

Ярославский государственный педагогический  
университет им. К. Д. Ушинского

## Лабораторная работа № 2

# Фотометрирование при помощи фотоэлемента

Ярославль  
2013

---

## Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе . . . . .	3
2.	Краткая теория . . . . .	3
3.	Описание установки . . . . .	5
4.	Порядок выполнения работы . . . . .	6
	Задание 1. . . . .	6
	Задание 2. . . . .	6
	Задание 3. . . . .	7
	Задание 4. . . . .	8
	Задание 5. . . . .	9
5.	Контрольные вопросы . . . . .	10

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

## Лабораторная работа № 2

### Фотометрирование при помощи фотоэлемента

**Цель работы:** ознакомление с одним из способов объективной фотометрии.

**Приборы и принадлежности:** прибор для изучения законов фототрии ПЭФ; лампы миниатюрные МН 3, 5 × 0, 26 и МН 6, 3 × 0, 3; вольтметр на 10 В; миллиамперметр на 500 мА; микроамперметр на 50 мкА; реостат РП-6; выпрямитель В-24; провода; люксметр 1ЛКП.

#### Литература:

1. Александров Н.В. и др. Практикум по курсу общей физики. Выпуск 4. – М.: Просвещение, 1972.
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 источников света: световой поток, сила света, светимость, яркость.
2. Освещенность поверхности. Связь между освещенностью и силой света.
3. Методы фотометрирования. Конструкции фотометров.
4. Рабочая формула и измерение входящих в нее величин.

## 2. Краткая теория

Измерение силы света сводится к измерению энергии, приносимой световой волной, или к измерению величин, так или иначе связанных с этой энергией.

Абсолютные измерения световой энергии связаны с большими трудностями, поэтому практические методы световых измерений основываются на сравнении энергии исследуемого источника и эталонного. Все измерения, проводимые при помощи фотометра, относительны. Если в фотометрическом измерении участвует глаз, то фотометрирование сводится к сравнению освещенностей или яркостей.

---

В этой работе предлагается провести фотометрирование с помощью фотоэлемента с внутренним (в данном случае — вентильным) фотоэффектом.

Внутренний фотоэффект заключается в освобождении связанных с атомом электронов внутри кристалла полупроводника под действием света, что приводит к увеличению электропроводности полупроводника. К полупроводникам относятся такие вещества, как селен, германий, кремний.

В некоторых полупроводниках имеет место так называемый вентильный фотоэффект. В месте контакта двух полупроводников  $p$ - и  $n$ -типа, или контакта металла и полупроводника, возникает запирающий слой, обладающий односторонней проводимостью, в котором образуется равновесная контактная разность потенциалов. При освещении такого полупроводника освободившиеся электроны вызывают изменение контактной разности потенциалов. В результате возникает фотоэлектродвижущая сила (ф.э.д.с.), величина которой пропорциональна интенсивности падающего света. Вентильные фотоэлементы позволяют осуществлять непосредственное преобразование лучистой энергии в электрическую. Под действием света они возбуждают ток во внешней цепи без применения дополнительного источника э.д.с.

Применяемый в работе кремниевый фотоэлемент со специальным покрытием имеет спектральную чувствительность, весьма близкую к спектральной чувствительности среднего человеческого глаза. Это обстоятельство очень важно, так как позволяет использовать этот фотоэлемент для фотометрирования в видимом диапазоне длин волн.

Фотометр состоит из фотоэлемента и микроамперметра. Фотометр такого типа позволяет сравнить силу света эталонного источника с силой света неизвестного источника по величине светового потока, падающего на фотоэлемент. Если токи, возникающие в фотоэлементе от разных источников, одинаковы, то одинаковы и потоки света, падающие на фотоэлемент. Если источник света находится на достаточно большом удалении от фотоэлемента (т.е. линейные размеры источника не превышают 0,1 расстояния от источника до освещаемой поверхности), то при расчетах можно считать источник точечным. При выполнении этого условия световой поток, падающий на фотоэлемент, равен:

$$\Phi = J\omega = J\frac{S}{r},$$

### 3. Описание установки

---

- где  $J$  — сила света источника;  
 $\omega$  — телесный угол, под которым из источника виден фотоэлемент;  
 $S$  — площадь фотоэлемента;  
 $r$  — расстояние от источника до фотоэлемента.

Приравняв световые потоки от двух источников света — эталонного  $\Phi_1$  и исследуемого  $\Phi_2$ , получим:

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

Равенство (2.1) позволяет определить отношение сил света источников.

В работе одна из ламп является эталонной, сила света ее известна. Сила света другой лампы неизвестна. Тогда, принимая за эталон  $J_1$ , имеем:

$$J_2 = J_1 \frac{r_2^2}{r_1^2}. \quad (2.2)$$

Для определения расстояний  $r_1$  и  $r_2$  подбираются такие положения источников и фотоэлемента, чтобы микроамперметр показывал одинаковые значения токов.

### 3. Описание установки

В качестве экспериментальной установки используется стандартный прибор для изучения законов фотометрии ПЗФ.

Прибор состоит из камеры и разъемного корпуса прямоугольной формы. Внутри камеры смонтирован фотоэлемент, соединенный с помощью гибких проводников с клеммами, расположенными в торце камеры.

Фотоэлемент установлен в поворотной оправе с максимальным углом поворота  $90^\circ$ . Отсчет угла поворота осуществляется по угловой шкале, расположенной на лицевой части камеры. В наших экспериментах узел поворота не используется, а угол поворота фотоэлемента устанавливается равным  $0^\circ$ .

Корпус прибора имеет несколько защитных ребер, которые служат для предохранения фотоэлемента от отраженных лучей, а черная матовая окраска внутренней части корпуса обеспечивает надежную защиту фотоэлемента от световых бликов.

Линейная шкала прибора показывает расстояние от фотоэлемента до исследуемой лампы (нулевое деление шкалы совпадает с плоскостью чувствительного слоя фотоэлемента). В данном приборе сантиметровая шкала заменена на миллиметровую.

Принципиальная схема установки показана на рис. 3.1.

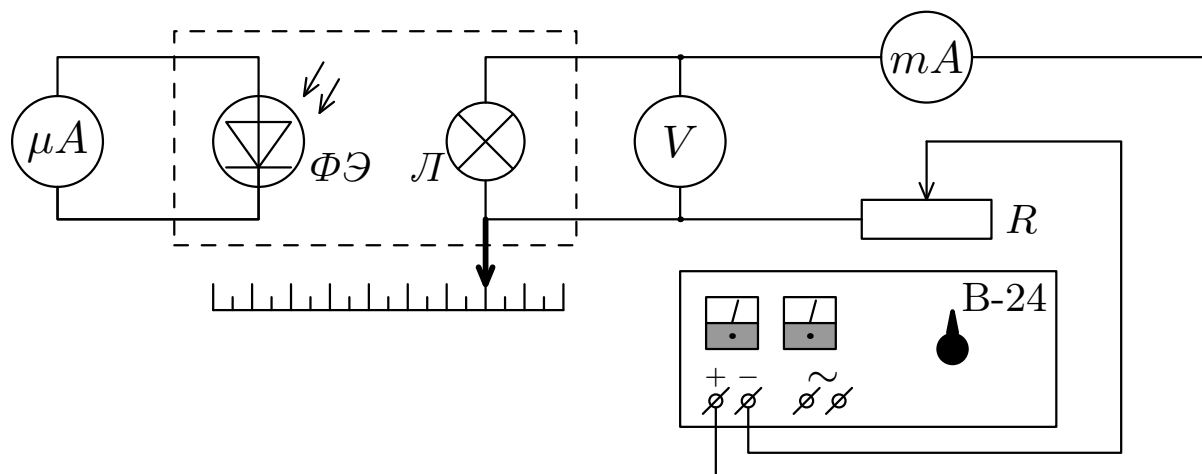


Рис. 3.1

Фототок измеряется микроамперметром. Для измерения тока через лампу и контроля напряжения на ней в схему введены соответственно миллиамперметр и вольтметр. Для точного регулирования тока (напряжения) служит низкоомный реостат  $R$ . Предварительная установка тока (напряжения) осуществляется регулятором на выпрямителе В-24.

## 4. Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Знакомство с описанием и конструкцией экспериментальной установки. Соберите электрическую схему.

**Задание 2.** Определение силы света лампы накаливания.

Установите в прибор исследуемую лампу МН 3, 5 × 0, 26. Поставьте регулятор напряжения на выпрямителе в крайнее левое положение и включите установку. Регулятором напряжения и реостатом выставьте напряжение на лампе 3, 5 В. Миллиамперметр при этом должен показывать ток около 260 мА, что свидетельствует об исправности лампы.

#### 4. Порядок выполнения работы

Передвигая лампу относительно фотоэлемента, установите любое значение фототока, но не менее  $25 \text{ мкА}$ . Запишите установленное значение фототока и расстояние от фотоэлемента до лампы. Опыт проделайте не менее пяти раз, устанавливая каждый раз записанное значение фототока. Данные занесите в таблицу № 1.

Поставьте в прибор эталонную лампу МН 6,3 × 0,3. Установите напряжение на ней  $6,3 \text{ В}$ ; при этом ток должен быть около  $0,3 \text{ А}$ .

Передвигая лампу, установите ранее выбранное значение фототока и определите расстояние от нее до фотоэлемента.

Опыт проделайте не менее пяти раз. Данные занесите в таблицу № 1.

Таблица 1

$I = \dots \text{ мкА}$					$J_1 = 0,92 \text{ кд}$		
№	$r_1$	$r_1^2$	$r_2$	$r_2^2$	$J_{2i}$	$\Delta J_{2i}$	$(\Delta J_{2i})^2$
1							
и т.д.							
X					$\overline{J_2}$	X	$\sum (\Delta J_{2i})^2$

Определите силу света для лампы МН 3,5 × 0,26 по формуле (2.2) и рассчитайте среднюю квадратичную ошибку:

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

Окончательно результат запишите в виде

$$J_2 = (\overline{J_2} \pm \Delta J_2) \text{ кд}, \quad \text{при } \alpha = \dots$$

**Задание 3.** Определение удельной мощности электрической лампы.

Одной из основных физических величин, характеризующих экономичность электрической лампы, является удельная мощность. Это

---

количество электрической энергии, затраченное на получение единицы силы света:

$$\eta = \frac{P}{J}, \quad (4.3)$$

где  $P$  — мощность электрического тока;  
 $J$  — сила света лампы.

Электрическая мощность определяется:

$$P = UI, \quad (4.4)$$

где  $I$  — ток через лампу;  
 $U$  — напряжение на лампе.

Объединяя (4.3) и (4.4), имеем:

$$\eta = \frac{UI}{J}. \quad (4.5)$$

Используя (4.5), определите удельную мощность эталонной лампы при номинальном напряжении  $6,3 \text{ В}$ .

Рассчитайте ошибку по формуле

$$\Delta\eta = t_{\alpha n} \sqrt{\left(\frac{\partial\eta}{\partial I}\right)^2 (\Delta I)^2 + \left(\frac{\partial\eta}{\partial U}\right)^2 (\Delta U)^2},$$

где  $\Delta I$  и  $\Delta U$  — стандартные ошибки (т.е. средние квадратичные ошибки при  $t_{\alpha n} = 1$ ). Для их определения следует разделить на два погрешность, определяемую классом точности прибора.

При расчете  $\Delta\eta$  примите  $J = const$ , т.к.  $J$  здесь определено с более высокой точностью, чем другие величины.

Окончательно результат запишите в виде

$$\eta = (\eta \pm \Delta\eta) \frac{\text{Вт}}{\text{кд}}, \quad \text{при } \alpha = \dots$$

**Задание 4.** Выяснение зависимости силы света и удельной мощности лампы от потребляемой электрической мощности.

Для выполнения этого задания оставьте в приборе эталонную лампу МН  $6,3 \times 0,3$ . Изменяя напряжение на лампе от  $2 \text{ В}$  до  $7 \text{ В}$ , вычислите не менее пяти значений силы света (как в задании 2) и удельной



#### 4. Порядок выполнения работы

---

мощности (как в задании 3). Шаг изменения напряжения выберите самостоятельное. Данные измерений и вычислений занесите в таблицу 2.

**Таблица 2**

№	$U$	$I$	$P$	$r_1$	$r_1^2$	$r_2$	$r_2^2$	$J_2$	$\eta$
1									
и т.д.									

Эталонным источником света в этом задании является та же лампа МН 6,3 × 0,3 при номинальном напряжении 6,3 В.

Выбранное для измерений значение фототока можно изменять при переходе от одной строки таблицы к другой.

По данным таблицы № 2 постройте два графика:

$$J_2 = f(P) \quad \text{и} \quad \eta = f(P).$$

Расчет ошибок в этом задании производите только по указанию преподавателя. Таблица № 2 при этом сильно усложняется.

#### **Задание 5.** Измерение освещенности люксметром.

Люксметром называется прибор, служащий для определения освещенности объектов. Люксметры подразделяются на визуальные и объективные. Объективные люксметры в настоящее время являются преобладающими вследствие простоты обращения и исключения субъективных особенностей наблюдателя. Приемником световой энергии в люксметре служит селеновый фотоэлемент, кривая спектральной чувствительности которого близка к соответствующей кривой глаза. При измерении фотоэлемент необходимо располагать перпендикулярно падению лучей света. В качестве измерительного прибора служит микроамперметр, проградуированный в люксах. Пределы измерений люксметра могут быть изменены путем введения дополнительных сопротивлений в цепь микроамперметра или использования нейтральных поглощающих фильтров, которыми прикрывается фотоэлемент.

---

В работе применяется люксметр марки 1.ЛКП. который является переносным прибором. Для подготовки люксметра к работе проделайте следующие операции.

1. Откройте крышку, извлеките рукоятку катушки из гнезда и поверните ее на  $180^\circ$ .
2. Извлеките державку с фотоэлементом из гнезда и вытяните соединительный шнур на нужную длину.
3. Поставьте тумблер переключателя пределов измерений в положение “500”. Проверьте при затемненном фотоэлементе установку нуля и при необходимости установите стрелку на нуль механическим корректором.
4. Поверните фотоэлемент к свету и снимите показания по нижней шкале прибора. Если стрелка отклонилась недостаточно далеко, переключите люксметр на предел “150” и снимите показания по верхней шкале.

Подготовив прибор к работе, определите освещенность своего рабочего места. По указанию преподавателя определите освещенность в соседних помещениях. Полученные результаты сравните с минимальными санитарными нормами:

аудитории, классы (на столах, на доске)	–	75 лк,
лаборатории	–	100 лк,
коридоры	–	15 лк.

## 5. Контрольные вопросы

1. Устройство и работа вентильного фотоэлемента.
2. Что такое спектральная чувствительность? Кривая видности.
3. Что такое удельная мощность? Как она изменяется при изменении электрической мощности?
4. КПД различных источников света.
5. Устройство и принцип работы люксметра.