

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Лабораторная работа № 1
Определение светотехнических
характеристик
ламп накаливания
методом субъективного
фотометрирования

Ярославль
2013

Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе	3
2.	Краткая теория	3
3.	Описание установки	6
4.	Порядок выполнения работы	9
	Задание 1.	9
	Задание 2.	9
	Задание 3.	10
	Задание 4.	11
5.	Контрольные вопросы	12

Составители: В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики
Г.В. Жусь, кандидат технических наук, доцент кафедры
общей физики

Лабораторная работа № 1

Определение светотехнических характеристик ламп накаливания методом субъективного фотометрирования

Цель работы: ознакомление с основами фотометрирования, исследование светового поля лампы накаливания.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, фотометр Луммера-Бродхуна, электролампа известной силы света на неподвижном штативе, электролампа неизвестной силы света на неподвижном штативе, электролампа на вращающемся штативе с лимбом.

Литература:

1. Александров Н.В. и др. Практикум по курсу общей физики. Выпуск 4. – М.: Просвещение, 1972, работа № 1.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1982. – Т.2.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976.

1. Вопросы для подготовки к работе

1. Основные фотометрические характеристики точечных источников света: световой поток, сила света (определение и единицы измерения).
2. Освещённость поверхности (определение и единицы измерения).
3. Связь между освещённостью поверхности, силой света точечного источника и расстоянием от источника до освещаемой поверхности.
4. Фотометры, их назначение и принцип действия. Устройство фотометра Луммера-Бродхуна.
5. Рабочая формула, измерение входящих в неё величин.

2. Краткая теория

Поток энергии, излучаемый источником, вызывает у человека зрительные ощущения. Интенсивность ощущения зависит от степени чувствительности глаза к различным длинам волны. Поток, в состав

которого входят инфракрасные или ультрафиолетовые лучи, не вызывает зрительных ощущений, даже если мощность его велика. Наоборот, поток, состоящий из лучей, к которым глаз наиболее чувствителен, вызывает при малой мощности значительные зрительные ощущения.

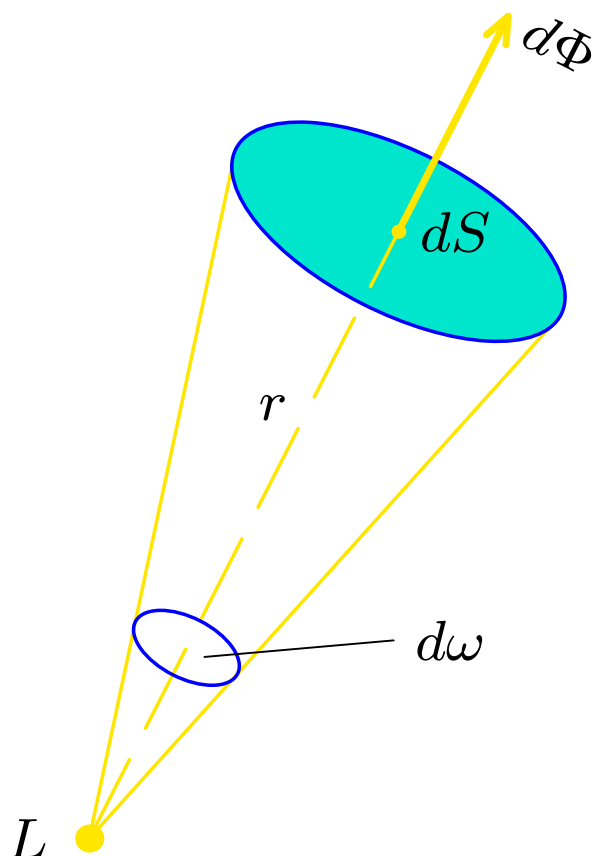


Рис. 2.1

Для характеристики интенсивности света с учетом его способности вызывать зрительное ощущение вводится величина Φ , называемая световым потоком.

Световой поток — это поток энергии, излучаемый источником и оцениваемый по зрительному ощущению. Единица измерения светового потока — люмен (лм).

Раздел оптики, занимающийся измерением световых потоков и величин, связанных с такими потоками, называется фотометрией.

Силой света J источника называется световой поток, излучаемый в единицу телесного угла. Это пространственная плотность светового потока:

$$J = \frac{d\Phi}{d\omega},$$

где $d\Phi$ — световой поток сквозь элементарную площадку (рис. 2.1);

$d\omega$ — элементарный телесный угол, в котором распространяется этот поток:

$$d\omega = \frac{dS}{r^2}.$$

Сила света измеряется в канделах (кд).

2. Краткая теория

Для протяжённых источников вводится понятие светимости источника.

Светимость R источника — это поток, излучаемый единицей поверхности источника по всем направлениям:

$$R = \frac{d\Phi}{dS},$$

где dS — излучающая поверхность. Светимость измеряется в (лм/м²). Для характеристики излучения источника в данном направлении вводится понятие яркости источника.

Яркость B источника — это сила света, излучаемая видимой поверхностью источника в направлении наблюдения:

$$B = \frac{d\Phi}{dS_\varphi d\omega} = \frac{dJ}{dS_\varphi},$$

где $dS_\varphi = dS \cos \varphi$ — проекция излучаемой поверхности на направление наблюдения (рис. 2.2). Яркость измеряется в кд/м².

Если B не зависит от направления излучения, то такие источники называются косинусными или ламбертовскими (т.е. подчиняющимися закону Ламберта). Для таких излучателей: $R = \pi B$. (Вывод формулы сделать самостоятельно).

Большинство тел не являются источниками света, но мы их видим потому, что они отражают падающий на них свет от других источников. Поэтому при решении многих задач важно знать, какое количество светового потока падает на освещаемую поверхность. Для этого вводится величина E , называемая освещённостью поверхности.

Освещённость — это световой поток, отнесённый к единице площади освещаемой поверхности:

$$E = \frac{d\Phi}{dS},$$

где $d\Phi$ — световой поток, падающий на поверхность dS . Освещённость измеряется в люксах (лк).

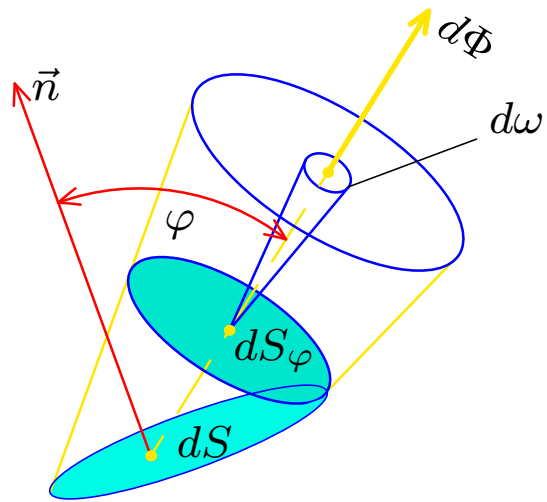


Рис. 2.2

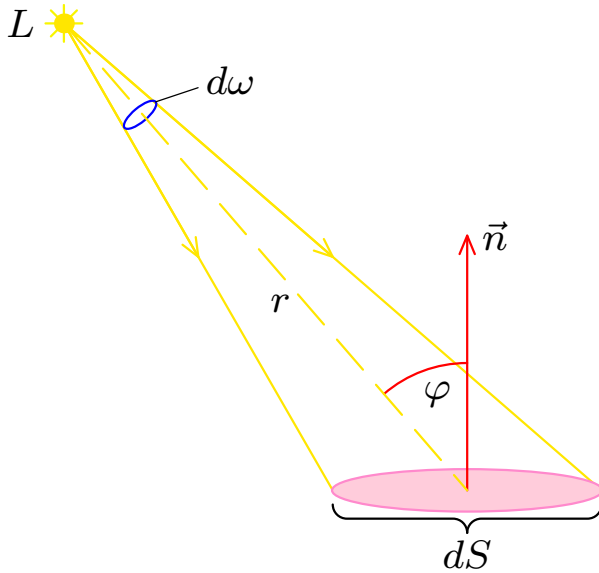


Рис. 2.3

Если источник света точечный, то освещённость можно выразить через J — силу света источника и r — расстояние от источника до освещаемой поверхности (рис. 2.3):

$$E = \frac{J}{r^2} \cos \varphi,$$

где φ — угол между нормалью к поверхности и направлением падения лучей. (Выводы формулы сделать самостоятельно).

Эта зависимость используется для определения силы света неизвестного источника путём сравнения его с силой света известного (эталонного) источника.

Если освещать поверхность различными источниками L_1 и L_2 с силой света J_1 и J_2 и добиться равенства освещённостей $E_1 = E_2$, то

$$\frac{J_1}{r_1^2} = \frac{J_2}{r_2^2} \quad \text{при} \quad \varphi_1 = \varphi_2 \quad \text{или} \quad \varphi_1 = \varphi_2 = 0,$$

откуда

$$J_2 = J_1 \frac{r_2^2}{r_1^2}. \quad (2.1)$$

Такой метод определения силы света источника называется фотометрированием, а приборы, служащие для определения силы света неизвестного источника путём сравнения с известным, называются **фотометрами**.

3. Описание установки

На оптической скамье размещены лампы L_1 ; L_2 и фотометр Φ (рис. 3.1).

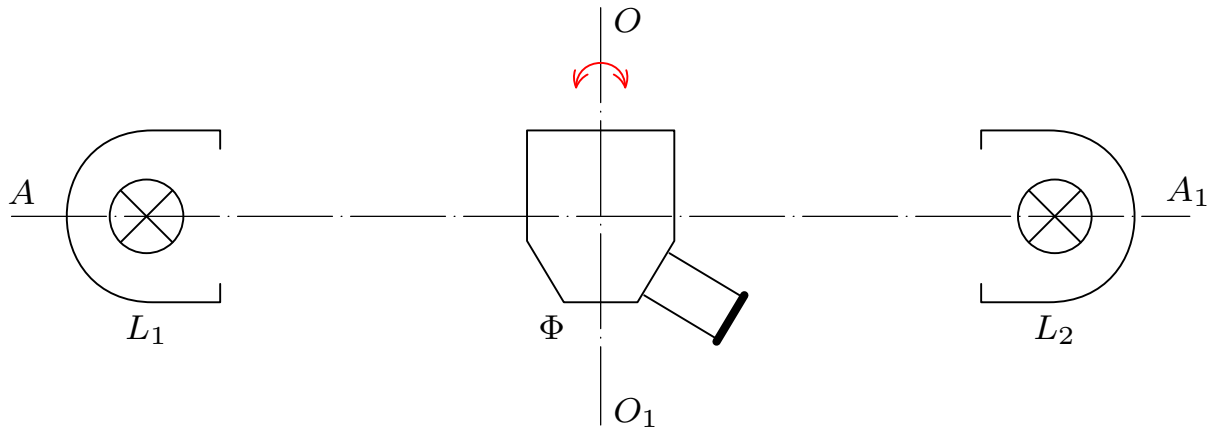


Рис. 3.1

В нашей работе используется фотометр Луммера-Бродхуна. Он может вращаться вокруг горизонтальной оси OO_1 . На оси AA_1 , перпендикулярной оси OO_1 , находятся эталонная L_1 и исследуемая L_2 электролампы, которые, как и фотометр, могут перемещаться вдоль оптической скамьи.

Рассмотрим устройство фотометра и принцип его работы (рис. 3.2, вид сверху).

Основные части фотометра: закрытая камера с двумя окнами в противоположных стенках, матовая рассеивающая пластинка P , два зеркала S_1 и S_2 , Фотометрический кубик Луммера Q . Для наблюдения фотометрического поля служит труба T .

Свет от сравниваемых источников попадает на белую матовую пластинку P и диффузно рассеивается по всем направлениям. Из множества лучей выберем параллельные и, с целью упрощения схемы, рассмотрим только их. После матовой пластинки эти лучи отражаются от зеркал S_1 и S_2 и попадают на кубик Луммера.

Кубик Q представляет собой две прямоугольные призмы. Гипотенузная грань правой призмы плоская, гипотенузная грань левой призмы представляет собой часть сферы. Сферическая грань призмы частично отшлифована так, что образуется плоский круг aa , которым она прижимается к правой призме до оптического контакта.

В зрительную трубу T попадает свет от источника L_1 , прошедший через площадку оптического контакта, а также от источника L_2 , после отражения от участков aA и aB кубика. Таким образом, наблюдаемое в трубу поле имеет вид, изображённый на рисунке 3.3. Внутренний круг воспроизводит освещённость, которая получается

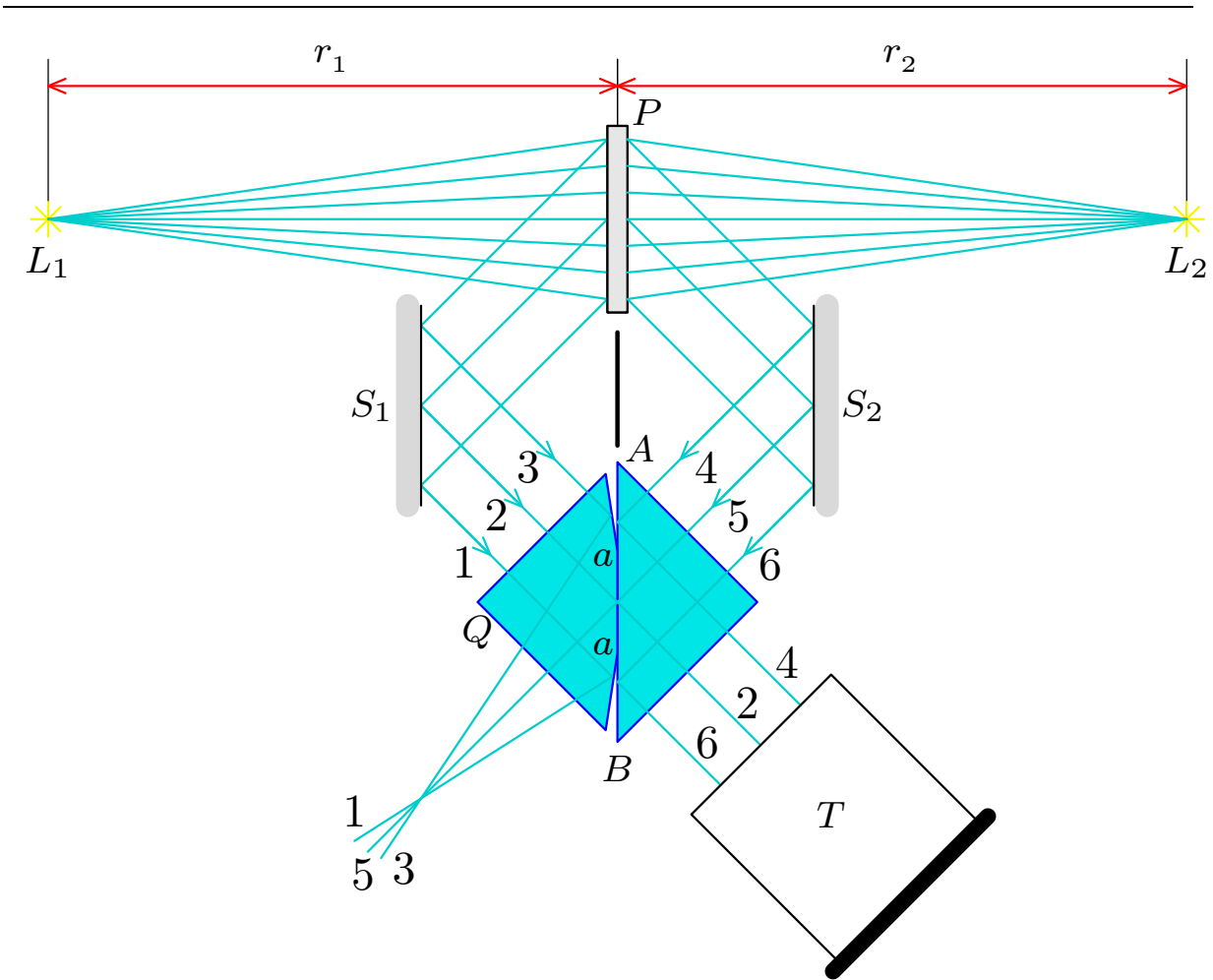


Рис. 3.2

на левой стороне пластинки от источника L_1 . Внешнее кольцо воспроизводит освещённость правой стороны пластинки от источника L_2 . При равенстве освещённостей видимая грань между внутренним и наружным полями исчезает.

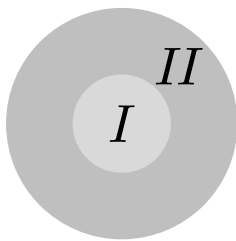


Рис. 3.3

Измерив расстояние r_1 и r_2 от пластинки до источников L_1 и L_2 , можно определить силу света исследуемого источника по формуле (2.1). Равенство освещённостей устанавливается визуально. Это основано на свойстве глаза определять одинаковость освещённости двух соседних полей с большой степенью точности, при условии, что спектральный состав источников освещения одинаков.

4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Знакомство с описанием и конструкцией экспериментальной установки.

Задание 2. Определение силы света лампы накаливания.

На крайних рейтерах скамьи расположите исследуемую и эталонную лампы, а между ними фотометр (рис. 3.1). При этом условии установите систему так, чтобы свет падал на пластинку P нормально.

Передвигая фотометр в ту или другую сторону, добейтесь одинаковой освещённости поля зрения. При этом надо иметь в виду, что при сравнении ламп различных типов, а также одинаковых, но различно накалённых, появляется различие в окраске излучаемого ими света. Это связано с различиями спектрального состава излучения. В таких случаях установку на равенство освещённости делают приближённо. После указанной установки определите по скамье расстояния r'_1 и r'_2 от обоих источников до фотометра. Затем, не меняя положения источников, поверните фотометр вокруг горизонтальной оси OO_1 на 180° . Установите равенство освещённостей и опять измерьте расстояние r''_1 и r''_2 . Из двух результатов найдите среднее \bar{r}_1 и \bar{r}_2 .

Результаты измерения занесите в таблицу № 1.

Таблица 1

$$J_1 = 57 \text{ кд (Ar лампа 60 Вт)}$$

№	r'_{1i}	r''_{1i}	\bar{r}_{1i}	\bar{r}_{1i}^2	r'_{2i}	r''_{2i}	\bar{r}_{2i}	\bar{r}_{2i}^2	J_{2i}	ΔJ_{2i}	$(\Delta J_{2i})^2$
1											
2											
и т.д.											
 	 	 	 	 	 	 	 	 	\bar{J}_2	 	$\sum_{i=1}^n (\Delta J_{2i})^2$

Измерения проведите не менее, чем троекратно, не изменяя расстояние между источниками света.

По результатам измерений рассчитайте среднюю квадратичную ошибку:

$$\Delta J_2 = t_{\alpha n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta J_{2i})^2}{n(n-1)}}.$$

α — выберите самостоятельно.

Окончательно результат запишите в виде

$$J_2 = (\bar{J}_2 \pm \Delta J_2) \kappa d \quad \text{при } \alpha = \dots$$

Задание 3. Определение коэффициента пропускной способности нейтрального светофильтра.

Если на пути света, идущего от источников, будет находиться поглощающая среда, ослабляющая силу света J_1 в n_1 раз, а J_2 в n_2 раз, то равенство освещённостей запишется так:

$$\frac{J_1}{n_1 r_1^2} = \frac{J_2}{n_2 r_2^2}.$$

Если n — коэффициент ослабления, то $\frac{1}{n}$ называют **коэффициентом пропускной способности**.

В данной работе свет от эталонной лампы не поглощается ($n_1 = 1$), тогда пропускная способность среды определяется из равенства:

$$\frac{1}{n_2} = \frac{J_1 r_2^2}{J_2 r_1^2}. \quad (4.2)$$

В эксперименте в качестве поглощающей среды используется стеклянный нейтральный светофильтр.

Вставьте светофильтр в правую обойму фотометра. Перемещая фотометр, добейтесь одинаковой освещённости обеих частей фотометрического поля и отсчитайте расстояние до источников света. Поверните фотометр на 180° и повторите измерения. Зная силу света исследуемого источника (из задания № 2), определите по формуле (4.2) коэффициент пропускной способности $\frac{1}{n_2}$ нейтрального светофильтра.

Результаты измерений занесите в таблицу № 2.

Таблица 2

$$J_1 = 57 \text{ кд}$$

$$J_2 = \dots$$

№	r'_{1i}	r''_{1i}	$\overline{r_{1i}}$	$\overline{r_{1i}^2}$	r'_{2i}	r''_{2i}	$\overline{r_{2i}}$	$\overline{r_{2i}^2}$	$\left(\frac{1}{n_2}\right)_i$	$\Delta\left(\frac{1}{n_2}\right)_i$	$\left[\Delta\left(\frac{1}{n_2}\right)_i\right]^2$
1											
2											
и т.д.											
									$\left(\frac{1}{n_2}\right)_{\text{ср}}$		

Измерения проводят не менее, чем трехкратно, не изменяя расстояние между источниками света.

По результатам измерений рассчитайте среднюю квадратичную ошибку (так же, как в задании 2).

Результаты запишите в виде

$$\frac{1}{n_2} = \left(\frac{1}{n_2}\right)_{\text{ср}} \pm \Delta\left(\frac{1}{n_2}\right) \quad \text{при } \alpha = \dots$$

Задание 4. Изучение распределения света вокруг лампы накаливания.

Замените неподвижную исследуемую лампу лампой на вращающемся штативе. Поверните лампу так, чтобы указатель лимба совпал с "0". Определите силу света лампы в этом положении как в задании №2. При расчёте силу света эталонной лампы примете за единицу. Затем поверните лампу вокруг оси на 15° и определите силу света в новом положении. Так, поворачивая лампу, определите силу света через каждые 15° вплоть до поворота на 180° .

Результаты измерений занесите в таблицу 3.

Таблица 3

№	φ_i	r'_{1i}	r''_{1i}	$\overline{r_{1i}}$	$\overline{r_{1i}^2}$	r'_{2i}	r''_{2i}	$\overline{r_{2i}}$	$\overline{r_{2i}^2}$	J_i
1	0°									
2	15°									
3	30°									
и	т.д.									

По данным таблицы 3 вычертите кривую распределения силы света лампы накаливания в зависимости от угла поворота, в полярных координатах, откладывая по радиусам соответствующую этим углам силу света.

Расчёт ошибок в этом задании произведите только по указанию преподавателя. Таблица 3 при этом сильно усложняется.

5. Контрольные вопросы

1. Фотометрические характеристики протяженных источников света: светимость, яркость (определение, единицы измерения).
2. Закон Ламберта. Зависимость между светимостью и яркостью косинусных излучателей (вывод формулы $R = \pi V$). Является ли лампа накаливания ламбертовским излучателем?
3. Почему сравниваемые освещенные поля в фотометре Луммера-Бродхуна имеют, как правило, различную окраску? Влияет ли это на точность измерений? Если влияет, то как повысить точность намерений?
4. Почему сила света лампы различна в различных направлениях? Есть ли источники, у которых сила света одинакова во всех направлениях? Приведите примеры.
5. Какие ещё методы фотометрирования вам известны?
6. Дайте описание известных вам фотометров.