

Группа M3306

К работе допущен 20.10.2025

Студент _____
_____ Тимофеев В.

Работа выполнена 20.10.2025

Преподаватель Кокурина _____

Отчет принят 27.10.2025

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №5.01

Измерение температуры и интегрального коэффициента излучения тела методом спектральных отношений

1. Цели работы:

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

2. Задачи, решаемые при выполнении работы:

Вычислить температуры источника излучения при различных значениях мощности, выделяемой на источнике;

Найти мощность, выделяющуюся на спирали источника излучения для каждого значения температуры;

Вывести значения интегрального коэффициента излучения A_T источника в диапазоне температур;

3. Объект исследования:

Объект исследования: зависимость A_T от температуры;

4. Метод экспериментального исследования:

Снятие показаний блока РТИ-1 с цифрового индикатора измерителя относительной интенсивности теплового излучения, амперметра и вольтметра; при установленном в одно положение регулятора J_0 (от 6 делений). Постепенно увеличиваем напряжение генератора

5. Рабочие формулы и исходные данные:

$$\text{Формула для определения температуры: } T = \frac{L}{\ln \frac{I_1}{I_2} - Z_0};$$

$$\text{Мощность источника: } P_{\text{ист}} = IU;$$

$$\text{Интегральный коэффициент излучения: } A_T = A_{2000} * K * \frac{P_{\text{ист}}}{T^4};$$

$$\text{Формула Планка: } r_{T,\lambda}^* = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} * \frac{1}{\exp(\frac{hc}{\lambda kT}) - 1};$$

$$\text{Спектральная чувствительность измерительной установки: } L = C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)$$

$$Z_0 = 1,784;$$

$$C_2 = 1,439 \times 10^{-2};$$

$$\text{Интегральный коэффициент излучения для вольфрама: } A_{2000} = 0,249;$$

$$\text{Длины волн: } \lambda_1 = 0,66 \text{ мкм; } \lambda_2 = 0,94 \text{ мкм}$$

Коэффициент, который показывает, сколько итераций приходится на единицу «производительности»

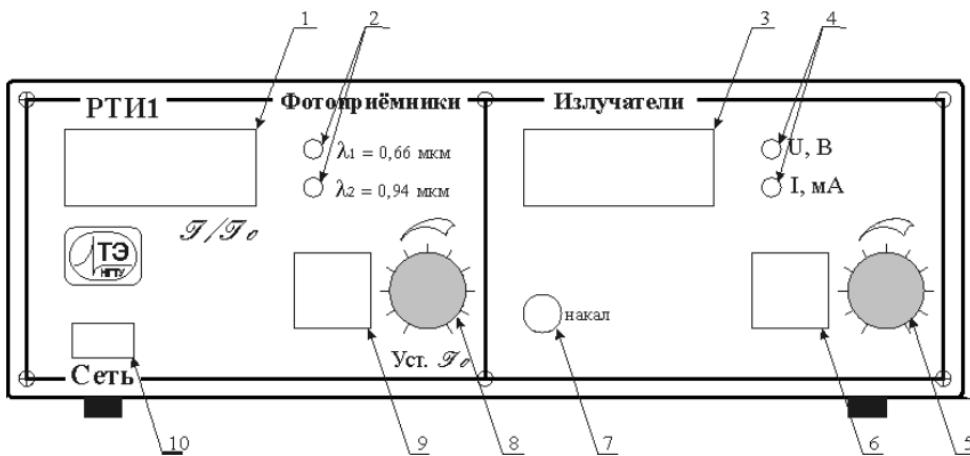
$$P_{\text{ист}}(2000): K = \frac{2000^4}{P_{\text{ист}}(2000)}$$

6. Измерительные приборы:

Блок РТИ-1

7. Схема установки:

Внешний вид блока РТИ-1:



На передней панели генератора расположены:

1. Индикатор относительной интенсивности;
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/напряжения накала;
7. Накал (вид на лампу накаливания);
8. Регулятор J_{max} :
9. Кнопка переключения фотоприемников;
10. Выключателя "Сеть"

8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

	Измеряемые величины				Вычисляемые величины			
	I, мА	U, В	J1/J0	J2/J0	J1/J2	T, К	P, мВт	A_T
1	194	5,05	0,01	0,119	0,084033613	1524,342479	979,7	0,336509561
2	202	5,55	0,019	0,178	0,106741573	1615,011982	1121,1	0,305615845
3	209	6,04	0,031	0,25		0,124	1677,531644	1262,36
4	217	6,52	0,047	0,329	0,142857143	1741,20003	1414,84	0,285461258
5	223	6,97	0,069	0,427	0,161592506	1800,6932	1554,31	0,274165783
6	232	7,59	0,106	0,567	0,186948854	1876,529729	1760,88	0,263355549
7	239	8,01	0,146	0,707	0,206506365	1932,073901	1914,39	0,254782732
8	245	8,54	0,19	0,842	0,225653207	1984,419181	2092,3	0,250221602
9	252	9,1	0,254	1,029	0,246841594	2040,371469	2293,2	0,245380176
10	260	9,69	0,339	1,254	0,270334928	2100,363209	2519,4	0,240078918
11	264	10,05	0,398	1,4	0,284285714	2135,108144	2653,2	0,236769082
12	270	10,53	0,488	1,605	0,304049844	2183,352072	2843,1	0,232023276
13	275	10,93	0,57	1,779	0,320404722	2222,49867	3005,75	0,228465867
14	280	11,26	0,612	1,905	0,321315331	2224,659271	3153,8	0,238790146
15	287	11,83	0,653	2,008	0,32557955	2234,751516	3396,53	0,252553616
16	291	12,28	0,69	2,162	0,32340698	2229,614846	3575,49	0,268318889

9. Расчёт результатов косвенных измерений

Вычисление $P_{ист}$ (2000)

1) Возьмем 2 ближайшие точки к температуре 2000 К:

- $T_1 = 1984,42$ К; $P_1 = 2092,3$ Вт
- $T_2 = 2040,37$ К; $P_2 = 2293,2$ Вт

2) Рассчитаем коэффициент интерполяции:

- Разность температур:

$$\Delta T = 2040.37 - 1984.42 = 55.95 \text{ К}$$

$$- \text{Относительное положение}(2000 \text{ К}) = \frac{2000-T_1}{\Delta T} = \frac{2000-1984.42}{55.95} = \frac{15.58}{55.95} \approx 0.2785$$

3) По методу линейной интерполяции:

$$P(2000) = P_1 + k \times (P_2 - P_1)$$
$$P(2000) = 2092.3 + 0.2785 \times (2293.2 - 2092.3)$$
$$P(2000) = 2148.25 \text{ Вт}$$

Вычисление L

$$L = C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) = 0.01439 \times \left(\frac{1}{0.00000094} - \frac{1}{0.00000066} \right) \approx -6494.5$$

Вычисление K

$$K = \frac{2000^4}{P_{\text{ист}}(2000)} = \frac{2000^4}{2148.25} = 7447922728$$

Вычисление экспериментальной погрешности A Т

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_{T_i} - A_{\text{табл}}}{A_{\text{табл}}} \right| \times 100\% \approx 9,26\%$$

10. Графики





11. Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы была проведена серия экспериментов по определению теплового состояния и излучательных характеристик вольфрамового источника.

В результате обработки экспериментальных данных были получены следующие результаты:

1. Для каждого установленного значения электрической мощности, рассеиваемой на спирали, была рассчитана соответствующая равновесная температура источника;
2. На основе полученных температурных значений и известной подводимой мощности были определены экспериментальные значения интегрального коэффициента излучения A_T для всего исследованного температурного диапазона;
3. Для анализа поведения излучательной способности был построен график зависимости A_T от температуры. Сравнение экспериментальных данных с табличным значением для вольфрама показало их хорошее согласие, что подтверждается величиной относительной погрешности, не превышающей 10%.

12. Теория

1. Ультрафиолетовая катастрофа

Что это:

Учёные пытались по формулам предсказать, как излучает нагретое тело (например, лампочка). Старая теория (Рэлея–Джинса) показывала, что при коротких волнах (в ультрафиолете) энергия растёт бесконечно — то есть тело должно светиться бесконечно сильно. Это невозможно — и это назвали «ультрафиолетовой катастрофой».

Почему так случилось:

Классическая физика думала, что энергия может изменяться плавно, без “порций”. На деле оказалось, что энергия испускается квантами — маленькими порциями.

Формулы:

Рэлея–Джинса:

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT$$

Планка (правильная):

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

Главное:

Планк предложил, что энергия излучается кусочками по $E = h\nu$

Это исправило ошибку и объяснило, почему излучение не уходит в бесконечность.

2. Распределение Бозе–Эйнштейна

Что это:

Это формула, которая показывает, как распределяются частицы-бозоны по энергиям при разной температуре.

Бозоны — это частицы, которые могут находиться вместе в одном состоянии (в отличие от фермионов, которые не могут).

Формула:

$$\bar{n}(\varepsilon) = \frac{1}{e^{\frac{\varepsilon-\mu}{kT}} - 1}$$

Для фотонов химический потенциал $\mu = 0$

3. Фотоны и бозоны

Фотон — это частица света (квант света).

Бозоны — это частицы с целым спином (0, 1, 2...), например фотоны, гелий-4, глюоны.

Свойства фотона:

- не имеет массы покоя,
- энергия $E = h\nu$
- импульс $p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$
- движется со скоростью света,
- может существовать в одном состоянии с другими фотонами.

4. Из чего состоят формулы Рэлея–Джинса и Планка

В обеих формулах есть два основных кусочка:

1. $\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$ — показывает, сколько разных колебаний (частот) существует при данной ν .

Это плотность состояний.

2. В Рэле–Джинсе умножают на kT — средняя энергия по классике.

В Планке вместо этого — $\frac{h\nu}{\frac{h\nu}{e^{kT}} - 1}$, потому что энергия испускается квантами.

Поэтому у Планка при больших ν энергия не растёт бесконечно.

5. Корпускулярная (частичная) теория света

Что говорит:

Свет состоит из частиц — фотонов, каждая несёт энергию и импульс.

Подтверждения:

- Фотоэффект (свет выбивает электроны с металла);
- Комптоновский эффект (фотон сталкивается с электроном);
- Давление света на поверхности.

Современный вывод:

Свет ведёт себя и как волна, и как частица — это называется *волной–корпускулярный дуализм*.