
Отчёт по работе 5.8.1

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

Карташов Константин Б04-005

I Анотация

Цель работы: Измерение температуры модели АЧТ при помощи оптического пирометра и термопары, сравнение полученных значений. Исследование накаливаемых тел с различной испускательной способностью. Проверка закона Стефана-Больцмана и получение значений для постоянной Стефана-Больцмана и постоянной Планка.

Оборудование:

- ▷ Оптический пирометр с исчезающей нитью
 - ▷ Модель АЧТ с термопарой
 - ▷ Трубка с кольцами из веществ с различной испускательной способностью
 - ▷ Лампочка накаливания с вольфрамовой нитью
 - ▷ Источник питания
 - ▷ Вольт- и амперметр
-

II Теоретическая часть

В оптической пирометрии различают три температуры: радиационную, цветовую и яркостную. В данной работе используется яркостная температура. Под яркостной температурой понимаю температуру 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.

По результатам измерений мощности и излучения вольфрамовой нити можно судить о справедливости закона Стефана-Больцмана. Для этого приравняем мощность потребляемую нитью к излучаемой ею за единицу времени энергию. Если предположить, что нить излучает как серое тело, то мощностью излучения можно записать в виде:

$$N = \varepsilon_T S \sigma T^4,$$

где ε_T – поправочный коэффициент излучения, S – площадь излучающей поверхности нити, T – температура нити, σ – постоянная Стефана-Больцмана.

III Экспериментальная часть

i Устройство экспериментальной установки

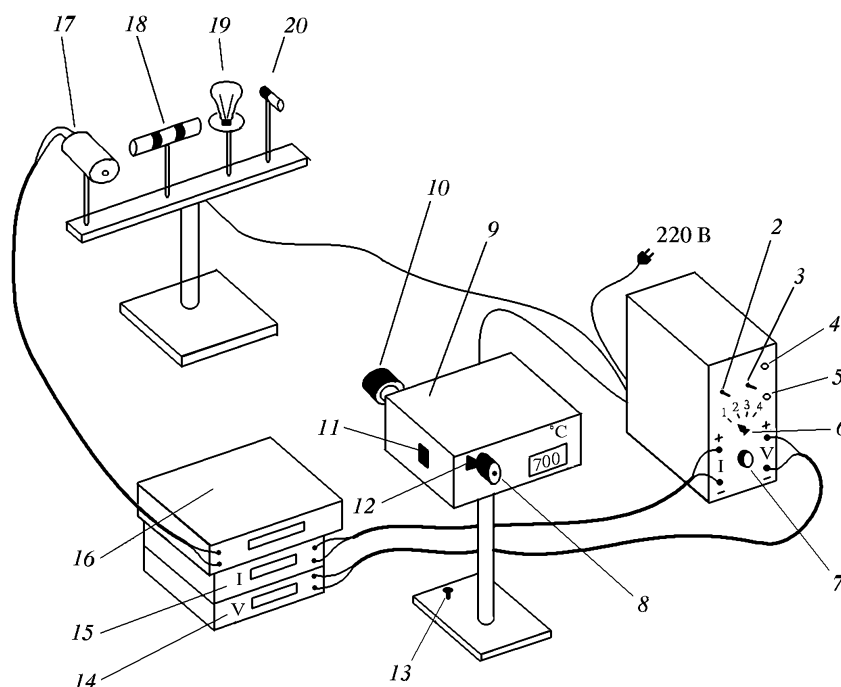


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из: исследуемых образцов (17, 18, 19, 20), источника питания, источника питания, вольтметров и амперметра (14, 15, 17) и пирометра.

ii Изучение работы оптического пирометра

Для изучения работы оптического пирометра подключим питание к модели абсолютно чёрного тела. По напряжению на термопаре определим температуру модели АЧТ. Когда температура установится, измерим температуру модели АЧТ при помощи пирометра и сравним с температурой измеренной при помощи термопары.

Напряжение на термопаре $U_{\text{терм}} = 42.99 \text{ мВ}$, температура $T_{\text{терм}} = 42.99 \text{ мВ} / 41 \text{ мкВ} \approx 1050^\circ\text{C}$, учтя температуру комнаты $\approx 20^\circ\text{C}$ получим $T_{\text{терм}} = 1070^\circ\text{C}$.

Температура измеренная пирометром $T_{\text{пиро}} = 1089^\circ\text{C}$, что достаточно близко для того, чтобы считать пирометр исправным.

iii Измерение яркостной температуры накаливаемых тел

Нагреем два металлических кольца до свечения. Так как кольца находятся в контакте, можем считать их температуру одинаковой. При этом мы видим, что свечение у них разного цвета. Из этого можно сделать вывод, что яркостная температура двух тел может различаться при одной и той же действительной температуре.

iv Проверка закона Стефана-Больцмана

Подключим вольфрамовую нить лампы накаливания к источнику питания и направим на неё пирометр. Далее, будем менять напряжение источника питания, и при помощи пирометра измерять соответствующую температуру T , при помощи вольтметра и амперметра будем измерять напряжение U и ток I источника питания, исходя из чего найдём мощность $N = UI$ потребляемую лампой. Данные измерений приведены в таблице 1.

T , К	U , В	I , А	N , Вт	T , К	U , В	I , А	N , Вт
1073	1.39	0.48	0.67	1812	5.25	0.84	4.4
1214	1.75	0.52	0.91	1869	5.62	0.87	4.87
1265	2.13	0.56	1.2	1908	5.95	0.91	5.42
1374	2.46	0.6	1.47	1968	6.3	0.92	5.77
1447	2.81	0.63	1.77	2005	6.65	0.94	6.26
1519	3.17	0.66	2.11	2036	7.01	0.97	6.78
1568	3.52	0.69	2.44	2065	7.35	0.99	7.27
1623	3.86	0.72	2.79	2082	7.72	1.01	7.84
1653	4.2	0.75	3.16	2105	8.06	1.04	8.36
1713	4.55	0.78	3.56	2156	8.44	1.06	8.96
1772	4.9	0.81	3.97	2178	8.83	1.09	9.61

Таблица 1: Данные измерений

Оценим погрешности данных. В качестве погрешности измерения температуры возьмём $\Delta T = 10$ К (близкие температуры сложно различить пирометром). Погрешность измерения напряжения $\Delta U = 0.01$ В, погрешность измерения силы тока $\Delta I = 0.01$ мА (эти погрешности связаны с флуктуациями показаний вольт- и амперметров). Погрешность в показании мощности вычислим по формуле $\Delta N = N\sqrt{\varepsilon_I^2 + \varepsilon_U^2}$, где ε_I и ε_U – относительные погрешности силы тока и напряжения соответственно.

Построим график зависимости $\ln N = f(\ln T)$ для проверки закона Стефана-Больцмана (рис. 2). Если зависимость степенная, то на графике должна получиться прямая. $N = \varepsilon_T B T^n$, $\ln N = \ln(\varepsilon_T B) + n \ln T$. Погрешность в логарифмическом масштабе $\ln(\Delta x) = \Delta x/x = \varepsilon_x$ равная относительной погрешности.

Проведём наилучшую прямую через получившиеся точки. Для этого воспользуемся методом наименьших квадратов, в качестве статистического веса точек возьмём величину обратную погрешности логарифма мощности $w = 1/\varepsilon_N$. Получили прямую $y = (3.91 \pm 0.06)x + (-11.7 \pm 0.4)$. То есть $n = 3.91 \pm 0.06$, что достаточно близко к ожидаемому значению.

v Нахождение постоянных Стефана-Больцмана и Планка

Убедившись в состоятельности закона Стефана-Больцмана найдём значение постоянной. Воспользуемся формулой:

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

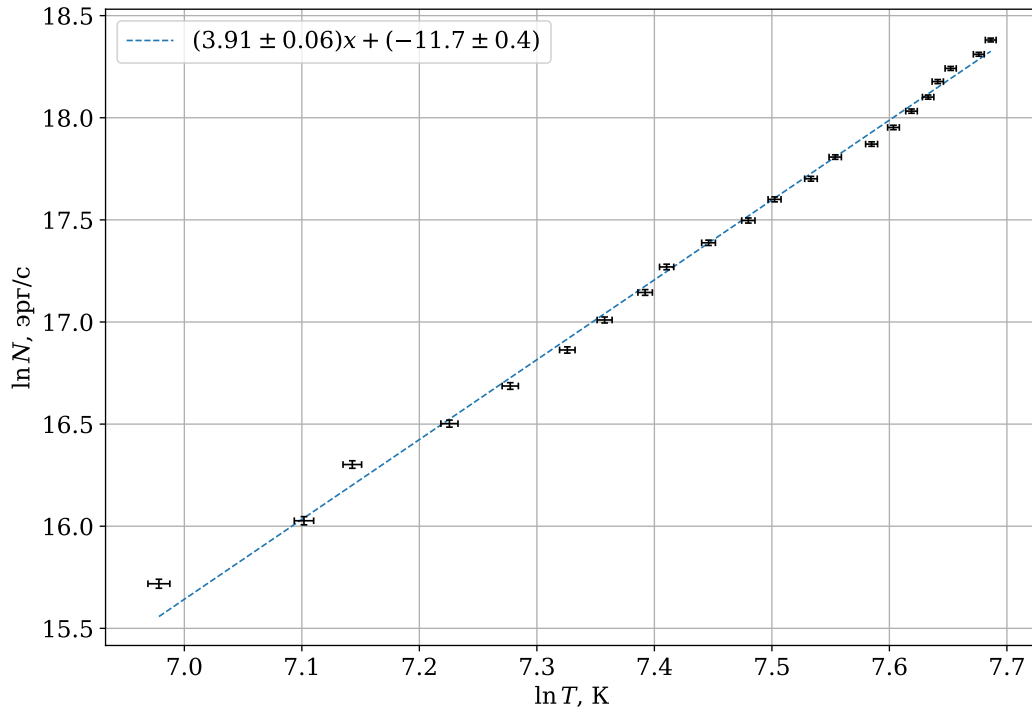


Рис. 2: Графики зависимости напряжения от температуры в логарифмических координатах

для каждого измеренного значения T , превышающего 1700 К. Значения для ε_T возьмём из таблицы 1 в разделе 8 лабораторного практикума. Площадь $S = 0.36 \text{ см}^2$. Погрешность оценим по формуле:

$$\Delta\sigma = \sigma \sqrt{\left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2}.$$

Получившиеся значения запишем в таблицу 2. По полученным значениям найдём среднее и среднеквадратичную погрешность: $\bar{\sigma} = (4.6 \pm 0.4) \cdot 10^{-5} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \text{К}^4 \text{с}}$

$T, \text{ К}$	1713	1772	1812	1869	1908	1968	2005	2036	2065	2082	2105	2156	2178
$\sigma, \text{ СГС} \cdot 10^{-5}$	5.45	5.11	5.06	4.79	4.79	4.37	4.31	4.32	4.31	4.46	4.5	4.27	4.35
$\Delta\sigma, \text{ СГС} \cdot 10^{-5}$	0.1	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

Таблица 2: Полученные значения для постоянной Стефана-Больцмана

Определим значение для постоянной постоянной Планка по формуле:

$$h = \sqrt{\frac{2\pi^5 k_B^4}{15c^2 \sigma}}.$$

Проведём расчёт для каждого значения σ из таблицы 2, и найдём среднее и среднеквадратичную погрешность: $h = (7.1 \pm 0.2) \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}$.

vi Измерение «яркостной температуры» неоновой лампочки

Подключим неоновую лампочку к источнику питания. Видим что лампочка загорелась красным цветом, соответствующем значению пирометра $T = 900^\circ\text{C}$. Однако легко убедиться в том, что лампочка холодная. Это можно объяснить тем, что неоновая лампочка излучает свет в дискретном спектре, в отличие от разогретых тел. Этим же эффектом можно объяснить низкую эффективность лапочек накаливания по сравнению со светодиодными и флюоресцентными лампами.

IV Выводы

1. На модели АЧТ проверили работоспособность пирометра.
 2. Убедились в том, что у двух разных веществ при одной термодинамической температуре могут быть разные яркостные температуры.
 3. Проверили закон Стефана-Больцмана. Увидели, что спектральная излучательная способность пропорциональна температуре в четвёртой степени.
 4. Нашли значение постоянной Стефана-Больцмана $\sigma = (4.6 \pm 0.4) \cdot 10^{-5} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2\text{K}^4\text{с}}$, что близко к действительному значению $\sigma_{\text{теор}} = 5.6696 \cdot 10^{-5} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2\text{K}^4\text{с}}$.
 5. Нашли значение постоянной Планка $h = (7.1 \pm 0.2) \cdot 10^{-27} \text{ эрг}\cdot\text{с}$, что близко к действительному значению $h_{\text{теор}} = 6.6254 \cdot 10^{-27} \text{ эрг}\cdot\text{с}$.
 6. Убедились в том, что для термодинамическая температура неоновой лампочки много меньше яркостной температуры, что объясняется дискретным спектром излучения такой лампочки.
-