

Санкт-Петербургский национальный исследовательский институт

информационных технологий, механики и оптики

Факультет фотоники и оптоинформатики

ИТМО

ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №5.01

“Измерение температуры и интегрального коэффициента излучения тела методом спектральных отношений”

Группа: V3203

Студент: Срывкин Н.А.

Преподаватель: Тимофеева Э.О.

К работе допущен: _____

Работа выполнена: _____

К защите отчёта допущен: _____

1. Цель работы

- Определить значения интегрального коэффициента излучения A_T источника, исследовать зависимость A_T от температуры.

2. Задачи

- Провести измерения силы тока I и напряжения U на вольфрамовой спирали.
- Измерить относительную интенсивность $\frac{J_1}{J_0}$ и $\frac{J_2}{J_0}$ с двух фотоприёмников.
- Рассчитать мощность источника $P_{\text{ист}}$, отношение сигналов $\frac{J_1}{J_2}$ и температуру тела T по методу спектральных отношений.
- Построить график зависимости мощности от температуры $P_{\text{ист}}(T)$ и определить мощность $P_{\text{ист}2000}$ при 2000 К.
- Рассчитать интегральный коэффициент излучения A_T и построить график его зависимости от температуры.

3. Объект исследования

- Вольфрамовая нить накала электролампы (как источник теплового излучения).

4. Метод исследования

- Метод спектральных отношений для измерения температуры. Для определения коэффициента излучения используется относительный метод, основанный на сравнении с известным коэффициентом излучения вольфрама при 2000 К.

5. Рабочие формулы и исходные данные

- $\lambda_1 = 0.66$ мкм – длина волны первого фотоприёмника.
- $\lambda_2 = 0.94$ мкм – длина волны второго фотоприёмника.
- $C_2 = 1.439 \cdot 10^{-2}$ м · К – вторая постоянная излучения, равная $\frac{hc}{k}$.
- $A_{2000} = 0.249$ – коэффициент излучения вольфрама при 2000 К.

- $Z_0 = 1.784$ – калибровочная константа установки.
- Формула для поиска L :

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

- Формула расчёта температуры T :

$$T = \frac{L}{\ln \frac{J_1}{J_2} - Z_0}. \quad (2)$$

- Формула расчёта мощности $P_{\text{ист}}$:

$$P_{\text{ист}} = IU. \quad (3)$$

- Формула расчёта интегрального коэффициента излучения A_T :

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

где $K = \frac{2000^4}{P_{\text{ист}2000}}$

6. Измерительные приборы

- Блок РТИ-1
- Амперметр, Вольтметр, фотоприёмники (фотодиод или фотосопротивление) – входят в состав установки.

7. Результаты измерений и их обработки (таблицы, примеры расчётов):

I, мА	U, В	$\frac{J_1}{J_0}$	$\frac{J_2}{J_0}$	$\frac{J_1}{J_2}$	T, К	$P_{\text{ист}}$	A_T
194	5.04	0.008	0.114	0.070	1462.480	977.76	0.345
201	5.42	0.013	0.157	0.083	1519.081	1089.42	0.331
209	5.98	0.024	0.233	0.103	1600.824	1249.82	0.308
216	6.47	0.037	0.313	0.118	1657.067	1397.52	0.299
223	6.98	0.057	0.417	0.137	1720.842	1556.54	0.287
230	7.46	0.081	0.528	0.153	1775.115	1715.80	0.279
237	7.96	0.113	0.659	0.171	1830.816	1886.52	0.271
244	8.45	0.153	0.807	0.190	1884.170	2061.80	0.264
250	8.93	0.201	0.967	0.208	1935.835	2232.50	0.257
257	9.46	0.264	1.159	0.228	1990.130	2431.22	0.250
261	9.82	0.314	1.297	0.242	2028.006	2563.02	0.245
267	10.34	0.397	1.518	0.262	2078.105	2760.78	0.239
272	10.68	0.459	1.667	0.275	2112.911	2904.96	0.236

- Рассчитаем значения констант:

$$L = C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) = 1.439 \cdot 10^{-2} \left(\frac{1}{0.94 \cdot 10^{-6}} - \frac{1}{0.66 \cdot 10^{-6}} \right) = -6494.52 \text{ К} \quad (5)$$

$$K = \frac{2000^4}{2465.63} = 6.49 \cdot 10^9 \frac{1}{\text{Вт}} \quad (6)$$

- Ниже будет приведён пример расчётов для $I = 194 \text{ мА}$:

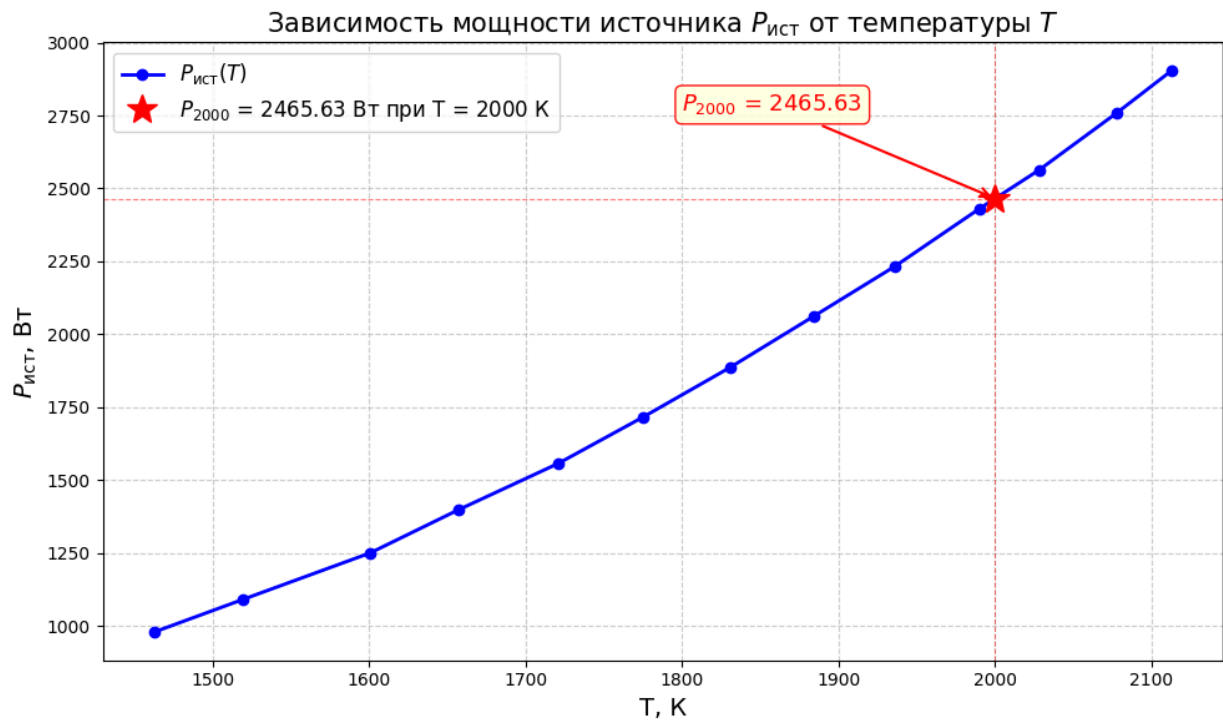
$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{J_1}{J_0} \cdot \frac{J_0}{J_2} = 0.008 \cdot 0.114 = 0.070 \quad (7)$$

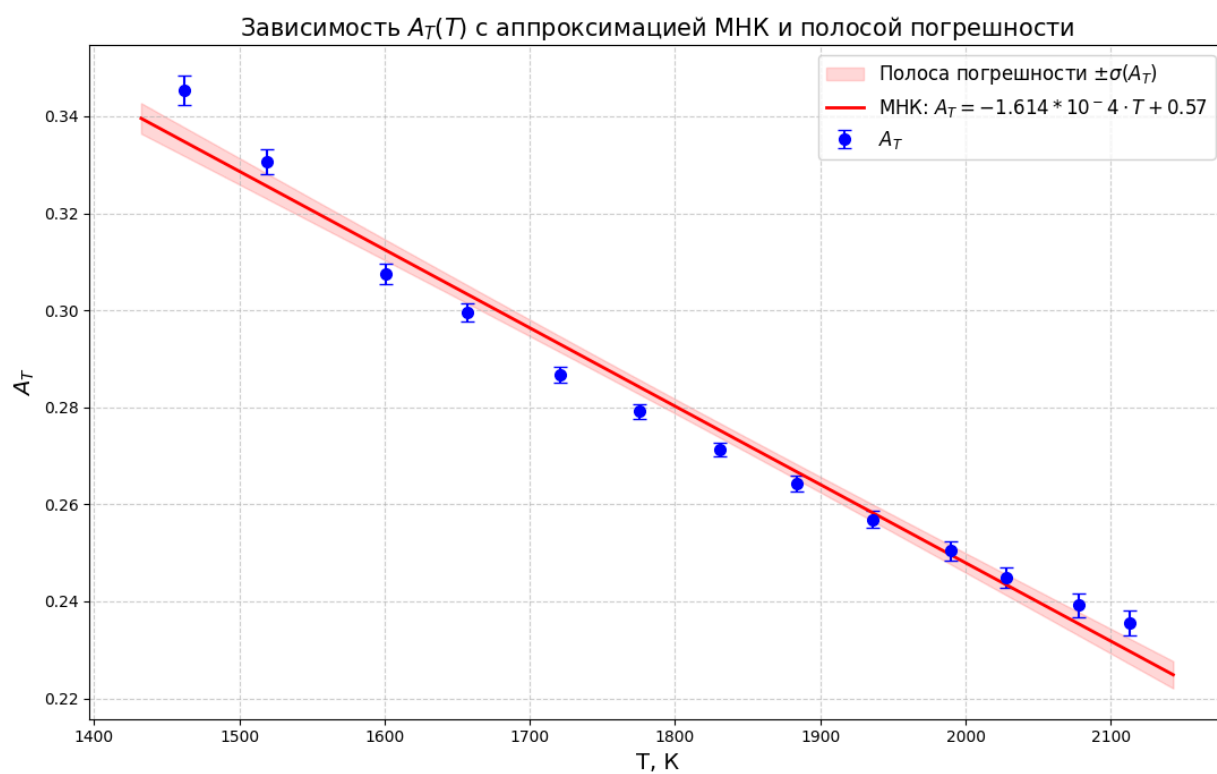
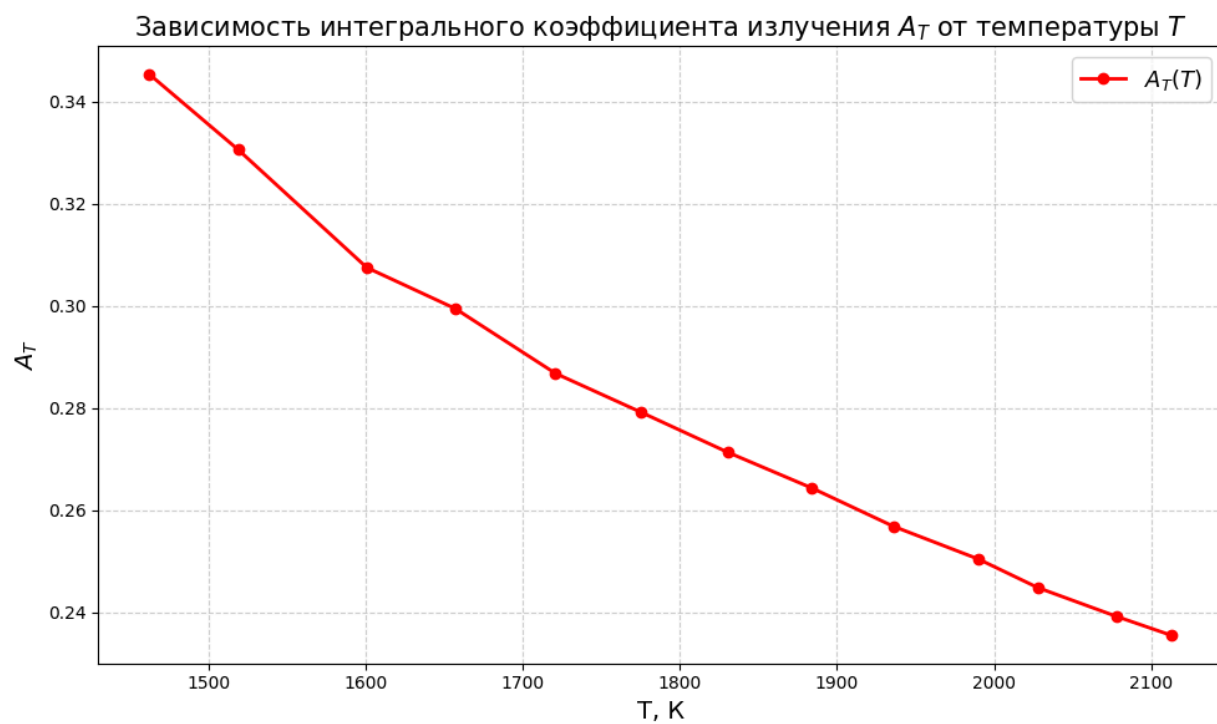
$$T = \frac{L}{\ln \frac{J_1}{J_2} - Z_0} = -\frac{6494.52}{\ln 0.070 - 1.784} = 1462.48 \text{ К} \quad (8)$$

$$P_{\text{ист}} = IU = 194 \cdot 5.04 = 977.76 \text{ Вт} \quad (9)$$

$$A_T = A_{2000} K \frac{P_{\text{ист}}}{T^4} = 0.249 \cdot 6.49 \cdot 10^9 \cdot \frac{977.76}{1462.48^4} = 0.345 \quad (10)$$

8. Графики





9. Расчёт погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений)

- Аппроксимируем зависимость линейной функцией:

$$A_T = a \cdot T + b \quad (11)$$

- По методу наименьших квадратов коэффициенты находятся из системы нормальных уравнений:

$$a = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n T_i A_{T_i} - \sum_{i=1}^n T_i \cdot \sum_{i=1}^n A_{T_i}}{n \cdot \sum_{i=1}^n T_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n T_i \right)^2} = -1.614 \cdot 10^{-4} \quad (12)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n A_{T_i} - a \cdot \sum_{i=1}^n T_i}{n} = 0.57 \quad (13)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_{T_i} - A_{T_i}^{\text{fit}})^2}{n - 2}} = 5.3 \cdot 10^{-3} \quad (14)$$

где $A_{T_i}^{\text{fit}} = a \cdot T_i + b$ – значение по регрессии, а $(n - 2)$ – число степеней свободы (два параметра: a и b).

- Погрешность наклона a :

$$\sigma_a = \frac{S}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}} = 7.23 \cdot 10^{-6} \quad (15)$$

- Погрешность свободного члена b :

$$\sigma_b = S \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n T_i^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}} = 0.013 \quad (16)$$

где $\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$ – среднее значение температуры.

$$\sigma(\bar{A}_T) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma(A_{T_i}) |_{T_i} = 2.045 \cdot 10^{-3} \quad (17)$$

- Относительная погрешность:

$$\delta(A_T) = \frac{\sigma(\bar{A}_T)}{\bar{A}_T} \cdot 100\% = 0.74\% \quad (18)$$

где $\bar{A}_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{T_i}$ – среднее экспериментальное значение коэффициента излучения

10. Окончательные результаты

- Таким образом в ходе работы был рассчитан интегральный коэффициент $A_T = (34.50 \pm 0.25) \cdot 10^{-2}$ при $I = 194$ мА, $\delta(A_T) = 0.74\%$

11. Выводы и анализ результатов работы

- В ходе выполнения лабораторной работы был изучен метод спектральных отношений для бесконтактного измерения температуры тела и определения его интегрального коэффициента излучения. Объектом исследования выступала вольфрамовая нить лампы накаливания.
- Построена экспериментальная зависимость мощности на источнике от температуры $P_{\text{ист}}(T)$. График носит монотонно возрастающий характер. С помощью этого графика было определено значение мощности при эталонной температуре: $P_{2000} \approx 2465.63$ Вт при $T = 2000$ К. Рассчитаны значения интегрального коэффициента излучения вольфрама в диапазоне температур от ≈ 1460 К до ≈ 2110 К. Показано, что с ростом температуры интегральный коэффициент излучения вольфрама в этом диапазоне убывает практически линейно. Также, эталонный коэффициент излучения вольфрама $A_{2000} = 0.249$. экспериментальные данные показали высокую сходимость с теорией: при температуре $T = 1990$ К полученное значение A_T составило 0.250, что практически совпадает с теоретическим значением 0.249.
- При $I = 194$ мА получен результат $A_T = (34.50 \pm 0.25) \cdot 10^{-2}$. Относительная погрешность измерения составила $\delta(A_T) = 0.74\%$.