

*Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования*

**«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

Лабораторная работа №8.1.

по курсу общей физики
на тему:

***«Определение постоянных Стефана-Больцмана
и Планка из анализа теплового
излучения накаливаемого тела»***

*Работу выполнил:
Баринев Леонид
(группа Б02-827)*

Долгопрудный
2020

1. Цель работы

Исследовать излучение накаливаемых тел с различной испускательной способностью, определить постоянные Планка и Стефана-Больцмана.

2. Суть исследуемого явления

Закон Стефана-Больцмана:

$$W = \varepsilon_T S \sigma T^4 \quad (1)$$

W — потребляемая нитью электрическая мощность. S — площадь излучающей поверхности нити, T — температура нити, ε_T — коэффициент серости, σ — постоянная Стефана-Больцмана.

3. Теория явления

Абсолютное черное тело (АЧТ) — тело, поглощающее все падающее на него излучение. Энергия, излучаемая любым другим телом, может быть найдена путем умножения энергии, излучаемой абсолютно черным телом, на коэффициент поглощения рассматриваемого тела.

Закон Стефана-Больцмана (1) был получен экспериментально. Теоретически его можно получить, проинтегрировав по всем частотам формулу Планка для объемной спектральной плотности излучения.

$$u_\omega = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \frac{\hbar \omega}{\exp(\hbar \omega / kT) - 1} \quad (2)$$

При этом может быть получена связь между постоянной Стефана-Больцмана и другими константами:

$$\sigma = \frac{\pi^2 k^4}{60 c^2 \hbar^3} \quad (3)$$

k — постоянная Больцмана, \hbar — постоянная Планка.

4. Эксперимент

В работе будет измеряться яркостная температура — температура абсолютно черного тела, при которой его спектральная испускательная способность равна спектральной испускательной способности исследуемого тела при той же длине волны.

Измерения температуры раскаленного тела производится при помощи оптического пирометра с исчезающей нитью, основанного на визуальном сравнении яркости раскаленной нити с яркостью изображения исследуемого тела. Равенство видимых яркостей, наблюдаемых через монохроматический светофильтр ($\lambda = 6500\text{Å}$), фиксируется по исчезновению изображения нити на фоне раскаленного тела. Яркостный метод измерения температуры основан, в соответствии

с формулой Планка, на зависимости испускательной способности абсолютно черного тела от температуры и длины волны.

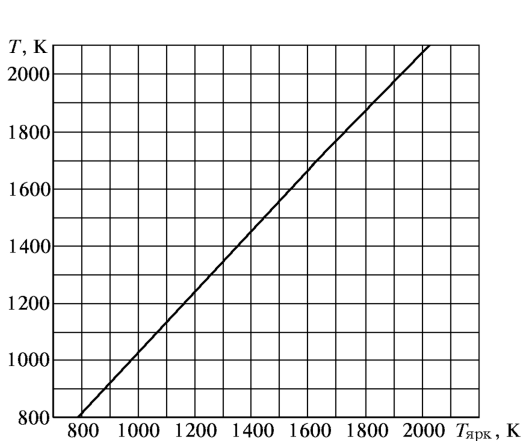


Рис. 1. График зависимости термодинамической температуры T от яркостной температуры $T_{\text{ярк}}$ для вольфрама

T, K	$\varepsilon_{\lambda, T} (\lambda = 6500 \text{ \AA})$	ε_T
800	0,460	0,067
900	0,458	0,081
1000	0,456	0,105
1100	0,454	0,119
1200	0,452	0,133
1300	0,450	0,144
1400	0,448	0,164
1500	0,446	0,179
1600	0,443	0,195
1700	0,441	0,209
1800	0,439	0,223
1900	0,437	0,236
2000	0,435	0,249

Рис. 2. Поправочные коэффициенты излучения для вольфрама

4.1. Экспериментальная установка

Экспериментальная установка (рис. 3) состоит из оптического пирометра 9, модели АЧТ, трех исследуемых образцов (18, 19, 20), блока питания и цифровых вольтметров В7-22А и В7-38.

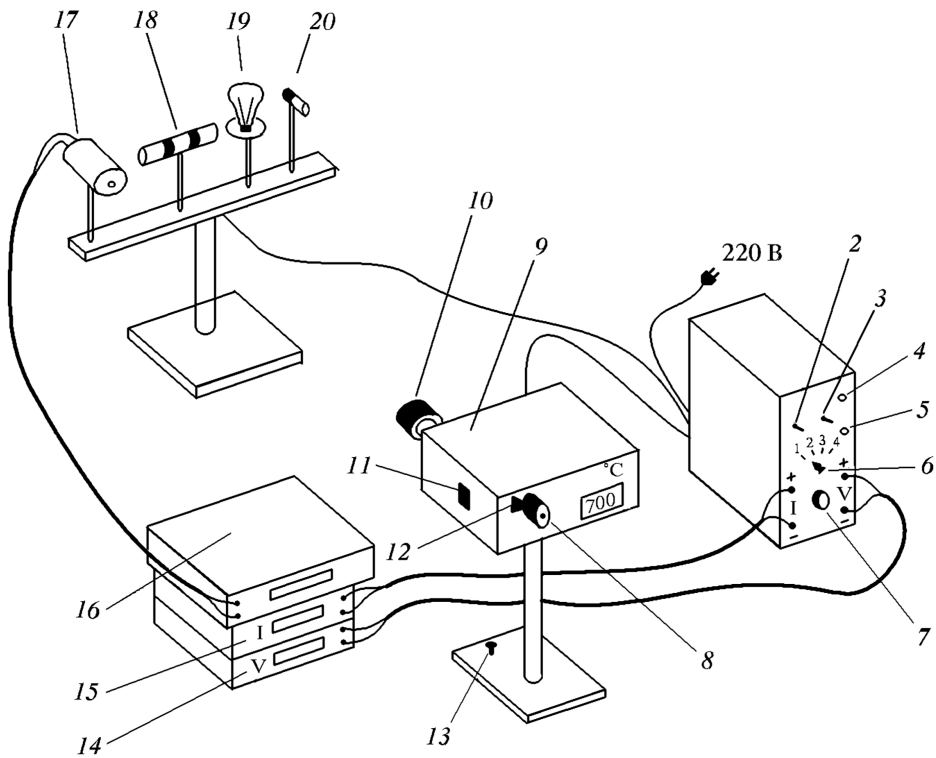


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

1 – блок питания; 2 – тумблер включения питания пирометра и образцов; 3 – тумблер нагрева нити пирометра; 4 – кнопка «Нагрев нити»; 6 – тумблер переключения образцов; 7 – регулятор мощности нагрева образцов; 8 – окуляр пирометра; 9 – корпус пирометра; 10 – объектив пирометра; 11 – переключение диапазонов; 12 – ручка перемещения красного светофильтра; 13 – регулировочный винт; 14 – вольтметр; 15 – амперметр; 16 – вольтметр в цепи термопары; 17 – модель АЧТ; 18 – трубка с кольцами из материалов с разной излучательной способностью; 19 – лампа накаливания; 20 – неоновая лампочка.

В работе исследуются три образца. Один образец выполнен в виде керамической трубки с набором колец из различных материалов, нагреваемой изнутри нихромовой спиралью. Материалы колец имеют различную испускательную способность. Спираль подключается к источнику питания 1 с помощью переключателя 6 и может нагревать трубку до температуры около 1100°C . Термодинамическая температура колец практически одинакова и равна температуре трубки.

Другой исследуемый образец — вольфрамовая нить электрической лампочки. Она питается от источника 1, когда переключатель 6 находится в положении 3. Сила тока через вольфрамовую нить измерится с помощью прибора В7-22А. Падение напряжения на самой нити измеряется непосредственно вольтметром В7-22А. Таким образом, зная показания обоих приборов, можно определить мощность, потребляемую нитью лампочки.

Третий образец — неоновая лампочка.

5. Результаты эксперимента

Измерим температуру модели АЧТ с помощью пирометра:

$$T_{\Pi} = (892 \pm 3)^{\circ}\text{C}$$

С помощью термопарного термометра:

$$T_{\text{Т}} = (956,8 \pm 0,2)^{\circ}\text{C}$$

При направлении пирометра на поверхность керамической трубки с кольцами из различных материалов можно наблюдать различие между яркостной и термодинамической температурой. При термодинамической температуре $\simeq 900^{\circ}\text{C}$ одно кольцо становить бордовым, второе практически не меняет цвет.

Снимем зависимость яркостной температуры $T_{\text{ярк}}$ от мощности W , потребляемой нитью лампы. Перейдем к термодинамической температуре T при помощи графика на *рис. 1*.

Построим график зависимости логарифма мощности, потребляемой нитью лампы, $\ln W$ от логарифма абсолютной температуры $\ln T$. (*рис. 4*)

$T_{\text{ярк}}, ^\circ\text{C}$	T, K	$W, \text{Вт}$	$\ln T$	$\ln W$
991	1288,63	0,938	6,923	-0,064
1092	1393,83	1,337	7,022	0,291
1196	1502,17	1,777	7,114	0,575
1282	1591,75	2,140	7,184	0,761
1337	1649,04	2,752	7,227	1,012
1488	1806,33	3,546	7,335	1,266
1609	1932,38	4,745	7,414	1,557
1703	2030,29	5,822	7,472	1,762
1802	2133,42	7,488	7,529	2,013
1900	2235,50	8,789	7,582	2,173
1948	2285,50	9,592	7,607	2,261

Таблица 1. Зависимость мощности, потребляемой нитью лампы, W от абсолютной температуры T

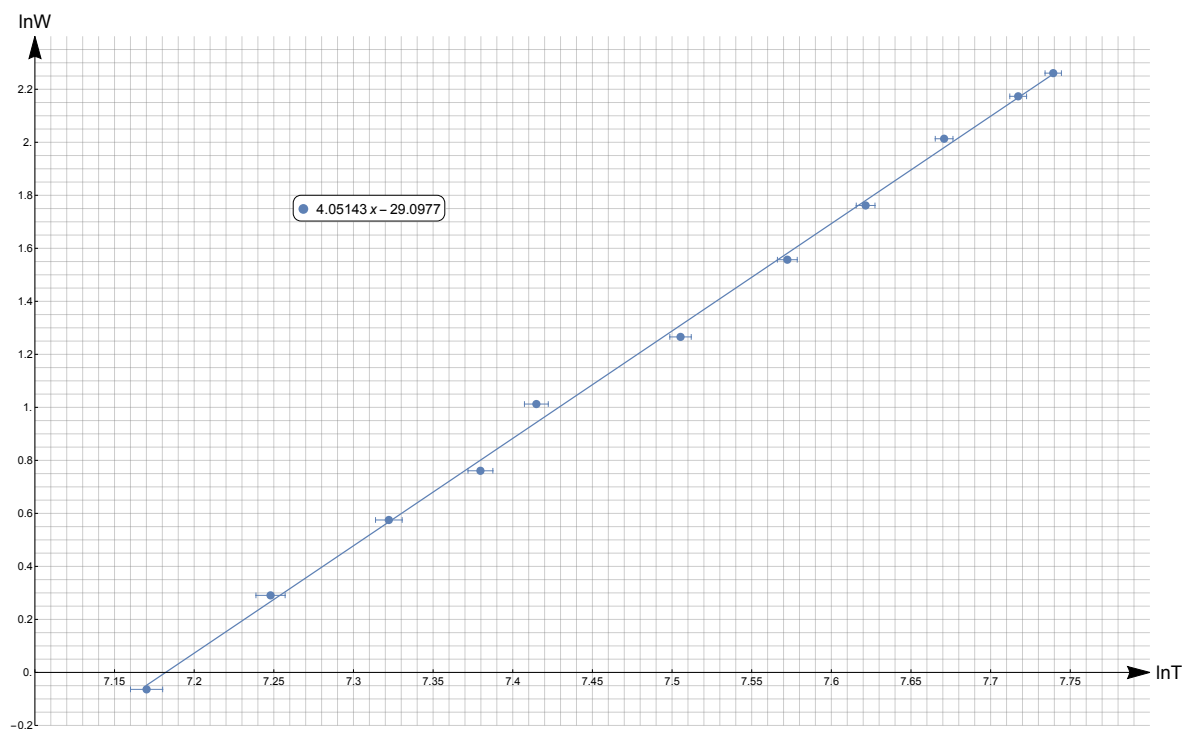


Рис. 4. Зависимость мощности, потребляемой нитью лампы, W от абсолютной температуры T

Измерим яркостную температуру неоновой лампочки:

$$T_{\text{Ne}} \approx 1593 \text{ K}$$

6. Анализ результатов

Прологарифмируем закон Стефана-Больцмана (1), где четвертую степень заменим на n :

$$\ln W = \ln(\varepsilon_T \sigma S) + n \ln T$$

По графику на *рис. 4* получим n :

$$n = 4,05 \pm 0,06$$

Найдем величину постоянной Стефана-Больцмана по формуле:

$$\sigma = \frac{W}{\varepsilon_T S T^4}$$

для каждого $T > 1700$ K

$T, \text{ K}$	$\sigma \cdot 10^{-8}$ $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$
1817,71	5,4688
1943,75	5,1994
2041,67	4,9673
2144,79	4,9726
2246,88	4,6075
2296,88	4,4966

Таблица 2. Постоянная Стефана-Больцмана σ при температуре T

Усредняя получим:

$$\sigma = (4,95 \pm 0,13) \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$$

Посчитаем постоянную Планка h по формуле:

$$h = 2\pi \sqrt[3]{\frac{\pi^2 k^4}{60c^2 \sigma}}$$

Получим:

$$h = (6,93 \pm 0,06) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

7. Выводы

В работе была проведена проверка закона Стефана-Больцмана (1). По графику зависимости мощности, потребляемой нитью лампы, W от термодинамической температуры T (*рис. 4*) экспериментально была определена степень, в которую возводится T в законе Стефана-Больцмана:

$$n = 4,05 \pm 0,06$$

Значение в пределах погрешности совпадает с 4, что подтверждает возможность использования модели АЧТ и коэффициента серости.

Вычислено значение постоянной Стефана-Больцмана и постоянной Планка по результатам эксперимента:

$$\sigma = (4,95 \pm 0,13) \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$$

$$h = (6,93 \pm 0,06) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Значения несколько отличаются от табличных:

$$\sigma_{\text{т}} = 5,6696 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$$

$$h_{\text{т}} = 6,6254 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Это связано с селективностью излучения вольфрама (особенно при ярком накали) и с вычислениями по формулам, которую учитывают какую-то заданную окружающую температуру (*рис. 2*), а не фактическую комнатную при проведении эксперимента.

Были проведены наблюдения, доказывающую разницу между яркостной температурой и абсолютной термодинамической температурой. Кольца из разного материала при одинаковой температуре изменяли свой цвет по разному, также неоновая лампочка выдавала яркостную температуру сильно больше ее фактической термодинамической температуры. Это связано с тем, что яркостная температура по сути характеризует интенсивность излучения при этом никак не учитывает процессов из-за которых тело начинает излучать.