторую поверхность σ за единицу времени, в фотометрии оперируют понятием "*световой поток (Φ)*". Световым потоком называется поток излучения, оцениваемый *по зрительному ощущению*. Измеряется Φ в люменах. Для монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 0.555$ мкм, соответствующей максимальной чувствительности глаза ($v_\lambda = 1$), переход от энергетического потока к световому дает *механический эквивалент света* $A = 0.0016$ Вт/лм. Нетрудно установить связь между энергетическим и световым потоками для произвольной λ :

$$W_\lambda = \frac{1}{v_\lambda} A\Phi. \quad (2)$$

Раздел оптики, посвященный измерению световых потоков и связанных с ним величин, называется *фотометрией*.

II. Фотометрические величины

Рассмотрим основные фотометрические величины.

1. **Сила света I** – световой поток ($d\Phi$) точечного источника, приходящийся на единицу телесного угла ($d\Omega$):

$$I = d\Phi/d\Omega. \quad (3)$$

В общем случае сила света зависит от направления. Если источник изотропный, то $I = \Phi/4\pi$, где Φ – полный световой поток.

Единица измерения силы света – кандела (кд), 1 кд = 1 лм/ср.

2. **Освещенность E** – световой поток, падающий на единицу площади освещаемой поверхности:

$$E = \frac{d\Phi_{\text{пад}}}{d\sigma}. \quad (4)$$

Единица измерения освещенности – люкс (лк), 1 лк = 1 лм/м².

Необходимая для чтения освещенность – 50 лк.

3. **Светимость M** – световой поток, испускаемый единицей площади протяженного источника излучения по всем направлениям (в пределах телесного угла 2π стерадиан):

$$M = \frac{d\Phi_{\text{исп}}}{dS}. \quad (5)$$

Единица измерения 1 лм/м².

4. **Яркость L** – отношение силы света (dI) элемента излучающей поверхности ΔS (рис. 2) в заданном направлении к проекции ΔS на плоскость, перпендикулярную к этому направлению (ΔS_\perp):

$$L = \frac{I}{\Delta S_\perp} \text{ или } L = \frac{d\Phi_{\text{исп}}}{d\Omega \cdot \Delta S \cos \vartheta}. \quad (6)$$

Единица измерения – 1 кд/м².

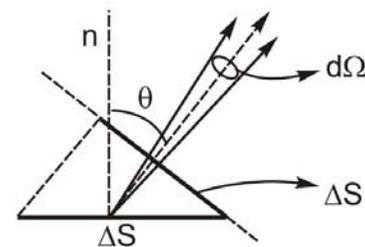


Рис. 2. К понятию яркости протяженного источника излучения

Источники света, яркость (L) которых не зависит от направления, называются *ламбертовскими* или *косинусными*, то есть подчиняющимися закону Ламберта. Закон Ламберта следует из формулы (6):

$$I_\vartheta = I_0 \cos \vartheta, \quad (7)$$

где I_0 – сила света, излучаемая источником ΔS в направлении нормали ($\vartheta = 0$).

Светимость и яркость ламбертовского источника связаны простым соотношением:

$$M = \pi L. \quad (8)$$

Получена эта связь из формулы (6) интегрированием в сферических координатах.

Идеальным косинусным излучателем является только абсолютно черное тело. Хорошо подчиняется закону Ламберта и Солнце. В случае несамосветящихся поверхностей с достаточной точностью ламбертовским источником является матовая поверхность, равномерно рассеивающая свет во все стороны (например, светильник из молочного стекла).

III. Закон освещенности для точечных источников

Рассмотрим, от чего зависит освещенность, создаваемая точечным источником.

Точечным называется источник, размеры которого малы по сравнению с расстоянием от источника до освещаемой поверхности (r).

Из формул (3) и (4) следует, что $E = I \cdot d\Omega \cdot d\sigma$.

По определению телесный угол

$$d\Omega = \frac{d\sigma}{r^2} \cos \alpha, \quad (9)$$

где α – угол падения среднего луча (рис. 3).

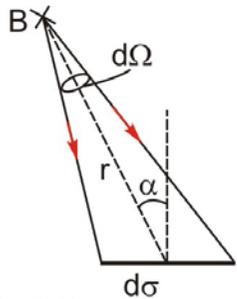


Рис. 3. Закон освещенности для точечных источников света

Итак, $E = I \cos \alpha / r^2$. (10)

Уравнение (10) называется законом освещенности для точечных источников или *законом обратных квадратов*. Приборы для измерения освещенности называются люксметрами. Их работа основана на фотоэлектрическом действии света. В качестве люксметров применяются фотоэлементы, шкала которых проградуирована соответствующим образом.

В измерительной практике наряду с рассмотренными фотометрическими величинами используются аналогичные энергетические величины, определяемые по тем же соотношениям (3, 4, 5, 6), но с заменой светового потока Φ на поток энергии (W_s).

Методика эксперимента

Соберите схему в соответствии с рис. 4.

В лабораторной работе угол падения светового луча на входное окно люксметра $\alpha = 0$. Поэтому закон обратных квадратов, формула (10) будет иметь вид:

$$E = I/r^2. \quad (11)$$

Измеряя при разных расстояниях освещенность люксметра, можно проверить соотношение (11), а также вычислить силу света, испускаемого лампочкой.

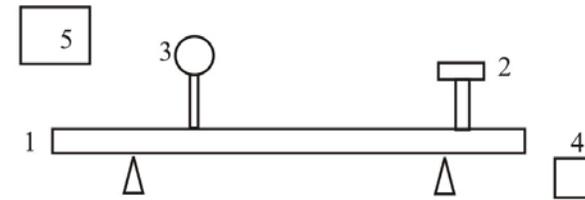


Рис. 4. Схема установки

1 – Оптическая скамья; 2 – люксметр; 3 – лампа накаливания; 4 – измерительный прибор; 5 – источник питания

Рассчитаем освещенность, создаваемую зеркальным экраном, установленным в соответствии с рис. 5.

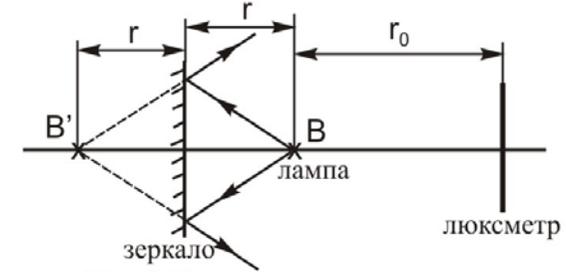


Рис. 5. К расчету освещенности от плоского зеркала

На рис. 5 B' – изображение лампы в плоском зеркале. По закону отражения оно является мнимым и находится по другую сторону от зеркала на таком же расстоянии, как и источник.

Если зеркало идеальное, то сила света, отраженного от зеркала, равна силе света, падающего на зеркало от лампы ($I_{отр} = I$). Поэтому можно считать, что зеркало работает, как дополнительный точечный источник света. Освещенность, создаваемая им, в соответствии с формулой (11) и обозначениями на рис. 5 равна:

$$E_{теор} = \frac{I}{(r_0 + 2r)^2}. \quad (12)$$

Если зеркало не идеальное, то измеренная на опыте освещенность входного окна люксметра $E_{экс} \neq E_{теор}$. Назовем коэффициентом отражения зеркала величину $k = E_{экс}/E_{теор}$

$$k = \frac{E_{\text{эксп}}}{E_{\text{теор}}} = \frac{E - E_0}{E_{\text{теор}}}, \quad (13)$$

где E_0 – освещенность, создаваемая лампой; E – суммарная освещенность, создаваемая лампой и зеркалом.

Формула (11) используется в работе для изучения влияния на освещенность люксметра экрана из фольги и определения его коэффициента отражения.

Порядок измерений

Задача 1. Проверка закона освещенности для точечного источника

1. Соберите установку в соответствии с рис. 4. Люксметр и лампа должны находиться на одной высоте. Подключите лампу к выходу 6 В переменного тока источника питания. Измерьте фоновое освещение ($E_{\text{ф}}$) при выключенной лампе. Учитывайте его при дальнейших расчетах.

2. Перемещая лампу, измерьте освещенность при разных расстояниях (от 25 до 55 см) с шагом 3-5 см. Расстояния определяйте как по шкале на оптической скамье, так и с помощью линейки. Повторите опыт, перемещая лампу в обратном направлении. Измеренные значения исправьте при необходимости на фоновое освещение.

3. Постройте график зависимости освещенности E от $1/r_0^2$. Сделайте заключение о расстояниях, не противоречащих модели точечного источника

4. По формуле (11) вычислите силу света I , излучаемую лампой. Усредните значения, полученные по величинам освещенностей, измеренных на разных расстояниях. Найдите погрешность.

Задача 2. Исследование отражения света экраном из фольги

1. Установите лампу на расстоянии $\approx 25-30$ см от люксметра. Измерьте освещенность E_0 , создаваемую лампой на этом расстоянии. Исправьте с учетом фонового освещения.

2. На некотором расстоянии r от лампы (рис. 5) установите экран из фольги. Измерьте освещенность E , создаваемую лампой и фольгой, при нескольких расстояниях r от 5 до 20 см. Исправьте с учетом фонового освещения.

3. По формуле (12) рассчитайте теоретическое значение освещенности, создаваемой идеальным зеркалом. Используйте среднее значение $I_{\text{ср}}$ силы света, полученное в п. 4 задачи 1.

4. По формуле (13) рассчитайте коэффициент отражения исследуемого в работе экрана. Усредните значения. Рассчитайте погрешность.

Контрольные вопросы

1. Что называется потоком энергии? Световым потоком?
2. Какие приемники света вы знаете? На чем основаны принципы их работы?
3. Изобразите кривую относительной спектральной чувствительности глаза. Объясните ее смысл.
4. Как пересчитать энергетический поток в световой? Что такое механический эквивалент света?
5. Если энергетический поток распределен равномерно по длинам волн, то как выглядит функция распределения светового потока?
6. Принцип действия люксметра.
7. Дайте определение фотометрических величин: сила света; освещенность; светимость источника света; яркость источника света.
8. В чем заключается закон обратных квадратов?
9. В чем заключается закон Ламберта?
10. Какие источники света называются точечными?
11. Какие источники света называются изотропными?
12. Какие источники света называются косинусными? Приведите примеры
13. Как рассчитать дополнительную освещенность, создаваемую плоским зеркалом?

Литература

1. Ландсберг Г. С. Оптика / М.: Физматгиз, 2003. Гл III, §§ 7-10.
2. Иродов И. Е. Волновые процессы / И. Е. Иродов. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. Гл. 3, § 3.4.
3. Бутиков Е. И. Оптика / Е. И. Бутиков. М.: Высшая школа, 2003. Гл. 1, § 1.10.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Оптика / Д. В. Сивухин. М.: Наука, 1980. Гл. II, § 21, 22.
5. Савельев И. В. Общий курс физики / Савельев И. В. М.: Наука, 1982. Гл. XVI, § 113, 114.