

Лабораторная работа 3-10

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ ЗАКОН ОБРАТНЫХ КВАДРАТОВ РАССТОЯНИЙ

А.А. Докучаева

Цель работы

Экспериментально проверить фотометрический закон зависимости освещенности от квадрата обратных расстояний.

Теоретическое введение

Всякая реальная световая волна представляет собой наложение волн с длинами, заключенными в некотором интервале $\Delta\lambda$, охватывает весь диапазон, воспринимаемых глазом электромагнитных волн, т.е. простирается от 0,40 до 0,76 мкм.

Распределение потока энергии по длинам волн описывается функцией распределения:

$$\varphi(\lambda) = \frac{d\Phi_{\vartheta}}{d\lambda}, \quad (10.1)$$

где $d\Phi_{\vartheta}$ – поток энергии, приходящийся на длины волн от λ до $\lambda + d\lambda$.

Тогда поток энергии, переносимый волнами, заключенными в интервале от λ_1 до λ_2 :

$$\Phi_{\vartheta} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda) d\lambda \quad (10.2)$$

Действие света на глаз (световое ощущение) в сильной степени зависит от длины волны. Электромагнитные волны с длиной λ , меньшей 0,40 мкм и большей 0,76 мкм совсем не вызывают

зрительного ощущения. Чувствительность среднего нормального человеческого глаза к излучению с разной длиной волны характеризуется *относительной спектральной чувствительностью* $V(\lambda)$. Наиболее чувствителен глаз к излучению с длиной волны 0,555 мкм (зеленая часть спектра). Функция $V(\lambda)$ для этой длины волны принята равной единице. Соответственно, $V(\lambda)$ для других видимых длин волн меньше единицы. Вне интервала длин видимых волн функция $V(\lambda)$ равна нулю.

Для характеристики интенсивности света, с учетом его способности вызывать зрительное ощущение, вводится понятие *светового потока* Φ . Для интервала $d\lambda$ световой поток равен:

$$d\Phi = V(\lambda)d\Phi_{\lambda} \quad (10.3)$$

или

$$d\Phi = V(\lambda)\varphi(\lambda)d\lambda. \quad (10.4)$$

Полный световой поток равен:

$$\Phi = \int_0^{\infty} V(\lambda)\varphi(\lambda)d\lambda \quad (10.5)$$

Функция $V(\lambda)$ – безразмерная величина. Поэтому световой поток можно определить как поток световой энергии, оцениваемый по зрительному ощущению.

Фотометрические величины

Световой поток. Единицей измерения светового потока является *люмен* (лм). Опытным путем установлено, что световому потоку в 1 лм., образованному излучением с длиной волны $\lambda=0,555$ мкм, соответствует поток энергии 0,00146 Вт. Величина 0,00146 Вт/лм называется *механическим эквивалентом света*. Световому потоку в 1 лм., образованному излучением с другой длиной волны λ , соответствует поток энергии:

$$\Phi_{\lambda} = \frac{0,00146}{V(\lambda)} [\text{Вт}]. \quad (10.6)$$

Сила света. Источник света, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием от места наблюдения до источника, называется точечным. В однородной и изотропной среде волна, излучаемая точечным источником, будет сферической. Для характеристики точечных источников света применяется понятие *силы света* I . Сила света определяется как поток излучения источника, приходящийся на единицу телесного угла:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}. \quad (10.7)$$

Полный световой поток источника света:

$$\Phi = \int_0^{4\pi} I d\omega. \quad (10.8)$$

В общем случае сила света зависит от направления. Если I не зависит от направления, источник света называется изотропным. Для изотропного источника:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}, \quad (10.9)$$

где Φ – полный световой поток, излучаемый источником по всем направлениям.

Единица силы света – *кандела* (кд).

Освещенность. Если на поверхность dS падает световой поток $d\Phi$, то освещенность равна:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (10.10)$$

или

$$E = \frac{I d\omega}{dS}. \quad (10.11)$$

Единицей освещенности является *люкс* (лк)

Телесный угол $d\omega$ равен:

$$d\omega = \frac{dS}{r^2}, \quad (10.12)$$

где r – расстояние между точечным источником света и площадью dS , на которую опирается телесный угол $d\omega$.

Учитывая выражения (10.11) и (10.12), получим фотометрический закон обратных квадратов расстояний:

$$E = \frac{I}{r^2}. \quad (10.13)$$

Согласно закону (10.13), освещенность E уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния r от источника света для постоянной силы света I (рис.10.1).

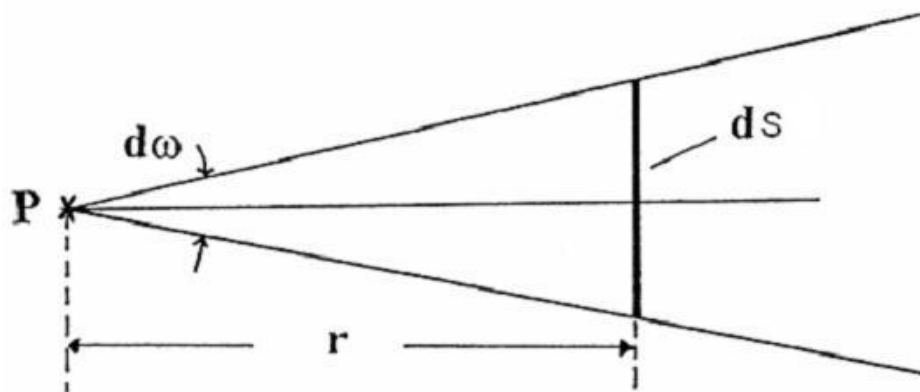


Рис.10.1. Схема определения освещенности E в зависимости от расстояния r :

P – источник света; $d\omega$ – телесный угол; dS - площадь, на которую падает световой поток $d\Phi$; r – расстояние между освещенной поверхностью dS и источником света P .

Описание экспериментальной установки

Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 10.2.

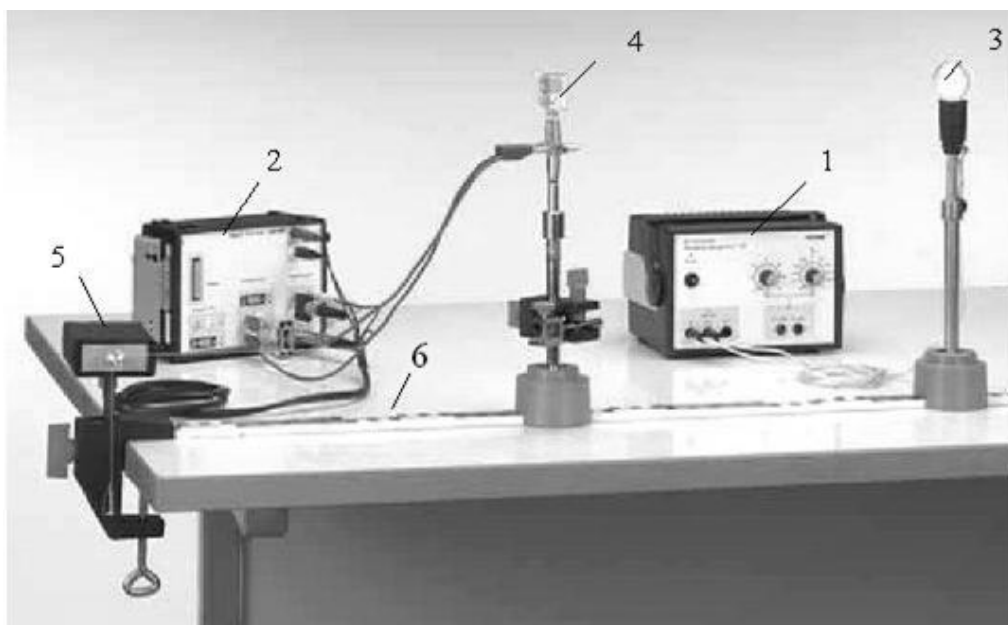


Рис.10.2. Экспериментальная установка.

Основными элементами установки являются: 1 – источник питания, 12В; 2 – базовый узел **Cobra 3**; 3 – держатель лампы с лампой (источник света); 4 – фотодиод (фотоприемник); 5 – резистор движения с кабелем; 6 – направляющий желоб, по которому двигаются фотодиод и источник света (с мерной шкалой, $l = 1000$ мм.)

Технические данные приборов необходимо занести в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Технические данные приборов

Название прибора	Пределы измерений	Число делений	Цена деления	Класс точности	Абсолютная приборная погрешность

Порядок выполнения работы

При выполнении лабораторной работы необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, установленные на рабочем месте студента в лаборатории. К работе с установкой допускаются лица, ознакомленные с ее устройством и принципом действия.

1. Установите лампу так, чтобы нить накала лампы находилась напротив фотоприемника.
2. Расположите фотодиод таким образом, чтобы он оставался ориентированным на нить накала лампы при движении. Источник света (лампа) и фотоприемник (фотодиод) должны быть смонтированы так, чтобы нить накала лампы и фотоприемник находились на одной высоте над столом.
3. Так как закон обратных расстояний, который надо проверить в данной работе, справедлив только для точечных источников света, вначале надо раздвинуть лампу и приемник излучения (фотоприемник) на 15 см.
4. Необходимо затемнить комнату или оградить экспериментальную установку от прямого солнечного света.
5. Включите программу измерений и выделите модуль измерений **Cobra 3 Force/Tesla**.
6. Начинайте отодвигать фотодиод от лампы с определенным шагом, при этом фиксируя расстояние (см) между лампой и фотодиодом в окошке компьютера с помощью ручного ввода.
7. Полученные при этом значения напряжения на фотодиоде (В) будут характеризовать интенсивность света лампы.

Обработка результатов эксперимента

1. Полученные экспериментальные данные представить в виде табл. 10.2 и 10.3.

Таблица 10.2

Зависимость интенсивности I света от расстояния r между лампой и фотодиодом

r , см	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	
----------	-------	-------	-------	-------	-------	------

I, B						
--------	--	--	--	--	--	--

Таблица 10.3

Зависимость интенсивности света I от величины, обратной квадрату расстояния r между лампой и фотодиодом

r, CM	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	...
$1/r^2, 1/\text{CM}^2$						
I, B						

2. Построить график зависимости интенсивности света I от расстояния r (рис 10.3).

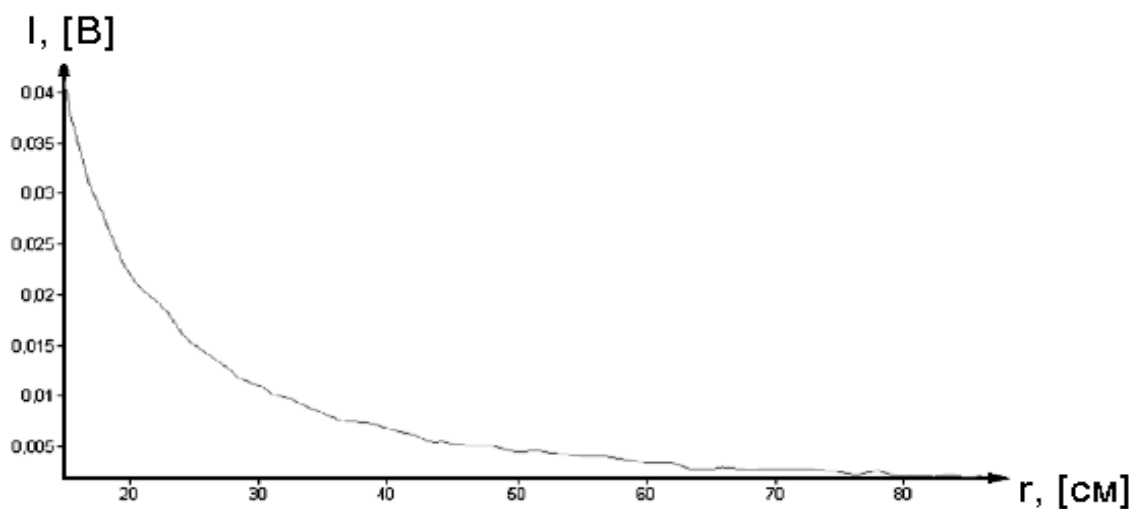


Рис.10.3. Зависимость интенсивности света I от расстояния r между лампой и фотодиодом.

3. Построить график зависимости интенсивности света I от величины, обратной квадрату расстояния $1/r^2$ между лампой и фотодиодом (рис. 10.4).

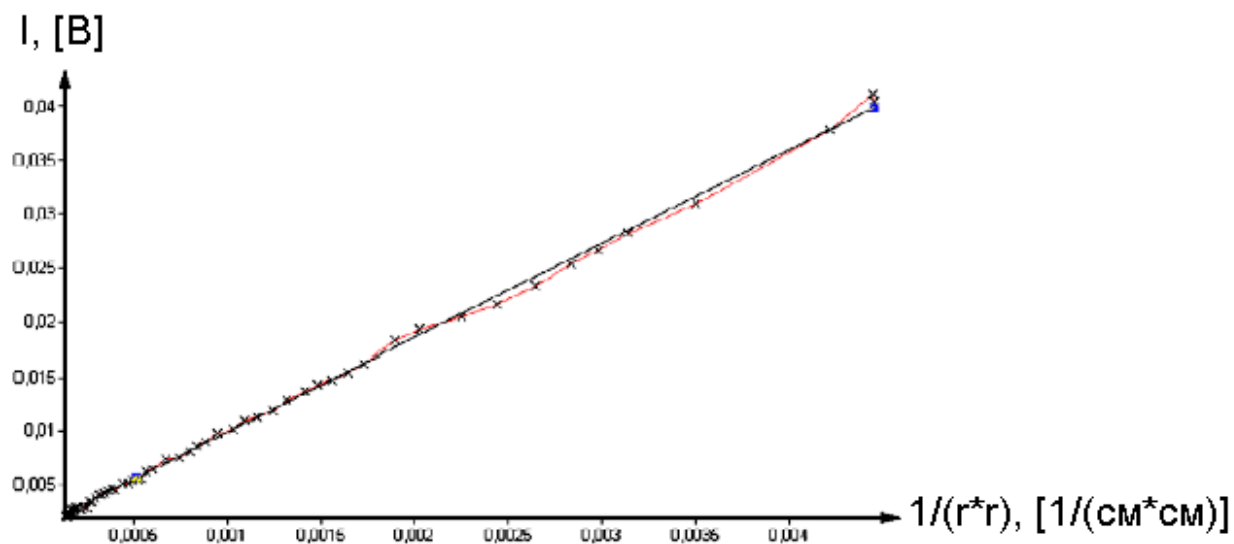


Рис 10.4. Зависимость интенсивности света I от величины обратной квадрату расстояния r между лампой и фотодиодом.

Библиографический список

а) основной

1. Савельев И.В. Курс общей физики: учебник для вузов. В 3 т. Т 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. / И. В. Савельев. – СПб.: Лань, 2006. – С. 327–332.

а) дополнительный

2. Капуткин Д.Е. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ: учебное пособие. / Д.Е. Капуткин, А.Г. Шустиков. – М.: МИСиС, 2007. – 108 с.

Контрольные вопросы

1. Как записывается выражение для потока энергии, переносимой волнами, заключенными в интервале длин волн от λ_1 до λ_2 ?
2. Что называется относительной спектральной чувствительностью $V(\lambda)$?
3. Чему равен полный световой поток Φ ?
4. Как связана сила света I с полным световым потоком источника света?
5. Что такое освещенность E ?

