****

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

**Саровский физико-технический институт - филиал НИЯУ МИФИ**

**Факультет информационных технологий и электроники**

**Кафедра общей физики**

**Косяк Е.Г., Лебедев О.Н., Щепелев А.А.**

## Фотометрия

Методические указания по выполнению лабораторной работы по физике

УТВЕРЖДЕНО:

Заседанием кафедры ОФ

Протокол №\_\_\_\_\_\_\_\_от «\_\_\_\_» 2019 г

И.о.зав. кафедрой ОФ

Е.Г. Косяк

Председатель научно-методического совета СарФТИ НИЯУ МИФИ  
 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.П. Скрыпник

г. Саров, 2019

***Цель работы:*** Изучение количественных характеристик светового излучения, зависимости освещенности от расстояния для точечного источника света.

**Оборудование:** Лампа накаливания, фотоэлемент с микроамперметром, оптическая скамья, рейтеры.

***Краткая теория***

Прежде чем рассматривать законы оптических явлений, мы должны составить себе представление об измерении света — фотометрии, которая сводится к измерению энергии, приносимой световой волной, или к измерению величин, так или иначе связанных с этой энергетической характеристикой.

Расположим на пути лучистой энергии, идущей от точечного источника *L* (Рис.1), какую-нибудь малую площадку σ и измерим количество энергии *Q*, протекающее через эту площадку за время τ. Отношение

Рис. 1





показывающее количество лучистой энергии, протекающей через площадку σ за единицу времени, т. е. мощность сквозь поверхность σ, называется потоком лучистой энергии через поверхность σ.

Так как лучистая энергия в однородной среде распространяется прямолинейно, то, проведя из точки *L* совокупность лучей, опирающихся на контур площадки σ, мы получим конус, ограничивающий часть потока, протекающую через σ. Если внутри среды поглощения энергии нет, то через любое сечение этого конуса протекает один и тот же поток. Сечение конуса сферической поверхностью с центром в *L* и с радиусом, равным единице, дает меру телесного угла конуса *d*Ω. Если нормаль **** к поверхности σ составляет угол *i* с осью конуса, а расстояние от *L* до площадки есть *R*, то



Напомним, что телесный угол представляет собой часть пространства, ограниченного конической поверхностью и определяется отношением площади сферической поверхности единичного радиуса *dS*, заключенной внутри конус угла с вершиной в центре сферы. Можно взять и сферу произвольного радиуса *R*, но тогда необходимо эту площадь поделить на квадрат радиуса этой сферы:

Ω*= dS /R2*

Единица телесного угла - стерадиан (ср). Максимальный телесный угол

Ω*=S/R2=*4*πR2/R2=*4*π=*12.56 ср.

Таким образом, выделенная нами часть потока приходится на телесный угол *d*Ω. При этом мы предполагаем, что линейные размеры площадки σ малы по сравнению с *R*, так что *d*Ω — небольшая величина и внутри *d*Ω поток можно считать равномерным. Полный поток, идущий от *L* по всем направлениям, будет



Большинство источников испускают волны различной длины, приходящимися на область как видимых, так и невидимых лучей. Для полной энергетической характеристики такого света необходимо указать распределение энергии по длинам волн.

Величина *f*(λ), равная потоку лучистой энергии, отнесенной на единичный интервал длин волн вблизи данной длины волны λ, называется функцией распределения энергии по длинам волн:

*d*Ф = *f*(λ)*d*λ

Единица измерения потока лучистой энергии – ватты (Вт).

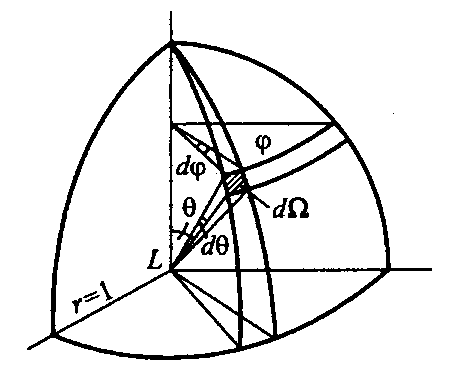
Величину потока лучистой энергии, приходящегося на единицу телесного угла, называют силой излучения (энергетической силой света). Если поток Ф посылается нашим источником равномерно по всем направлениям, то



есть энергетическая сила света, одинаковая для любого направления. В случае неравномерного потока величина Ф/4π представляет лишь среднюю силу света и называется *средней сферической силой излучения*. Для определения истинной силы излучения по какому-либо направлению надо выделить вдоль него достаточно малый элементарный телесный угол *d*Ω и измерить поток лучистой энергии *d*Ф, приходящийся на этот телесный угол.

Энергетическая сила света по данному направлению определится соотношением

 *(1)*

Охарактеризовав выбранное направление углами широты *θ* и долготы *φ* в некоторой полярной системе координат (Рис. 2), можно обозначить силу излучения по данному направлению через *Iθ,φ* Величина эта есть функция *φ* и *θ*. Из рисунка явствует, что

*dΩ=*sin *θdθdφ*,

следовательно*, dΦ=Iθ,*φsin *θdθdφ*, а полный поток

Рис. 2



Если *I* не зависит от *φ* и *θ* (равномерный поток), то из этого общего соотношения следует, что

Ф=4*πI*

Единицей силы излучения является Вт/ср.

Отношение потока излучения, падающего на рассматриваемый малый участок поверхности, к площади этого участка называется энергетической освещенностью (облученностью) *Е*

*E = dΦ/dS (вт/м2)*

Средняя энергетическая освещенность *Ee = Φe/S*.

Поток лучистой энергии излучения, проходящего в рассматриваемом направлении в пределах малого телесного угла *d*Ω через участок поверхности *dS*, в самом простом случае пропорционален, обеим этим величинам и косинусу угла *i* между рассматриваемым направлением и нормалью к участку *dS*,

*dΦ = L d*Ω *dS* cos*i*

Коэффициент пропорциональности *L* в этом выражении называется энергетической яркостью. Для плоской поверхности, имеющей одинаковую яркость во всех направлениях,

*L = I/(dS* cos*i) = Imax/dS = const*

Откуда

*I= Imax* cos*i*

Плоская поверхность, равнояркая во всех направлениях, излучает энергию по закону косинусов, в этом состоит закон Ламберта.

Все описанные выше величины не учитывают того обстоятельства, что зрение человека ограничено интервалом длин волн 380-780 нм. Совместное действие излучения на сетчатку глаза воспринимается как белый свет, а излучение, содержащее определенную длину волны (монохроматическое), воспринимается как цветное. Чувствительность среднего нормального человеческого глаза к свету разной длины волны различна и характеризуется кривой относительной спектральной чувствительности (кривой видности)*.* Ее график показан на рис. 3, где *Vλ* — относительная спектральная чувствительность. Наиболее чувствителен глаз к свету с длиной волны 555 нм (зеленая часть спектра). Для этой длины волны принято *Vλ* = 1.

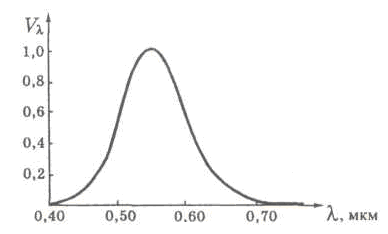


Рис.3

При одинаковом потоке лучистой энергии оцениваемая зрительно интенсивность света других длин волн оказывается меньшей. Так, например монохроматическое излучение с длиной волны λ = 0.65 мкм (красный цвет) субъективно нам будет казаться почти в пять раз менее ярким, чем зеленый, при одном и том же потоке энергии. Вне интервала видимых длин волн *Vλ =* 0.

Для характеристики интенсивности света с учетом его способности вызывать зрительное ощущение вводят понятие светового потока *F*.



где *f*(λ) - функцией распределения энергии по длинам волн, *V(λ)* – функция видности. Здесь *F* получается в ваттах.

Для монохроматического света длиной волны λ:

*F =* Ф*V*(λ)

*V*(λ) имеет максимум, равный единице при *λ=*555нм для дневного зрения и *λ=*515нм для ночного (сумеречного) зрения.

Отношение светового потока, распространяющегося от источника в рассматриваемом направлении внутри малого телесного угла, к этому телесному углу, называется силой света

*J=dF/dΩ* (2)

При равномерном распределении светового потока внутри телесного угла

*J=F/Ω*

В соответствии с системой СИ основной световой единицей силы света является кандела (Кд).

Единицей светового потока является люмен (лм), численно равный световому потоку, излучаемым равномерным точечным источником с силой в одну канделу (кд). Установлено, что при длине волны *λ=*555нм 1Вт монохроматического излучения соответствует 680лм светового потока, или одному люмену соответствует 1.47·10-2 Вт. Поэтому для светового потока в люменах имеем



Для какой либо определенной длины волны

*F=* 680*V*(λ)Φ

Отношение светового потока, исходящего от рассматриваемого малого участка поверхности, к площади этого участка называется светимостью *М*, а отношение светового потока, падающего на рассматриваемый малый участок поверхности, к площади этого участка называется освещенностью *Н*:

*М=dF/dS, Н=dF/dS* (3)

Средняя светимость и средняя освещенность соответственно равны *М=F/S, Н=F/S*. Светимость измеряется в лм/м2, а освещенность - в люксах (лк) 1лк=1лм/1м2.

Видимость элемента поверхности или предмета характеризуется яркостью. Отношение светового потока, проходящего в рассматриваемом направлении в пределах малого телесного угла *dΩ* через участок поверхности *dS*, к произведению этого телесного угла, площади участка и косинуса угла *i* между рассматриваемым направлением и нормалью к участку *dS*, называется яркостью *B*:

*B=dF/(dΩ dS* cos*i) = dI/(dS* cos*i) = dE/(dΩ* cos*i)* [кд/ м2]

Для плоской поверхности, имеющей одинаковую яркость во всех направлениях, *L=I/dS=const* .

Из (2)

*dF = JdΩ =JdS/R2*

где *R –* расстояние до источника. Подставляя это в выражение для освещенности (3) получаем

*Н = J/R2*

Это так называемый закон обратных квадратов, из которого следует, что освещенность поверхности обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника.

***Описание эксперимента***

Экспериментальная установка состоит из оптической скамьи с набором рейтеров, источника света (лампа накаливания), фотометрического датчика и цифрового микроамперметра.

Лампа накаливания питается от источника напряжения 14 В, потребляя ток 0.15 А. Размеры нагретой нити достаточно малы, так что в проводимом эксперименте лампу можно считать точечным источником света.

Фотоэлемент представляет собой пластинку полупроводника размером 3х3 мм. Чувствительность фотоэлемента 50 мкА.см2/Вт.

Ток измеряется микроамперметром, его предел измерения 20 мкА или 200 мкА выбирается переключателем под цифровым индикатором.

Проводя измерения, следует иметь ввиду, что лампа и фотоприемник закреплены на рейтерах так, что расстояние от нагретой нити до фотоэлемента будет на 5 см меньше, чем разность координат рейтеров.

***Техника безопасности***

* Необходимо соблюдать общие правила техники безопасности лаборатории "Оптика".
* Не следует касаться руками оптических элементов.

***Порядок выполнения работы***

1. Получив допуск к выполнению работы, включить питание макета. Установить рейтер с лампой вблизи левого края оптической скамьи, записать его координату *x*Л.
2. Поместить рейтер с фотоприемником на минимальном расстоянии от лампы, кнопкой "Источник света" на блоке питания включить лампу и выбрать переключателем микроамперметра предел измерения 200 мкА.
3. Занести в таблицу значения тока *I'* от координаты *x*, отодвигая фотоприемник с шагом 5 – 10 см. Когда ток фотоэлемента станет меньше 20 мкА, переключить микроамперметр на предел 20 мкА.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ***x*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***I'*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***r*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***r*2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***I*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Ф** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***E*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***F*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ***H*** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Сняв зависимость тока от координаты, выключить лампу и записать значение фонового тока *I*Ф.

***Обработка результатов***

1. Рассчитать расстояние *r* от нити лампы до фотоэлемента, учитывая смещение 5 см, согласно описанию эксперимента, рассчитать значения *r*2. Найти ток *I* = *I'* - *I*Ф.
2. Используя значение чувствительности фотоэлемента, рассчитать значения потока лучистой энергии, падающей на фотоэлемент Ф, и его облученности *Е* для каждого значения *х.* Занести эти данные в таблицу.
3. Используя данные из предыдущего пункта, рассчитать значения светового потока, падающего на фотоэлемент *F*, и его освещенности *Н* для каждого значения *х.* Занести эти данные в таблицу.
4. Построить график зависимости *H*(*r*2).
5. Рассчитайте кпд источника света по световому потоку.

***Представление результатов работы***

В заключении следует привести найденное значение кпд источника света.

Проанализируйте графики зависимости *H*(*r*2), укажите причины отклонения экспериментальных точек от линейной зависимости.

***Контрольные вопросы***

1. Чем отличается световой поток от потока лучистой энергии?
2. Чем отличается облученность от освещенности?
3. Что такое кривая видности?
4. Имеются два монохроматических источника света, одинаковой мощности, один зеленый другой синий. Будут ли они казаться нам одинаковой яркости?
5. Имеются два монохроматических источника света, одинаковой мощности, один красный другой синий. Будут ли они казаться нам одинаковой яркости?
6. В чем заключается закон Ламберта?
7. Чему равны максимальный и минимальный телесные углы, под которыми виден фотоэлемент из источника света в данной работе?
8. Сформулируйте закон обратных квадратов.

***Литература***

1. Ландсберг Г.С. Оптика. - М.: Наука, 1976.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. IV. Оптика- М., ФИЗМАТЛИТ, 2002.
3. Е.И. Бутиков. Оптика. - СПб, Невский Диалект, 2003.
4. Савельев И.В.Курс общей физики. T. 4, **-** М., Астрель АСТ, 2002