

# ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ИНТЕГРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕЛА МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ.

## *Требуемое оборудование.*

Блок РТИ-1.

### *Краткое теоретическое введение*

#### *Измерение температуры источника излучения.*

Испускательная способность абсолютно черного тела может быть определена для различных длин волн и температур по формуле Планка

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

где  $c$  – скорость света в вакууме;

$h$  – постоянная Планка;

$\lambda$  – длина волны;

$k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – температура.

Следовательно, для узкого диапазона длин волн от  $\lambda$  до  $\lambda+d\lambda$ , в котором испускательную способность  $r^*(\lambda, T)$  можно считать постоянной, энергетическая светимость абсолютно черного тела равна

$$dR^* = r^*(\lambda, T)d\lambda,$$

Если тело не является абсолютно черным, то его испускательная способность выражается формулой  $r(\lambda, T) = A(\lambda, T) r^*(\lambda, T)$ , где  $A(\lambda, T) < 1$  – спектральный коэффициент излучения тела. Следовательно, энергетическую светимость тела для диапазона длин волн от  $\lambda$  до  $\lambda+d\lambda$  найдем по формуле  $dR = A(\lambda, T) r^*(\lambda, T)d\lambda$ .

Рассмотрим излучение тела с температурой  $T$  для двух различных длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  при различных значениях диапазонов  $d\lambda_1$  и  $d\lambda_2$  соответственно

$$dR_1 = A_1 r_1^* d\lambda_1,$$

$$dR_2 = A_2 r_2^* d\lambda_2,$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – спектральные коэффициенты излучения тела при длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  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:

$$J_1 = K_1 A_1 r_1^* d\lambda_1,$$

$$J_2 = K_2 A_2 r_2^* d\lambda_2,$$

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

$$\frac{J_1}{J_2} = Z \left( \frac{r_1^* d\lambda_1}{r_2^* d\lambda_2} \right),$$

где величину  $Z = K_1 A_1 / K_2 A_2$  можно считать постоянной при условии, что зависимость отношения спектральных коэффициентов излучения от температуры можно пренебречь для выбранных  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .

Величины  $r_1^*$  и  $r_2^*$  определяются с помощью формулы Планка (1). Следовательно,

$$\frac{J_1}{J_2} = Z \frac{C_1 \lambda_2^5}{C_1 \lambda_1^5} \left( \frac{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda_2 T}\right) - 1}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda_1 T}\right) - 1} \right) \frac{d\lambda_1}{d\lambda_2},$$

где

$$C_1 = 2\pi h c^2 = 3,742 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2, \\ C_2 = \frac{hc}{k} = 1,439 \cdot 10^{-2} \text{ К} \cdot \text{м}.$$

Оценим величину  $\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right)$  и сравним ее с единицей.

Пусть  $T = 3000 \text{ К}$ ,  $\lambda = 1 \text{ мкм}$ , тогда

$$\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) = \exp\left(\frac{1,439 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-6} \cdot 3000}\right) = 121,$$

причем понижение температуры и уменьшение длины волны изменит эту оценку в большую сторону. Это означает, что для используемых в опытах температур и длин волн единиц в скобках в формуле Планка можно пренебречь (выполняется приближенная формула Вина).

$$\frac{J_1}{J_2} = Z \frac{\lambda_2^5 d\lambda_1}{\lambda_1^5 d\lambda_2} \exp\left(\frac{C_2}{T} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)\right)$$

Прологарифмируем это выражение и найдем из полученной формулы температуру  $T$

$$T = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)}{\ln \frac{J_1}{J_2} - \ln Z - 5 \cdot \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} - \ln \frac{d\lambda_1}{d\lambda_2}}.$$

Учтем, что значения  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $d\lambda_1$ ,  $d\lambda_2$  не изменяются в ходе эксперимента, поэтому объединим члены, содержащие постоянные величины, в две новые константы  $L$  и  $Z_0$ :

$$L = C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right), \\ Z_0 = \ln Z + 5 \cdot \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} + \ln \frac{d\lambda_1}{d\lambda_2}.$$

Тогда формула для определения температуры примет вид:

$$T = \frac{L}{\ln \frac{J_1}{J_2} - Z_0} = \frac{C_2 \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \frac{J_1}{J_2} - Z_0} \quad (2)$$

Из формулы (2) видно что, зная из тарировочных опытов величину  $Z_0$  и рассчитав значения  $L$ , можно, измерив отношение  $J_1/J_2$ , определить соответствующую температуру излучающего тела. Важно отметить, что прибор, используемый в работе, измеряет не абсолютное значение потока, а его отношение к  $J_0$ , которая остается постоянным в процессе измерений.

### ***Измерение интегрального коэффициента излучения тела.***

Интегральный коэффициент излучения (коэффициент черноты) тела  $A_T$  определяется отношением:

$$A_T = \frac{R_T}{R_T^*},$$

где  $R_T$  – энергетическая светимость тела при температуре  $T$ ,  
 $R_T^*$  – энергетическая светимость абсолютно черного тела при этой же температуре.

В данной лабораторной работе в качестве источника излучения используется вольфрамовая нить накала электролампы. Интегральный коэффициент излучения при температуре  $T = 2000\text{K}$  для вольфрама  $A_{2000} = 0,249$ . 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  $A_{2000}$

$$A_T = \frac{R_T}{R_T^*},$$

$$A_{2000} = \frac{R_{2000}}{R_{2000}^*}.$$

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

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

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  $P_{\text{ист}}$ , которая рассеивается на нём

$$R_T = \frac{P_{\text{ист}}}{S},$$

где  $S$  – площадь излучающей поверхности.

Найдем отношение коэффициентов излучения

$$\frac{A_T}{A_{2000}} = \frac{R_T \cdot R_{2000}^*}{R_T^* \cdot R_{2000}} = \frac{P_{\text{ист}} \cdot \sigma \cdot 2000^4 \cdot S}{S \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot P_{\text{ист} 2000}} = \frac{2000^4}{P_{\text{ист} 2000}} \cdot \frac{P_{\text{ист}}}{T^4} = K \cdot \frac{P_{\text{ист}}}{T^4}$$

Величину  $K$  в последней формуле можно вычислить на основе опытов по определению температуры по формуле (2), если в процессе измерений записывать значения мощности, рассеиваемой источником. Затем необходимо построить график зависимости  $P_{\text{ист}}(T)$  и определить по нему  $P_{\text{ист } 2000}$  – величину мощности, соответствующей температуре 2000 К. Это несложно сделать, так как источник излучения нагревается электрическим током, мощность которого при высоких температурах равна

$$P_{\text{ист}} = UI, \quad (3)$$

где

$U$  – напряжение на вольфрамовой спирали источника теплового излучения,

$I$  – сила тока в спирали.

Следовательно, для интегрального коэффициента излучения получаем формулу

$$A_T = A_{2000} \cdot K \cdot \frac{P_{\text{ист}}}{T^4}, \quad (4)$$

где 
$$K = \frac{2000^4}{P_{\text{ист } 2000}}, \quad A_{2000} = 0,249$$

### **Рекомендуемое задание к работе:**

1. Заготовьте таблицу измерений следующих величин:

Силы тока  $I$ , протекающего через источник теплового излучения;

Соответствующего напряжения  $U$  на вольфрамовой спирали,

величины относительной интенсивности первого и второго фотоприемника  $\frac{J_1}{J_0}$ ,

и  $\frac{J_2}{J_0}$ , которые будут сниматься с регистрирующего прибора.

Кроме того, в таблице нужно заготовить столбцы для вычисленных значений мощности, выделяемой источником  $P_{\text{ист}}$

Отношения сигналов с фотоприемников  $\frac{J_1}{J_2}$ .

температуры нагретого тела  $T$

Интегрального коэффициента излучения  $A_T$

Измеряемые величины				Вычисляемые величины		
$I, \text{ mA}$	$U, \text{ B}$	$\frac{J_1}{J_0}$	$\frac{J_2}{J_0}$	$T, \text{ K}$	$P, \text{ Вт}$	$A_T$

2. Установите регулятор  $J_0$  прибора в определенное положение и не вращайте его в процессе дальнейших измерений. Можно выбрать любое значение от 6 делений.

Установите малое значение напряжения накала (около 5 В, меньше не нужно, необходимо, чтобы значение  $\frac{J_1}{J_0}$  имело 2 значащие цифры). Снимите показания

$\frac{J_1}{J_0}$  и  $\frac{J_2}{J_0}$  с цифрового индикатора измерителя относительной интенсивности

теплового излучения. Снимите показания амперметра и вольтметра. Внесите показания в таблицу измерений.

3. Постепенно увеличивая напряжение генератора (примерно через 0.4- 0,5 В), снимите такие же показания (п. 2) ещё 15-20 раз. Заполните таблицу измерений.

4. Пользуясь рабочей формулой (2), вычислите температуры источника излучения при различных значениях мощности, выделяемой на источнике.

Полученная при тарировочных опытах величина  $Z_0 = 1,784$  ;  $C_2 = \frac{hc}{k} = 1,439 \cdot 10^{-2} \text{ К} \cdot \text{м}$ .

5. Вычислите по формуле (3) мощность, выделяющуюся на спирали источника излучения для каждого значения температуры. Постройте график зависимости  $P_{\text{ист}}(T)$  и определите по нему  $P_{\text{ист } 2000}$  – величину мощности, соответствующей температуре 2000 К.

6. Пользуясь рабочей формулой (4), вычислите значения интегрального коэффициента излучения  $A_T$  источника в исследованном диапазоне температур и постройте график  $A_T = F(T)$ .