

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Амурский государственный университет»

Инженерно-физический факультет
Кафедра физики

Лабораторный практикум по общей физике
Оптика

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Благовещенск 2019

ББК 22.343

Л12

Рецензент:

С.В. Барышников, профессор кафедры физического и математического образования ФГБОУ ВО «Благовещенский государственный педагогический университет», д-р. физ.-мат. наук, профессор.

Зотова О.В., Голубева И.Г. (составители)

Л12 Лабораторная работа. Изучение явления теплового излучения /сост. О.В. Зотова, И.А. Голубева. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2019.

Лабораторная работа «Изучение явления теплового излучения» входит в общий физический практикум (раздел «Оптика») для студентов, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

В пособии содержится теоретический материал на тему исследования, описание лабораторной установки и методики эксперимента, указания по выполнению эксперимента и обработке результатов измерений, вопросы для контроля знаний, а также список рекомендуемой учебной литературы.

ББК 22.343

В авторской редакции.

©Амурский государственный университет, 2019

© О.В. Зотова, И.А. Голубева, 2019

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: Измерить температуру и интегральный коэффициент излучения тела методом спектральных отношений.

Оборудование: двухчастотный регистратор теплового излучения РТИ1.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Теплообмен, являясь формой передачи энергии между макроскопическими телами, осуществляется в природе как за счет теплопроводности тел, приведенных в контакт друг с другом, так и посредством теплового излучения тел.

Все тела испускают электромагнитные волны: невидимые инфракрасные – при обычных температурах, видимый свет – в нагретом состоянии. Причины свечения тел могут быть различными.

Электромагнитное излучение называется *тепловым*, если оно возникает и испускается телом за счет убыли только внутренней его энергии, характеризующейся температурой тела. Всякое другое излучение, например люминесценция, происходящее за счет иных источников энергии, не является тепловым. Тепловое излучение возникает как результат изменения теплового движения взаимодействующих частиц тела, например, при различных видах столкновений частиц газа или плазмы, при энергетическом обмене в процессах электронного или колебательного движения частиц твердых тел и т.п.

Всякое тело не только излучает, но и поглощает излучение других тел, вследствие чего его внутренняя энергия (и температура) получает некоторое приращение. Все тела, имеющие неодинаковые температуры, участвуют в теплообмене излучением. У более нагретых тел энергия испускаемого излучения больше энергии поглощаемого излучения. В системе тел происходит перенос теплового излучения. Для его поддержания к «горячим» телам необходимо подводить, а от «холодных» отводить тепло.

В условиях «адиабатически изолированной системы» теплообмен излучением приводит к выравниванию температуры входящих в нее тел. При этом теплообмен прекращается и наступает состояние «термодинамического равновесия теплового излучения с веществом»: температура тела остается постоянной, а энергии испускаемого и поглощаемого излучения – одинаковы. В этих условиях тепловое излучение называется равновесным. Нетепловые виды излучений не могут быть равновесными.

Тепловое излучение тел, образующих замкнутую равновесную систему, подчиняется законам термодинамики. Характерной особенностью равновесного теплового излучения является то, что оно имеет сплошной спектр частот (длин волн) и не зависит от вещества, составляющего тело. Термодинамическое равновесие достигается с помощью специальных мер, например, по обеспечению замкнутости системы тел. В обычной практике термодинамическое равновесие вещества с излучением отсутствует, и спектры могут иметь самый различный вид.

Тепловое излучение зависит от температуры тела, а его отдельные характеристики являются также функцией от длины волны излучения. Для описания законов теплового излучения вводятся следующие параметры:

$\Phi_T (Вт)$ – **поток излучения**, испускаемый телом при температуре T . Он определяется как энергия излучения любого спектрального состава в единицу времени;

$$R_T = \frac{d\Phi_T}{dS} \left(\frac{Вт}{м^2} \right) - \text{энергетическая светимость} \text{ тела при температуре } T$$

(здесь S – поверхность тела, испускающая излучение);

$$R_{T,\lambda} = \frac{dR_T}{d\lambda} \left(\frac{Вт}{м^3} \right) - \text{излучательная способность} \text{ тела, равная отношению}$$

энергетической светимости тела dR_T , приходящейся на узкий диапазон длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, к величине этого диапазона $d\lambda$;

$$A_{T,\lambda} = \frac{d\Phi_{T(\text{пол})}}{d\Phi(\text{пад})} \quad \text{—} \quad \text{поглощательная способность} \quad \text{тела, равная}$$

отношению элементарных потоков поглощенного и падающего на тело излучения.

Излучательная и поглощательная способности тел зависят от температуры тел и от длины волны излучения. Для всех реальных тел $A_{T,\lambda} < 1$.

Исходя из законов термодинамики, Кирхгоф показал, что для равновесного теплового излучения в замкнутой системе отношение излучательной и поглощательной способностей тел не зависит от их природы и является для всех тел одинаковой функцией температуры и длины волны:

$$\left(\frac{R_{T,\lambda}}{A_{T,\lambda}} \right)_1 = \left(\frac{R_{T,\lambda}}{A_{T,\lambda}} \right)_2 = \dots = \left(\frac{R_{T,\lambda}}{A_{T,\lambda}} \right)_N = r_{T,\lambda}, \quad (1)$$

здесь $1, 2, \dots, N$ – номера различных тел, образующих замкнутую систему; величина $r_{T,\lambda}$ – называется **функцией Кирхгофа**.

Записанное выражение (1) называется **законом Кирхгофа**, и имеет большое практическое значение.

В теории теплового излучения большую роль играет идеализированная модель реальных тел, полностью соответствующая требованиям равновесного излучения. Эта модель получила название **«абсолютно черного тела»**, под которым подразумевается тело, при любой температуре полностью поглощающее падающий на него поток излучения, имеющего любой спектральный состав. Для абсолютно черного тела введем специальное обозначение параметров $R_T^{\text{ч}}$, $R_{T,\lambda}^{\text{ч}}$ и $A^{\text{ч}}$.

В определении абсолютно черного тела подразумевается независимость его свойств от вещества, из которого оно состоит. Следовательно, спектр его излучения не может быть связан с характерными особенностями спектров излучения веществ. Его спектр – **сплошной** принципиально, и поглощательная способность не зависит от температуры тела и длины волны поглощаемого

излучения, и во всех случаях $A^u=1$. Реальные же физические тела даже в условиях равновесного теплового излучения имеют $A_{T,\lambda} < A^u$.

Абсолютно черное тело, как и всякое другое, подчиняется закону Кирхгофа и для него справедливо равенство $\frac{R_{T,\lambda}^u}{A^u} = r_{T,\lambda}$, но $A^u=1$ и поэтому

$R_{T,\lambda}^u = r_{T,\lambda}$. Поэтому закон Кирхгофа для нечерных тел приобретает вид

$$\frac{R_{T,\lambda}}{A_{T,\lambda}} = r_{T,\lambda} \equiv R_{T,\lambda}^u. \quad (2)$$

Из выражения (2) следует важный вывод о том, что функция Кирхгофа является по сути излучательной способностью абсолютно черного тела.

В процессе установления закона теплового излучения абсолютно черного тела, согласующегося с экспериментально полученными зависимостями, М. Планк предположил, что излучение и поглощение света происходят не непрерывно, как следует из волновой теории, а порциями – **квантами**. В излучении это реализуется испусканием телами особых частиц – **фотонов**, обладающих ярко выраженными волновыми свойствами и энергией $\varepsilon = h\nu$, где $h=6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – **постоянная Планка**; ν - частота излучения. Гипотеза Планка стала решающим фактором в формировании теории теплового излучения и привела к рождению **квантовой физики**.

Исходя из определения и свойств абсолютно черного тела и на основе введения квантов излучения, Планком была получена теоретическая зависимость излучательной способности черного тела от длины волны и температуры, тем самым была решена задача о разыскании функции Кирхгофа:

$$R_{T,\lambda}^u \equiv r_{T,\lambda} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda \cdot kT}} - 1}, \quad (3)$$

где c – скорость света в вакууме;

$\frac{hc}{\lambda} = h\nu = \varepsilon$ – энергия фотона;

$\frac{hc}{\lambda \cdot kT} = \frac{\varepsilon}{kT}$ – характерное отношение энергии фотона и теплового движения частиц тела ($k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К – постоянная Больцмана).

Выражение (3) называется **формулой Планка для теплового излучения**.

Характер зависимости (3) для разных температур показан графически на рисунке 1.

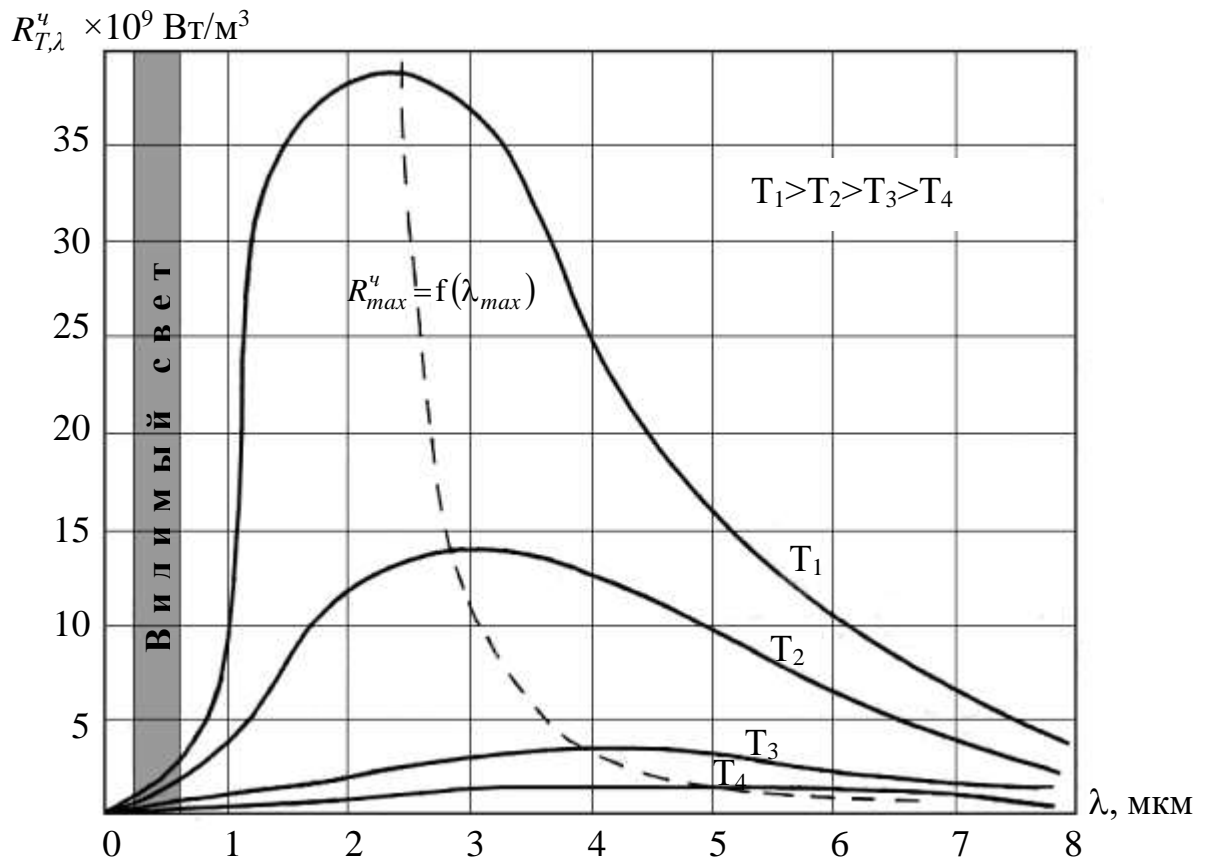


Рис. 1

Формула Планка согласуется с результатами исследований технических моделей абсолютно черного тела и экспериментально установленными законами, а именно:

- тепловое излучение абсолютно черного тела имеет сплошной спектр;
- излучательная способность абсолютно черного тела имеет максимум

равный $R_{max}^u = a \cdot T^5$ (**закон Вина**), где - $a = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Вт} / \text{м}^3 \text{ К}^5$,

– максимум излучательной способности абсолютно черного тела достигается при длине волны излучения $\lambda_{max} = b \cdot T^{-1}$ (*закон смещения Вина*), где $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – *постоянная Вина*;

– максимум излучательной способности при повышении температуры смещается в сторону более коротких длин волн в соответствии с законом смещения Вина (на рис. 1 кривая $R_{max}^u = f(\lambda_{max})$ показана пунктиром).

Отметим, что на рис. 1 площадь, ограниченная кривой $R_{T,\lambda}^u(\lambda)$, характеризует *энергетическую светимость абсолютно черного тела при данной его температуре*:

$$R_T^u = \int_0^{\infty} R_{T,\lambda}^u d\lambda. \quad (4)$$

Подстановкой формулы (3) в (4) и последующим интегрированием можно получить энергетическую светимость абсолютно черного тела

$$R_T^u = \sigma \cdot T^4 \quad (5)$$

где $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$ – *постоянная Стефана-Больцмана*.

Выражение (5) было получено до появления формулы Планка (3) экспериментальным путем и носит название *закона Стефана-Больцмана*.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Измерение температуры источника излучения

Излучательная способность абсолютно черного тела может быть определена для различных длин волн и температур по формуле Планка (3). Следовательно, для узкого диапазона длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, в котором излучательную способность $R_{T,\lambda}^u$ можно считать постоянной, энергетическая светимость абсолютно черного тела равна

$$dR_T^u = R_{T,\lambda}^u d\lambda$$

Если тело не является абсолютно черным, то его излучательная способность выражается формулой

$$R_{T,\lambda} = \alpha_{T,\lambda} R_{T,\lambda}^u,$$

где $\alpha_{T,\lambda} < 1$ - *спектральный коэффициент излучения тела*.

Следовательно, выражение для энергетической светимости тела в диапазоне длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$ можно записать в виде

$$dR_T = \alpha_{T,\lambda} R_{T,\lambda}^u d\lambda.$$

Рассмотрим излучение тела с температурой T для двух различных длин волн λ_1 и λ_2 при различных значениях диапазонов $d\lambda_1$ и $d\lambda_2$ (в обозначениях R_T и $R_{T,\lambda}^u$ индекс T опустим для простоты записи):

$$\text{— для } \lambda_1 \text{ и } d\lambda_1 \quad dR_1 = \alpha_1 R_1^u d\lambda_1,$$

$$\text{— для } \lambda_2 \text{ и } d\lambda_2 \quad dR_2 = \alpha_2 R_2^u d\lambda_2.$$

Здесь α_1 и α_2 - спектральные коэффициенты излучения тела при длинах волн λ_1 и λ_2 соответственно.

Излучение, дошедшее до приемника (фотодиод, фотосопротивление), составляет некоторую часть от общего излучения источника. Оно определяется размерами приемника, расстоянием от источника до приемника и наличием на пути излучения поглощающих сред, т.е. определяется такими параметрами измерительной системы, которые не изменяются в процессе опыта. Для двух различных приемников, воспринимающих поток падающего на них излучения в различных узких диапазонах длин волн, величины этих потоков будут равны:

$$P_1 = K_1 \alpha_1 R_1^u d\lambda_1,$$

$$P_2 = K_2 \alpha_2 R_2^u d\lambda_2,$$

где K_1 и K_2 - коэффициенты использования потока излучения первым и вторым приемником соответственно, которые не изменяются в процессе опыта.

Следовательно, отношение потоков излучения для двух приемников

$$\frac{P_1}{P_2} = Z \cdot \left(\frac{R_1^4 d\lambda_1}{R_2^4 d\lambda_2} \right),$$

где величину $Z = (K_1 \alpha_1 / K_2 \alpha_2)$ можно считать постоянной при условии, что зависимостью отношения спектральных коэффициентов излучения от температуры можно пренебречь для выбранных λ_1 и λ_2 .

Величины R_1^4 и R_2^4 определяются с помощью формулы Планка (3). Следовательно,

$$\frac{P_1}{P_2} = Z \cdot \frac{C_1 \lambda_2^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda_2 T}} - 1 \right) d\lambda_1}{C_1 \lambda_1^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda_1 T}} - 1 \right) d\lambda_2},$$

где $C_1 = 2\pi h c^2 = 3,742 \cdot 10^{-16}$ Вт·м²,

$$C_2 = \frac{hc}{k} = 1,439 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

Оценим величину $e^{\frac{C_2}{\lambda T}}$ и сравним ее с единицей. Пусть $T = 3000$ К, $\lambda = 1$ мкм, тогда $e^{\frac{C_2}{\lambda T}} = \exp\left(\frac{1,439 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-6} \cdot 3000}\right) \approx 121$, причем понижение температуры и уменьшение длины волны изменит эту оценку в большую сторону. Это означает, что для используемых в опытах температур и длин волн единицей в скобках в формуле Планка можно пренебречь (выполняется приближенная формула Вина).

$$\frac{P_1}{P_2} = Z \cdot \frac{\lambda_2^5 d\lambda_1}{\lambda_1^5 d\lambda_2} \cdot \exp\left[\frac{C_2}{T} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)\right].$$

Прологарифмируем это выражение и найдем из полученной формулы температуру T :

$$T = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \frac{P_1}{P_2} - \ln Z - 5 \cdot \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} - \ln \frac{d\lambda_1}{d\lambda_2}}.$$

Учтем, что в процессе опытов сохраняются значения λ_1 , λ_2 , $d\lambda_1$, $d\lambda_2$. Поэтому объединим члены, содержащие постоянные величины, в две новые константы L и Z_o :

$$L = C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right),$$

$$Z_o = \ln Z + 5 \cdot \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} + \ln \frac{d\lambda_1}{d\lambda_2}.$$

Тогда формула для определения температуры примет вид

$$T = \frac{L}{\ln \frac{P_1}{P_2} - Z_o}. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно что, зная из заранее проведенных опытов величину Z_o , и рассчитав значения L , можно определить соответствующую температуру излучающего тела, измерив отношение P_1/P_2 .

2. Измерение интегрального коэффициента излучения тела

Интегральный коэффициент излучения (коэффициент черноты) тела α_T определяется отношением

$$\alpha_T = \frac{R_T}{R_T^c}, \quad (7)$$

где R_T – энергетическая светимость тела при температуре T ,

R_T^c – энергетическая светимость абсолютно черного тела при этой же температуре.

Для вольфрама, который используется в данной лабораторной работе в качестве источника излучения (нить накала электролампы), интегральный

коэффициент излучения для температуры $T=2000$ К надежно измерен. Он оказался равным $\alpha_{2000} = 0,249$.

Это позволяет применить относительный метод исследования зависимости интегрального коэффициента излучения от температуры излучающего тела.

Выразим интегральный коэффициент излучения при некоторой температуре T через измеряемые величины и α_{2000} .

Согласно определению (7)

$$\alpha_T = \frac{R_T}{R_T^u}, \quad \alpha_{2000} = \frac{R_{2000}}{R_{2000}^u}.$$

Учтем, что по закону Стефана-Больцмана энергетические светимости абсолютно черного тела в этих выражениях равны

$$R_T^u = \sigma \cdot T^4, \quad R_{2000}^u = \sigma \cdot (2000)^4.$$

Если считать, что потери энергии за счет теплопроводности и конвекции малы, т.е. вся подводимая к вольфрамовой нити лампы энергия электрического тока превращается в энергию излучения, то энергетическую светимость источника можно выразить через мощность $P_{ИСТ}$, которая рассеивается на нем:

$$R_T = \frac{P_{ИСТ}}{S},$$

где S – площадь излучающей поверхности.

Найдем отношение коэффициентов излучения

$$\frac{\alpha_T}{\alpha_{2000}} = \frac{R_T R_{2000}^u}{R_T^u R_{2000}} = \frac{P_{ИСТ} \sigma (2000)^4 S}{S \sigma T^4 P_{ИСТ.2000}} = \frac{(2000)^4}{P_{ИСТ.2000}} \cdot \frac{P_{ИСТ}}{T^4} = K \cdot \frac{P_{ИСТ}}{T^4}.$$

Величину K в последней формуле можно определить из выше описанных опытов по определению температуры, если в процессе измерений снимать дополнительно значения мощности, рассеиваемой источником. Это несложно сделать, так как источник излучения нагревается электрическим током, мощность которого при высоких температурах равна

$$P_{ИСТ} = I \cdot U, \tag{8}$$

где U – напряжение на вольфрамовой спирали источника теплового излучения;
 I – сила тока в спирали.

При этом предполагается, как уже отмечалось выше, что подводимая энергия рассеивается только за счет излучения, а ее потери за счет теплопроводности пренебрежимо малы. Следовательно, для интегрального коэффициента излучения получаем формулу

$$\alpha_T = \alpha_{2000} \cdot K \cdot \frac{P_{ИСТ}}{T^4}, \quad (9)$$

здесь коэффициенты равны: $K = \frac{(2000)^4}{P_{ИСТ.2000}}$, $\alpha_{2000} = 0,249$.

3. Описание установки

В качестве экспериментальной установки используется двухчастотный регистратор теплового излучения РТИ1. Источником теплового излучения является вольфрамовая спираль электрической лампы накаливания (находится внутри блока РТИ1). Внешний вид установки представлен на рисунке 2.

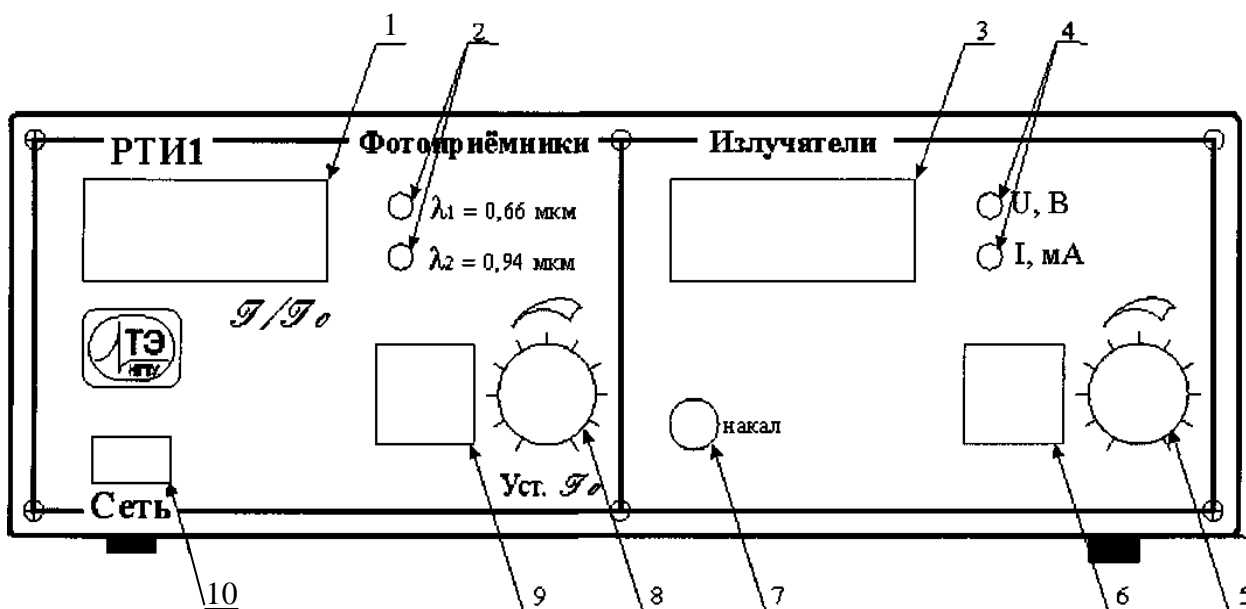


Рис. 2

1 – индикатор относительной интенсивности I/I_0 ; 2 – индикатор выбранного фотоприемника; 3 – индикатор тока или напряжения лампы накаливания; 4 – индикатор измеряемой величины тока или напряжения; 5 – регулятор напряжения накала; 6 – кнопка переключения ток/напряжение накала; 7 – накал (вид на лампу накаливания); 8 – регулятор I_{max} ; 9 – кнопка переключения фотоприемников; 10 – выключатель «Сеть».

Излучение от источника (лампы накаливания) достигает двух фотоприемников, которые находятся внутри блока. Фотоприемники воспринимают излучение в узком диапазоне длин волн, причем середины этих диапазонов лежат в различных частях спектра излучения: λ_1 – в видимой области, λ_2 – в инфракрасной. Численные значения λ_1 и λ_2 указаны на передней стенке электронного блока.

Подключение нужных фотоприемников производится нажатием кнопки 9 на лицевой стороне блока, при этом факт подключения отображается индикатором 2.

Усиленный сигнал, пропорциональный мощности принятого фотоприемником излучения, через усилители подается на регистрирующий прибор.

Следует отметить, что согласно исследованиям [3], для выбранных длин волн фотоприемников отношение спектральных коэффициентов излучения вольфрама можно считать постоянным в пределах измеряемого диапазона температур, что является важным условием применимости рабочей формулы (6).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. На рабочем месте ознакомьтесь с лабораторной установкой.
2. Заготовьте таблицу 1 для записи измерений следующих величин:
 - напряжения $U_{\text{ист}}$ на вольфрамовой спирали источника теплового излучения;
 - силы тока $I_{\text{ист}}$, протекающего через вольфрамовую спираль;
 - мощности $P_{\text{ист}}$, потребляемой вольфрамовой спиралью;
 - величины сигналов I/I_0 первого и второго фотоприемников λ_1 и λ_2 , которые будут сниматься с регистрирующего прибора;
 - отношения сигналов с фотоприемников $I_1/I_2 = P_1/P_2$;
 - натурального логарифма отношения I_1/I_2 (или $\ln P_1/P_2$);

температуры нагретого тела (вольфрамовой спирали) T , рассчитанной по формуле (6);

интегрального коэффициента излучения α_T , рассчитанного по формуле (9).

Таблица 1

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----|---|---|-----|---|-----|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|---|
| $U_{\text{ист}}, \text{В}$ | 10 | 9 | 8 | 7,5 | 7 | 6,5 | 6 | 5,8 | 5,6 | 5,4 | 5,2 | 5 | 4,8 | 4,6 | 4,4 | 4,2 | 4 |
| $I_{\text{ист}}, \text{мА}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $P_{\text{ист}}, \text{Вт}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I_1/I_0 для λ_1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I_2/I_0 для λ_2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1}{I_2}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\ln \frac{P_1}{P_2}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $T, \text{К}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| α_T | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3. Запишите значения λ_1 и λ_2 .
4. Включите установку. Проверьте, включены ли нужные фотоприемники.
5. Установите отношение I_1/I_0 в интервале $0,005 \div 0,01$ (по заданию преподавателя).
6. Увеличьте напряжение источника до предельного значения 10 В.
7. Снимите показания P_1 и P_2 с цифрового индикатора измерителя относительной интенсивности теплового излучения (I/I_0). Учтите, что в случае перегрузки цифровой индикатор измерителя относительной интенсивности теплового излучения показывает только единицу в старшем разряде.
8. Снимите показания амперметра и вольтметра. Внесите показания в таблицу.
9. Постепенно уменьшая напряжение генератора с 10 В до 4 В (согласно таблице), снимите показания как описано в п. 7 и п.8.

10. Пользуясь рабочей формулой (6), вычислите температуры источника излучения при различных значениях мощности, выделяемой на источнике. Величину Z_0 возьмите равной $Z_0=1,784$.
11. Вычислите по формуле (8) мощность, выделяющуюся на спирали источника излучения для каждого значения температуры.
12. Постройте график $P_{\text{ист}}(T)$ и определите из него значение $P_{\text{ист}}$ при $T=2000$ К.
13. Пользуясь рабочей формулой (9), вычислите значения интегрального коэффициента излучения α_T источника в исследованном диапазоне температур и постройте график $\alpha_T = f(T)$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните особенности теплового излучения, его спектр.
2. Абсолютно черное тело, его свойства и его роль в теории теплового излучения.
3. Излучательная и поглощательная способности тел, энергетическая светимость.
4. Закон Кирхгофа.
5. Закон Стефана-Больцмана и закон Вина.
6. Формула Планка и ее значение в теории теплового излучения.
7. Тепловое излучение реальных тел, спектральный и интегральный коэффициенты излучения.
8. Преимущества метода спектральных отношений для бесконтактного измерения температуры тела.
9. Методика определения интегрального коэффициента излучения.
10. Почему α_T с ростом температуры резко убывает?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики.- М.:Наука,1979.-Т.3
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики. - М.: Высшая школа, 1972.- Т.3.
3. Теплообмен излучением: Справочник/А.Г.Блох, Ю.А.Журавлев, Н.Л.Рыжков- М. :Энергоиздат, 1991.