

# Отчет о выполнении лабораторной работы 3.6.1 Спектральный анализ электрических сигналов

Маслов Артем, Дедков Денис  
группа Б01-108  
01.10.2022

В работе изучен...

## Оборудование и приборы

Генератор сигналов специальной формы АКИП-3409/4, Цифровой осциллограф SIGLENT АКИП 4131/1.

## Введение

## Ход работы

### Калибровка оптического пирометра

Для калибровки шкалы приборов было проведено сравнение показаний пирометра с показаниями термопары модели АЧТ.

Постоянная термопары была получена из графика, приведенного в лабораторной работе:

$$\Psi = (39 \pm 1) \text{ мкВ/дел.}$$

Для уменьшения случайной погрешности, мы провели целую серию измерений. В таблице приведены полученные значения. Сравнение случайной ошибки ( $\sim 0.5^\circ\text{C}$ ) с ошибкой пирометра в данном диапазоне температур ( $\sim 10^\circ\text{C}$ ) позволяет не учитывать её при расчете погрешностей. Оценка ошибки измерения термопары можно оценить суммой случайной погрешности ( $\sim 0.015 \text{ мкВ}$ ) и ошибки округления ( $\sim 0.005 \text{ мкВ}$ ). Однако основную неточность в измерении финальной температуры вносит неизвестная температура комнаты. Относительная погрешность вычисленной температурой будет совпадать с относительной ошибкой измерения напряжения.

$T_p, ^\circ C$	$V, \text{ мВ}$	$T_t, ^\circ C$	$T, ^\circ C$	$I, \text{ А}$	$V, \text{ В}$	$W, \text{ Вт}$
947.0	36.4	936.5	963.0	0.56	2.12	1.19
937.0	36.4	935.0	1102.0	0.59	2.39	1.41
939.0	36.3	934.5	1057.0	0.57	2.19	1.25
939.0	36.3	933.5	1198.0	0.64	2.88	1.84
938.0	36.3	933.5	1288.0	0.69	3.40	2.33
938.0	36.3	933.5	1424.0	0.75	4.17	3.13
938.0	36.3	933.3	1556.0	0.84	5.22	4.37
937.0	36.3	932.5	1750.0	0.99	7.36	7.30
939.0	36.3	932.5	1897.0	1.10	8.95	9.83
938.0	36.3	932.5				

Таблица 1: Проверка закона Стефана-Больцмана. Эксперимент по нагреванию вольфрамовой нити..

Выражения, полученные для температур, измеренных термопарой ( $T_t$ ) и пирометром ( $T_p$ ) соответственно:

$$T_t = (934 \pm 5) ^\circ C, \quad T_p = (939 \pm 12) ^\circ C.$$

Выражения для температур отлично согласуются в пределах ошибок измерений.

### Проверка закона Стефана-Больцмана

Для проверки выполнения закона Стефана-Больцмана, проведена обработка данных эксперимента по нагреву вольфрамовой нити лампы накаливания. Собранные данные приведены в таблице.

Измеренная яркостная температура преобразуется в термодинамическую температуру с помощью графика зависимости  $T(T_{\text{ярк}})$ . Мощность, потребляемая лампой, легко оценивается с использованием закона Джоуля-Ленца:  $W = UI$ . Эта мощность равна рассеянной по закону сохранения энергии. График зависимости рассеиваемой мощности от температуры приведена на рисунке 2.

Для точного вычисления степени в законе Стефана-Больцмана, проведем линеаризацию зависимости  $W(T)$ :

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

График получившейся зависимости изображен на рисунке 2. Подсчет коэффициентов проведем методом наименьших квадратов (МНК):

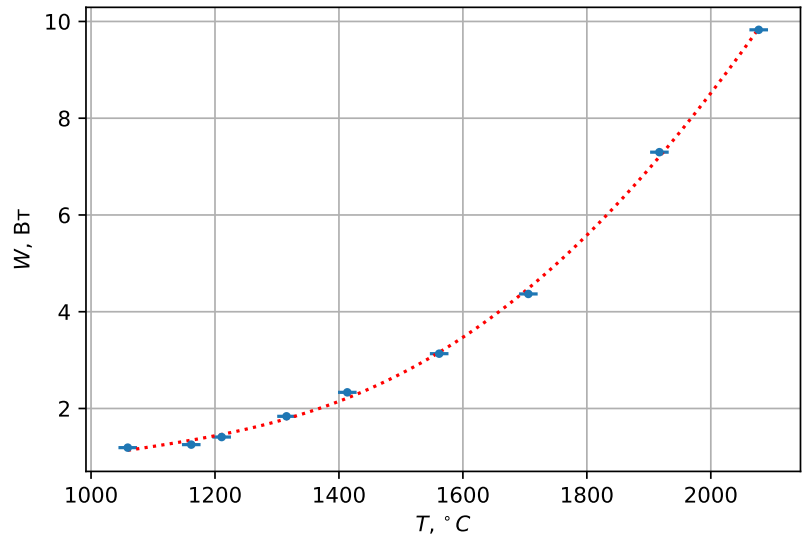


Рис. 1: Зависимость  $W(T)$ .

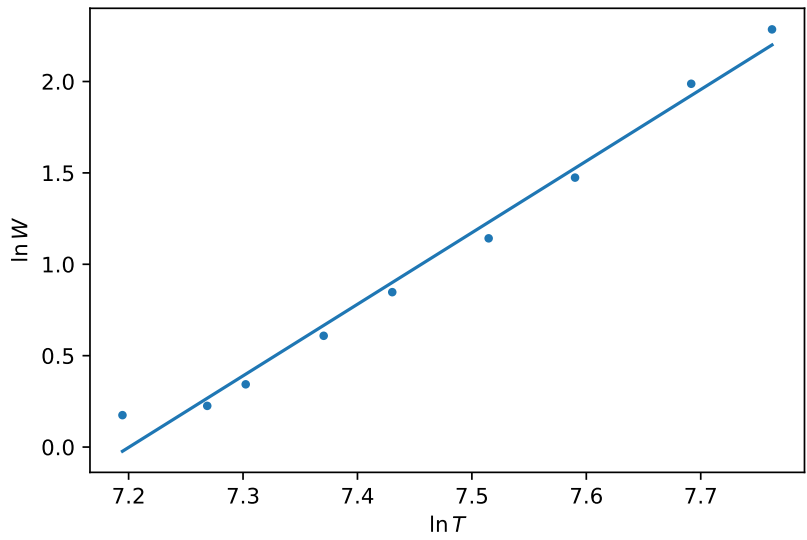


Рис. 2: Зависимость  $\ln W(\ln T)$ .

$\bar{x}$	$\sigma_x^2$	$\bar{y}$	$\sigma_y^2$	$r_{xy}$	$a$	$\Delta a$	$b$	$\Delta b$
7.46e+00	3.40e-02	1.01e+00	5.29e-01	1.33e-01	3.92	0.18	-28.20	1.37

Таблица 2: Статистическая обработка зависимости  $\ln W(\ln T)$ .

Тогда финальное выражение для степени в законе Стефана-Больцмана:

$$n = (3.92 \pm 0.18).$$

### Оценка коэффициента Стефана-Больцмана

Для оценки коэффициента Стефана-Больцмана, нужно учесть тот факт, что вольфрамовая нить черным телом не является. А значит, следует уточнить закон Стефана-Больцмана множителем серого тела  $\varepsilon_T$ . В ней же приведена зависимость коэффициента ослабления  $\varepsilon_T$  для вольфрама.

Коэффициента Стефана-Больцмана легко рассчитать по следующей формуле:

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

Погрешность же, по правилам оценки погрешностей косвенных вычислений, можно оценить суммой относительных ошибок каждой величины:

$$\delta_\sigma \approx \sqrt{\epsilon_S^2 + (4\epsilon_T)^2}$$

График с крестами погрешностей показан на рисунке 3. Видно, что при увеличении температуры, коэффициент Стефана-Больцмана уменьшается.

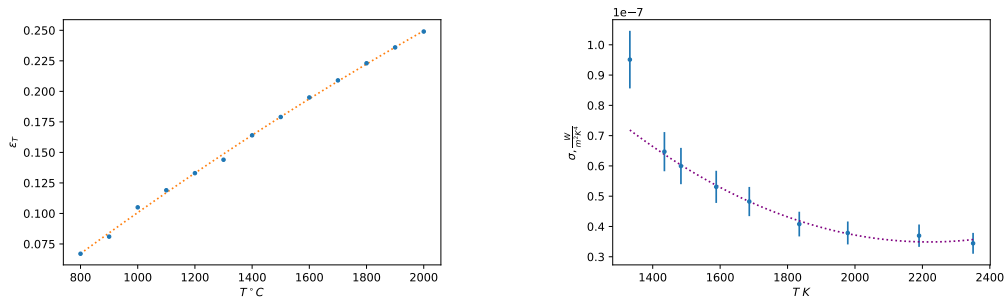


Рис. 3: Зависимость  $\ln W(\ln T)$ .

### Вывод

В работе была проверена калибровка оптического пирометра путем сравнения измеренной температуры АЧТ с показаниями термопары. Показания термопары ( $T_p$ ) и пирометра ( $T_t$ ) хорошо согласуются:

$$T_t = (934 \pm 5) ^\circ C, \quad T_p = (939 \pm 12) ^\circ C.$$

Был экспериментально вычислен показатель степени в законе Стефана-Больцмана. В пределах точности эксперимента  $n$  сходится с теоретическим значением:

$$n = (3.92 \pm 0.18).$$

Также были вычислены коэффициенты  $\sigma$  при различных температурах. Значения по порядку сходятся с эталонным значением. Также приведен график зависимости  $\sigma$  от температуры (см. рис. 3).