

Отчёт по лабораторной работе № 5.8.1.  
Определение постоянных Стефана-Больцмана и  
Планка из анализа теплового излучения накаливаемого  
тела.

Плюскова Н.А. Б04-004

27 января 2023 г.

# 1. Аннотация

В данной работе был проверен закон Стефана-Больцмана, вычислены постоянная планка и константа Стефана-Больцмана.

## 2. Теоретические сведения

Для измерения температуры разогретых тел, удалённых от наблюдателя, применяют методы оптической пирометрии, основанные на использовании зависимости испускательной способности исследуемого тела от температуры. Различают три температуры, функционально связанные с истинной термодинамической температурой и излучательной способностью тела: радиационную  $T_{rad}$ , цветовую  $T_{col}$  и яркостную  $T_{br}$ .

В работе измеряется яркостная температура. **Яркостная температура** - это температура абсолютно чёрного тела, при которой его спектральная испускательная способность равна спектральной испускательной способности исследуемого тела при той же длине волны. Измерение яркостной температуры раскалённого тела производится при помощи оптического пирометра с исчезающей нитью, основанного на визуальном сравнении яркости раскалённой нити с яркостью изображения исследуемого тела.

Яркостная температура тела всегда ниже его термодинамической температуры. Это связано с тем, что любое нечёрное тело излучает меньше, чем АЧТ при той же температуре. Зависимость между яркостной и термодинамическими температурами вольфрама приведена на рис. 1

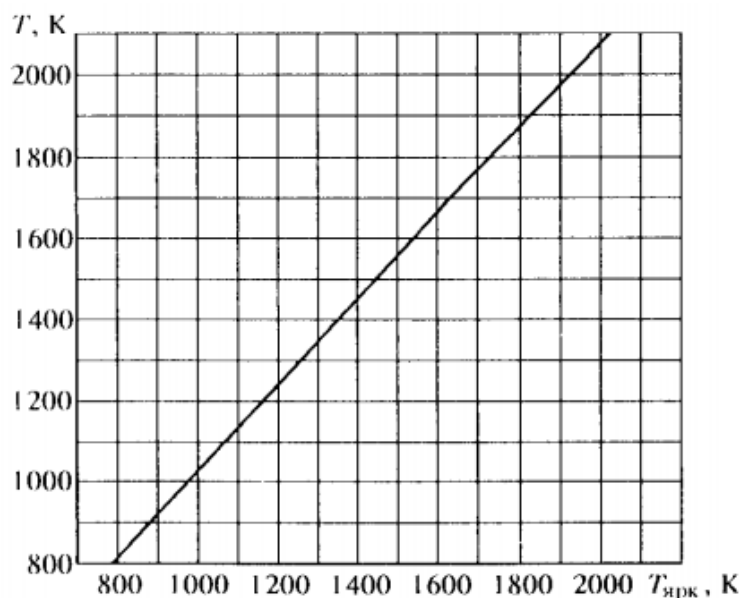


Рис. 1: График зависимости  $T = f(T_{br})$  для вольфрама

По результатам измерений мощности излучения вольфрамовой нити можно судить о справедливости закона Стефана-Больцмана. Если бы нить излучала как АЧТ, то баланс потребляемой и излучаемой энергии определялся бы соотношением

$$W = \sigma S(T^4 - T_0^4), \quad (1)$$

где  $W$  - потребляемая нитью электрическая мощность,  $S$  - площадь излучающей поверхности нити,  $T$  - температура нити,  $T_0$  - температура окружающей среды. Однако вольфрамовая нить излучает как серое тело, и излучение её ослаблено по сравнению с АЧТ в

$\varepsilon_T$  раз для любой волны при данной температуре тела  $T$ . Тогда предположив, что нить излучает как серое тело и с учётом того, что  $T_0 \ll T$ , выражение (1) можно переписать в виде

$$W = \varepsilon_T S \sigma T^4 \quad (2)$$

В справедливости закона Стефана-Больцмана можно убедиться, построив график зависимости  $W(T)$  в логарифмическом масштабе и по углу наклона определить показатель степени  $n$  исследуемой температурной зависимости. В пределах погрешности показатель степени должен быть близок к четырём.

Также из формулы (2) можно определить постоянную Стефана-Больцмана.

### 3. Экспериментальная установка

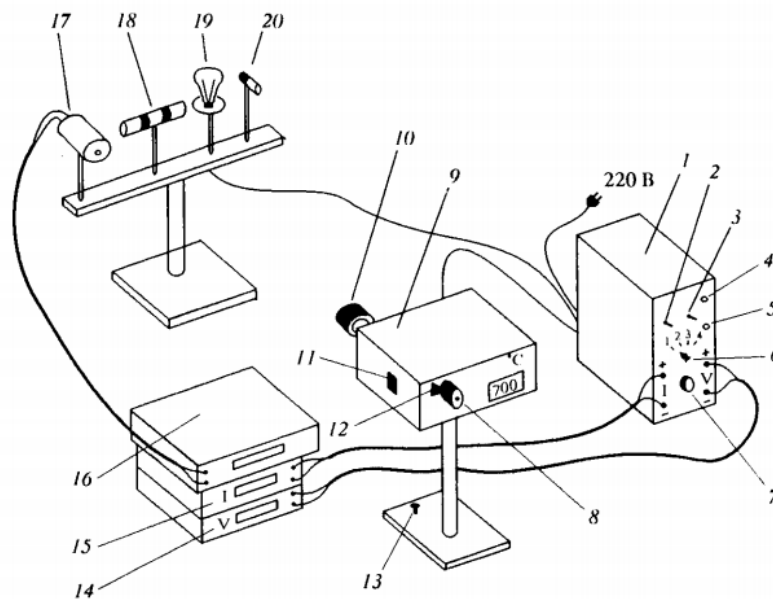


Рис. 2: Схема экспериментальной установки: 1 - блок питания; 2 - тумблер включения питания образцов; 3 - тумблер нагрева нити пирометра; 4 - кнопка "Нагрев нити"; 5 - кнопка "охлаждение нити"; 6 - тумблер переключения образцов; 7 - регулятор мощности нагрева образцов; 8 - окуляр пирометра; 9 - корпус пирометра; 10 - объектив пирометра; 11 - переключение диапазонов; 12 - ручка смещения красного светофильтра; 13 - регулировочный винт; 14 - вольтметр (напряжение на лампе накаливания); 15 - амперметр (ток через образцы); 16 - вольтметр в цепи термопары; 17 - модель АЧТ; 18 - трубка с кольцами из материалов с различной излучательной способностью; 19 - лампа накаливания; 20 - неоновая лампочка

Исследуемые в работе образцы:

- **модель абсолютно чёрного тела** - керамическая трубка, закрытая с одного конца и окружённая для теплоизоляции внешним кожухом. Температура в трубке измеряется с помощью термопары хромель-алюмель
- **керамическая трубка с набором колец из различных материалов**, нагреваемая изнутри нихромовой спиралью. Материалы колец имеют различную излучательную способность
- **вольфрамовая нить электрической лампочки**

## 4. Ход работы

### 4.1 Изучение работы оптического пирометра

С помощью пирометра измерим температуру модели АЧТ и сравним со значением температуры, измеренной при помощи термопарного термометра:

$T_{\text{пирометра}}, C^{\circ}$	$V_{\text{термопары}}, \text{мВ}$	$T_{\text{АЧТ}}, C^{\circ}$	Разность значений, %
947	37,03	903	4,9
957	37,56	916	4,5
967	37,82	922	4,9
977	38,13	930	5

Заметим, что значения температуры, измеренной при помощи термопары и пирометра сходятся в пределах 5%.

### 4.2 Измерение яркостной температуры накаливаемых тел

С помощью пирометра необходимо было снять температуру трех колец из различных материалов, находившихся на керамической трубке. Однако кольца были нагреты до температуры, которую невозможно было измерить пирометром, т.к. она находилась за пределом измерений прибора.

### 4.3 Проверка закона Стефана-Больцмана

Измерим яркостную температуру лампы накаливания и переведем полученный результат в абсолютную температуру с помощью графика зависимости  $T(T_{br})$  для вольфрамовой нити:

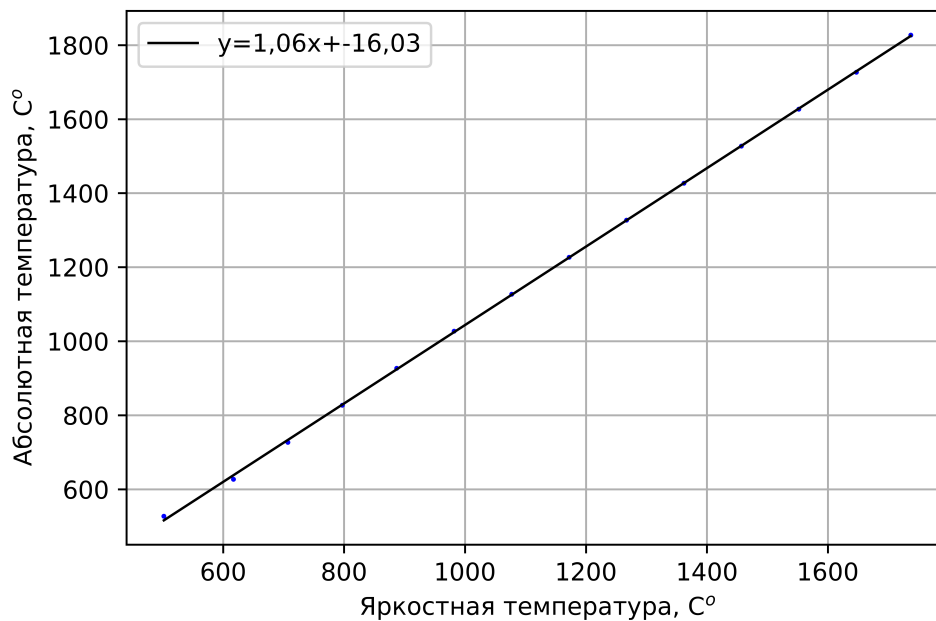


Рис. 3:  $T(T_{br})$  для вольфрама

$I$ , мА	$\sigma_I$ , мА	$V$ , В	$\sigma_V$ , В	$T_{br}, C^o$	$T, C^o$	$W$ , мВт	$\sigma_W$ , мВт
433	1	1,348	0,001	800	832	583,68	1,42
457		1,528		900	938	698,30	1,59
473		1,658		1000	1044	784,23	1,72
522		2,087		1100	1150	1089,41	2,15
578		2,595		1200	1255	1499,91	2,66
621		3,018		1300	1361	1874,18	3,08
685		3,681		1400	1467	2521,49	3,74
772		4,666		1500	1573	3602,15	4,73
822		5,264		1600	1679	4327,01	5,33
899		5,243		1700	1785	4713,46	5,32
934		6,73		1800	1891	6285,82	6,79
1013		7,828		1900	1997	7929,76	7,89

Таблица 1: Измерения для проверки закона Стефана-Больцмана

Построим график  $W=f(T)$ :

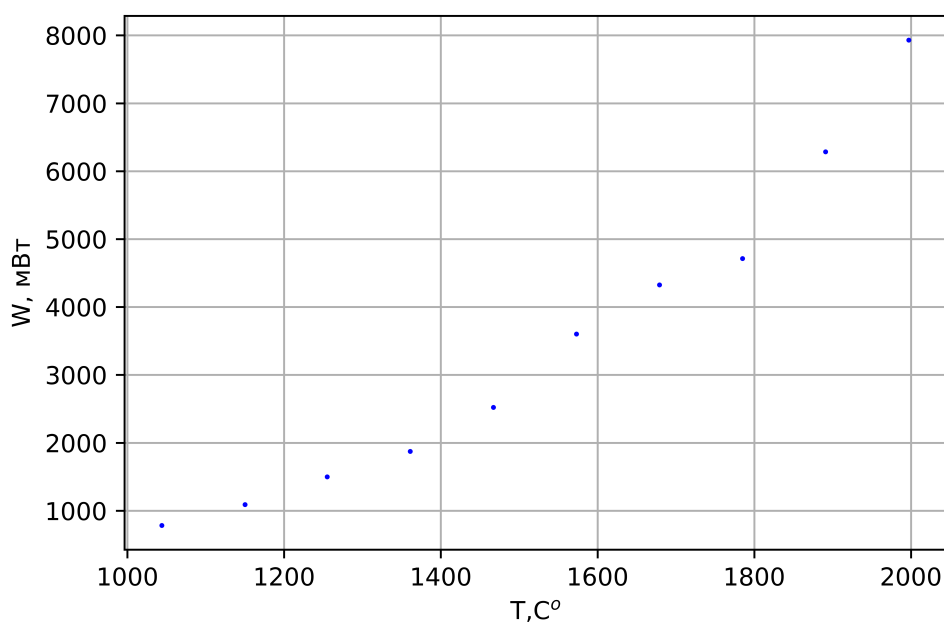


Рис. 4:  $W=f(T)$

Построим тот же график в логарифмическом масштабе, чтобы проверить закон Стефана-Больцмана:

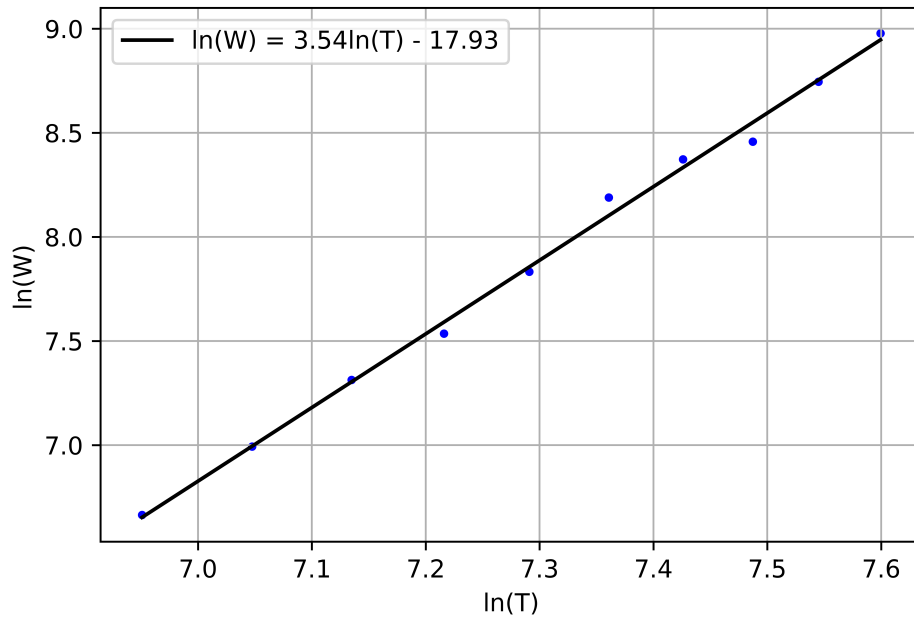


Рис. 5:  $\ln(W) = \ln(\varepsilon_T B) + n \ln T$

Из график видно, что коэффициент наклона прямой, соответствующий степени  $n$  в законе Стефана-Больцмана примерно равен 4, что сходится с теоретическими данными.

Найдем величину константы Стефана-Больцмана по формуле:

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

Определим  $\varepsilon_T$  по нижеприведенному графику для каждой температуры, выше 1700 К:

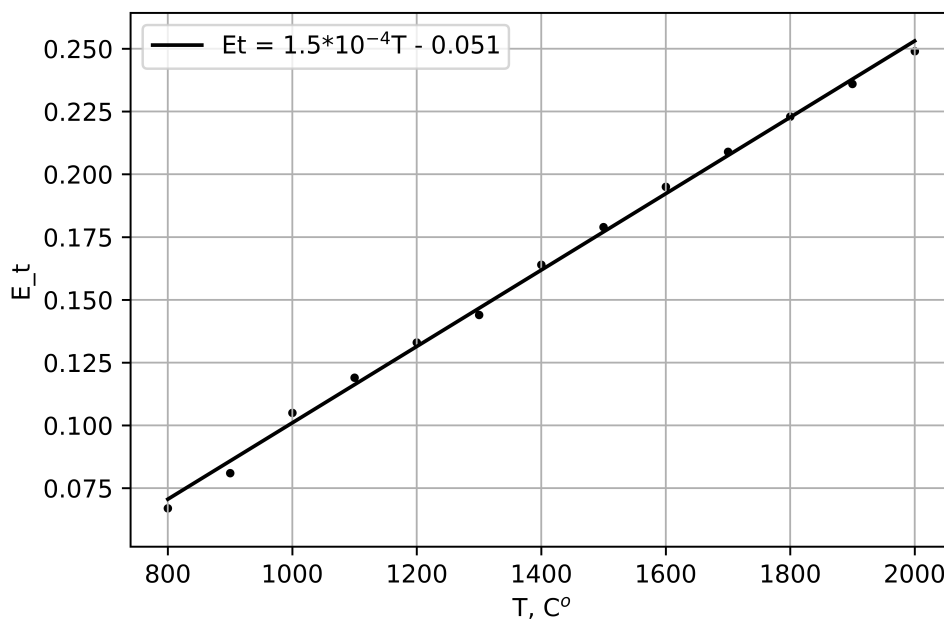


Рис. 6:  $\varepsilon_T(T)$

$W$ , мВт	$\sigma_W$ , мВт	$\varepsilon_T$	$T$ , К	$\sigma_T$ , К	$\sigma \cdot 10^{-12}, \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{К}^4}$	$\sigma_\sigma \cdot 10^{-12}, \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{К}^4}$
3602,15	4,73	0,188	1846	1	4,580	0,012
4327,01	5,33	0,204	1952		4,056	0,010
4713,46	5,32	0,22	2058		3,316	0,007
6285,82	6,79	0,237	2164		3,358	0,004
7929,76	7,89	0,253	2270		3,278	0,003

Получим  $\sigma \approx (3,717 \pm 0,012) \cdot 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{К}^4}$ . Заметим, что полученное значение константы Стефана-Больцмана сходится по порядку с теоретическим.

По найденному значению  $\sigma$  найдем постоянную планка по формуле:

$$h = \sqrt[3]{\frac{2\pi^5 k_0^4}{15c^2 \sigma}} = (1,64 \pm 0,02) \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}$$

#### 4.4 Измерение "яркостной температуры" неоновой лампочки

Прикоснувшись к лампочке, можно заметить, что ее температура примерно равна комнатной и отличается от ее "яркостной температуры". Причина в том, что неоновая лампочка не является моделью АЧТ, а ее излучение носить иной характер (переход электронов между энергетическими уровнями)

### 5. Выводы

В ходе работы был проверен закон Стефана-Больцмана, найдена степень  $n \approx 4$ , что совпадает с теоретическими данными, также получено значение константы Стефана-Больцмана  $\sigma \approx (3,717 \pm 0,012) \cdot 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{К}^4}$ , по порядку совпадающее с теоретическим. Также была вычислена постоянная Планка  $h = (1,64 \pm 0,02) \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}$ . Полученное значение  $h$  по порядку совпадает с теоретическим.