

# Лабораторная работа 5.8.1

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

*При помощи модели АЧТ проводятся измерения температуры оптическим пирометром с исчезающей нитью и термопарой, исследуется излучение нагретых тел с различной излучательной способностью, определяются постоянные Планка и Стефана-Больцмана.*

### Теоретическая справка

**Бозоны** - частицы с целым спином и симметричными волновыми функциями. **Фермионы** - частицы с полуцелым спином и характеризующиеся антисимметричными волновыми функциями.

Формула распределения Бозе-Эйнштейна:

$$\bar{n} = \frac{1}{e^{\frac{h\omega}{2\pi k_B T}} - 1}$$

Формула Планка:

$$u_\omega d\omega = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \cdot \frac{\omega}{\exp \frac{h\omega}{2\pi k_B T} - 1} d\omega$$

Метод оптической пирометрии основан на использовании зависимости излучательной способности исследуемого тела от температуры.

Различают три температуры: радиационную  $T_{\text{рад}}$ , цветовую  $T_{\text{цв}}$  и яркостную  $T_{\text{ярк}}$ .

*Интегральная излучательная способность  $R$  тела* - величина электромагнитной энергии  $W$ , испускаемая по всем направлениям единицей поверхности тела в единицу времени во всем интервале длин

ВОЛН:

$$R = \frac{W}{S}$$

*Спектральная испускательная способность  $r_{\lambda,T}$  тела* - физическая величина, численно равная величине электромагнитной энергии, испускаемой единицей поверхности тела по всем направлениям в единицу времени в интервале длин волн от  $\lambda$  до  $\lambda + d\lambda$ :

$$r_{\lambda,T} = \frac{dR}{d\lambda}$$

*Спектральная поглощательная способность тела  $a_{\lambda,T}$*  - величина, показывающая, какую долю монохроматического потока электромагнитной энергии данное тело поглощает:

$$a_{\lambda,T} = \frac{\Phi_{\lambda_{\text{погл}}}}{\Phi_{\lambda_{\text{пад}}}}$$

*Интегральная поглощательная способность:*

$$A(T) = \frac{\Phi_{\text{погл}}}{\Phi_{\text{пад}}}$$

Закон Кирхгофа: отношение испускательной и поглощательной способностей не зависит от природы тела, а является для всех тел одной и той же функцией длины волны и температуры.

**Радиационная температура** - температура АЧТ, при которой его интегральная испускательная способность равна интегральной испускательной способности исследуемого тела. **Цветовая температура** - температура АЧТ, при которой отношение их спектральных испускательных способностей для двух заданных длин волн одинаковы. **Яркостная температура** - температура АЧТ, при которой его спектральная испускательная способность равна спектральной испускательной способности исследуемого тела при той же длине волны. Её и будем измерять в работе.

*Для черных тел:*  $W = \sigma S(T^4 - T_0^4)$ .

Для серых тел:  $W = \epsilon_T S \sigma T^4$ .

## Экспериментальная установка

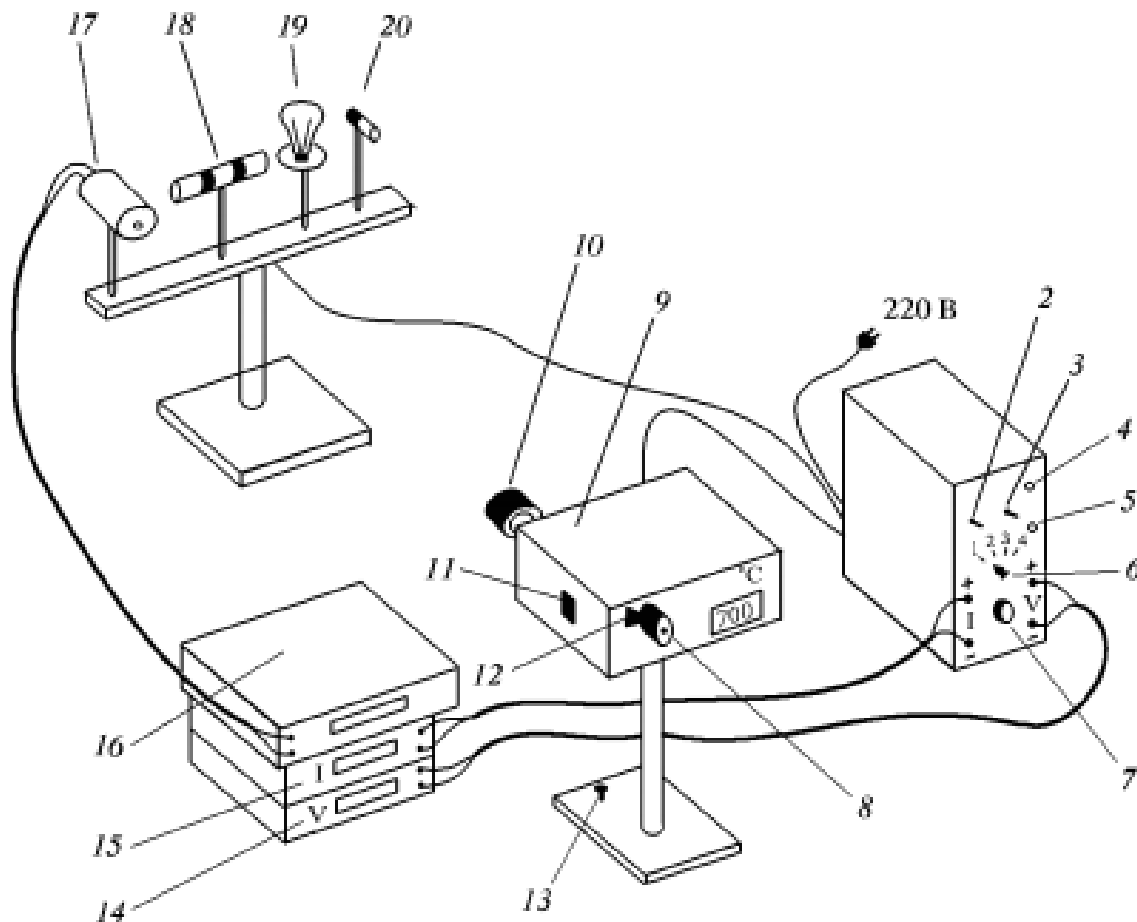


Рис.3. Схема экспериментальной установки: 1 — блок питания; 2 — тумблер включения питания пирометра и образцов; 3 — тумблер нагрева нити пирометра: «Быстро» — вверх, «Медленно» — вниз; 4 — кнопка «Нагрев нити»; 5 — кнопка «охлаждение нити»; 6 — тумблер переключения образцов; 7 — регулятор мощности нагрева образцов; 8 — окуляр пирометра; 9 — корпус пирометра; 10 — объектив пирометра; 11 — переключение диапазонов:  $700-1200^{\circ}\text{C}$  — вниз,  $1200-2000^{\circ}\text{C}$  — вверх; 12 — ручка перемещения 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 разной излучательной способностью; 19 — лампа накаливания; 20 — неоновая лампочка

Модель АЧТ представляет собой керамическую трубку диаметром 3мм и длиной 50мм, закрытую с одного конца и окруженную для теплоизоляции внешним кожухом.

## Отчет

## I. Изучение работы оптического пирометра

*Измеряется температуры АЧТ с помощью пирометра и сравнивается со значением, измеренным при помощи термопарного термометра.*

Измерения с помощью пирометра представлены в таблице:

$T, ^\circ\text{C}$

1121

1111

1119

1120

Средняя температура равна:

$$\bar{T} = 1117.75^\circ\text{C} = 844.6\text{K}$$

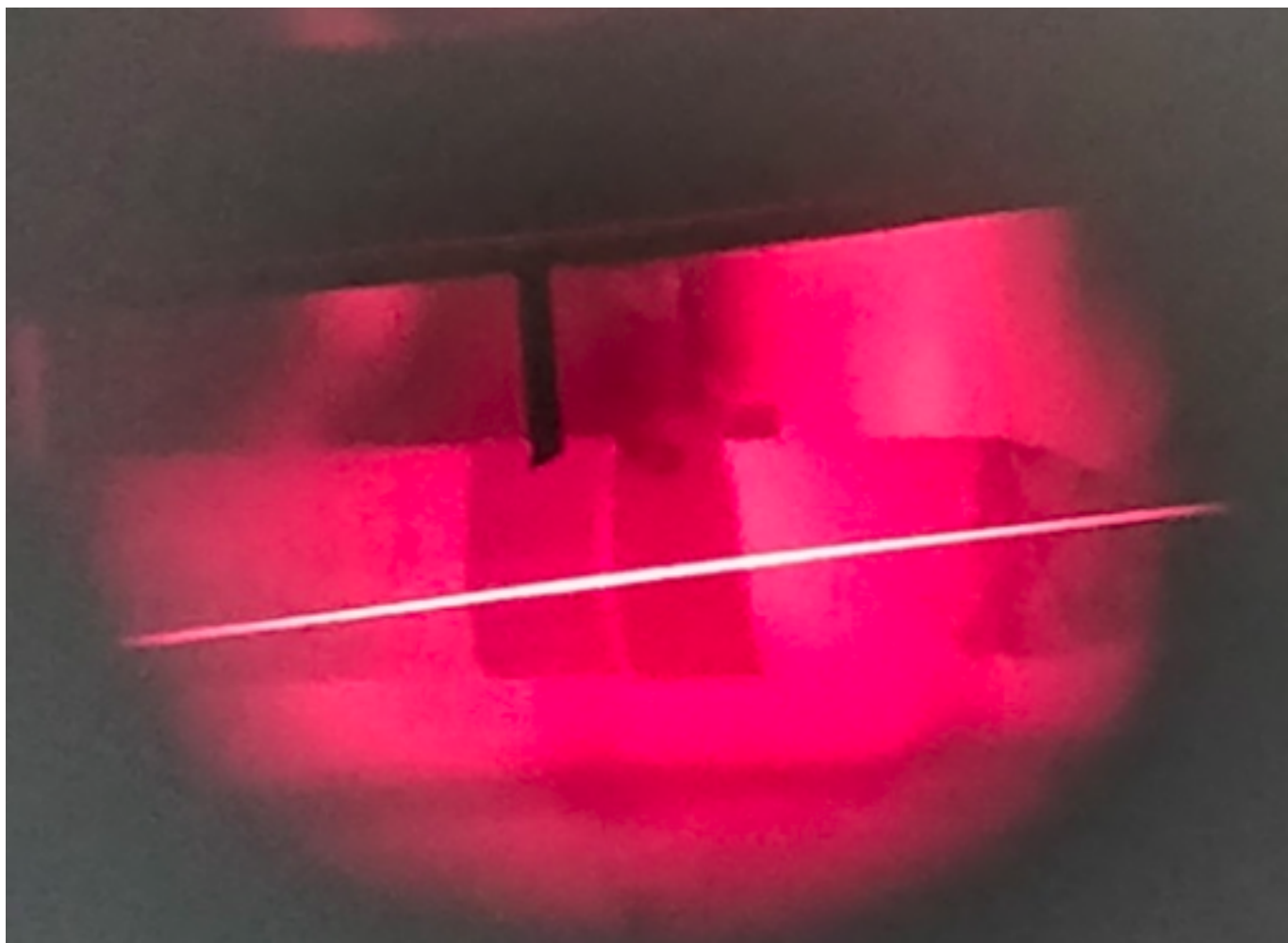
Показания вольтметра равны 43910В. Разделив это значение на коэффициент  $k = 41 \frac{\text{мкВ}}{^\circ\text{C}}$  и прибавив комнатную температуру

$T_{\text{комн}} = 23^\circ\text{C}$  получим:

$$T_{\text{термопара}} = 1093^\circ\text{C} = 819.85\text{K}$$

Итак, температуры, измеренные разными способами, отличаются друг от друга примерно на 3%. Следовательно, оптический пирометр работает исправно.

## II. Измерение яркостной температуры накаливаемых тел



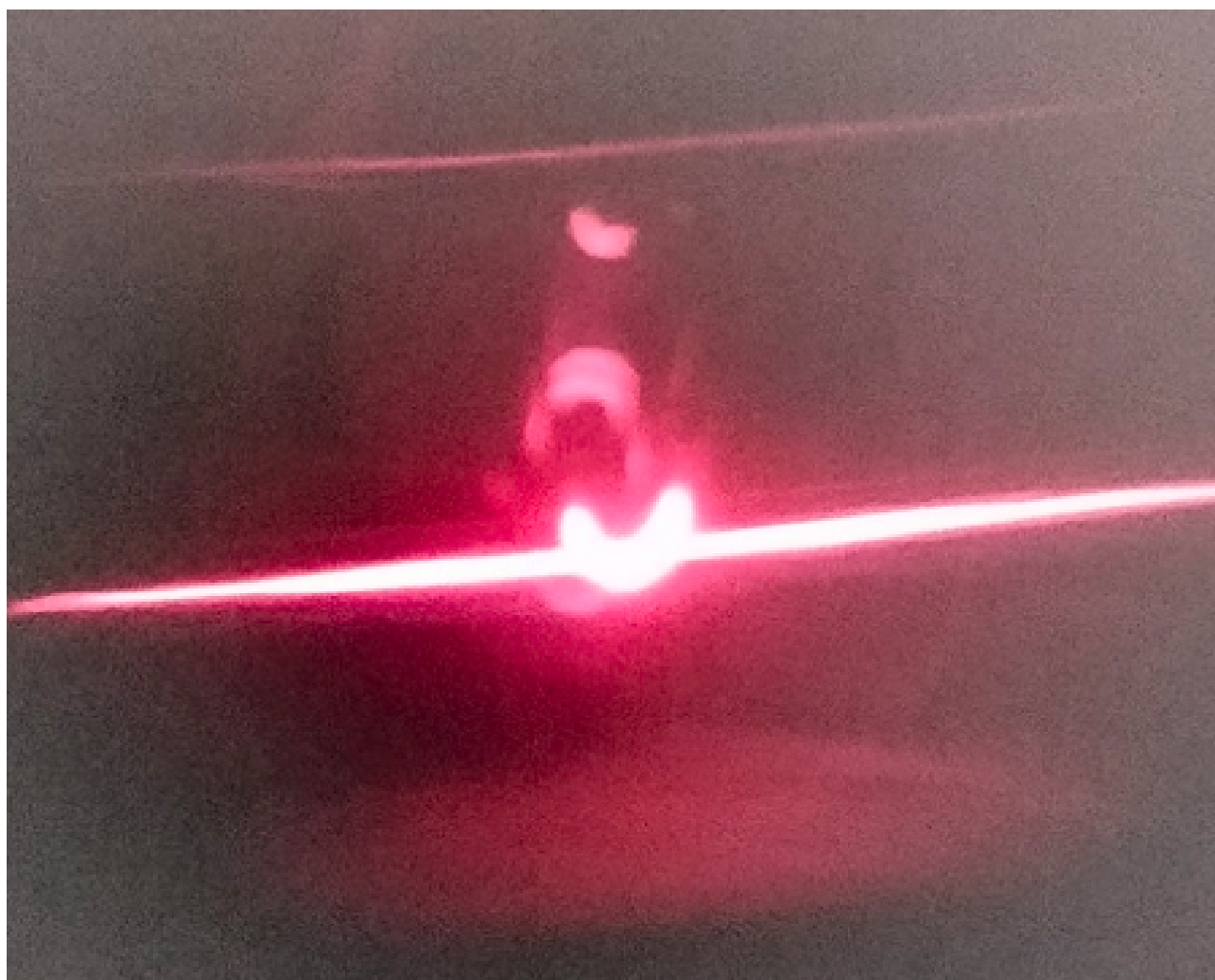
*Различные тела, нагретые до одинаковой термодинамической температуры, имеют различную яркостную температуру.*

$$T_{\text{трубки}} = 770^{\circ}\text{C}$$

Однако приборы не позволяют измерить температуры колец. Из изображения видно, что их температура меньше температуры трубки и различается между собой. В эксперименте не удалось полностью раскалить кольца.

Не каждое тело можно описать моделью АЧТ. У каждого тела различный коэффициент излучения  $\epsilon_T$ . Отсюда же следует, что яркостная температура не равна термодинамической.

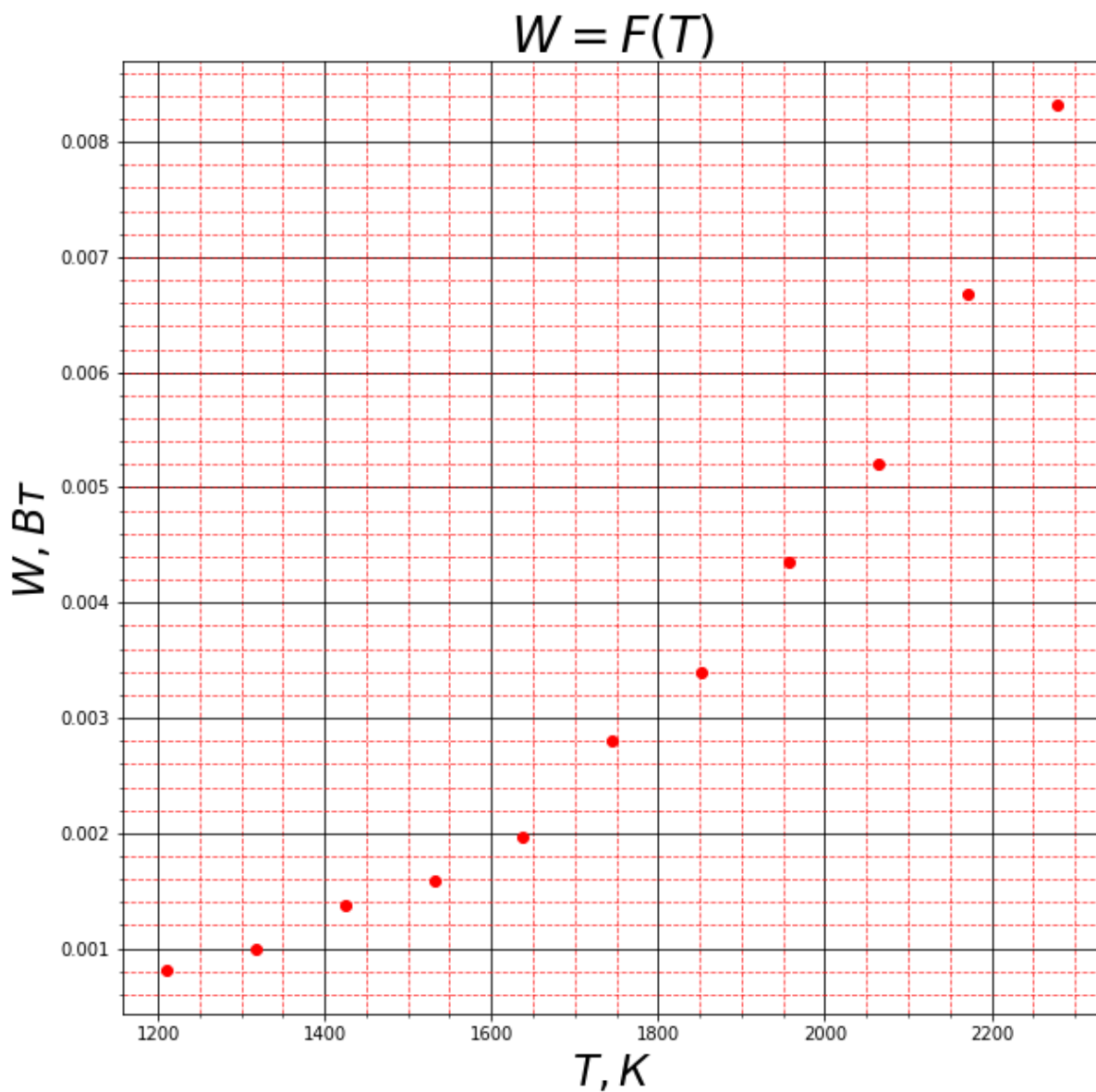
### **III. Проверка закона Стефана-Больцмана**



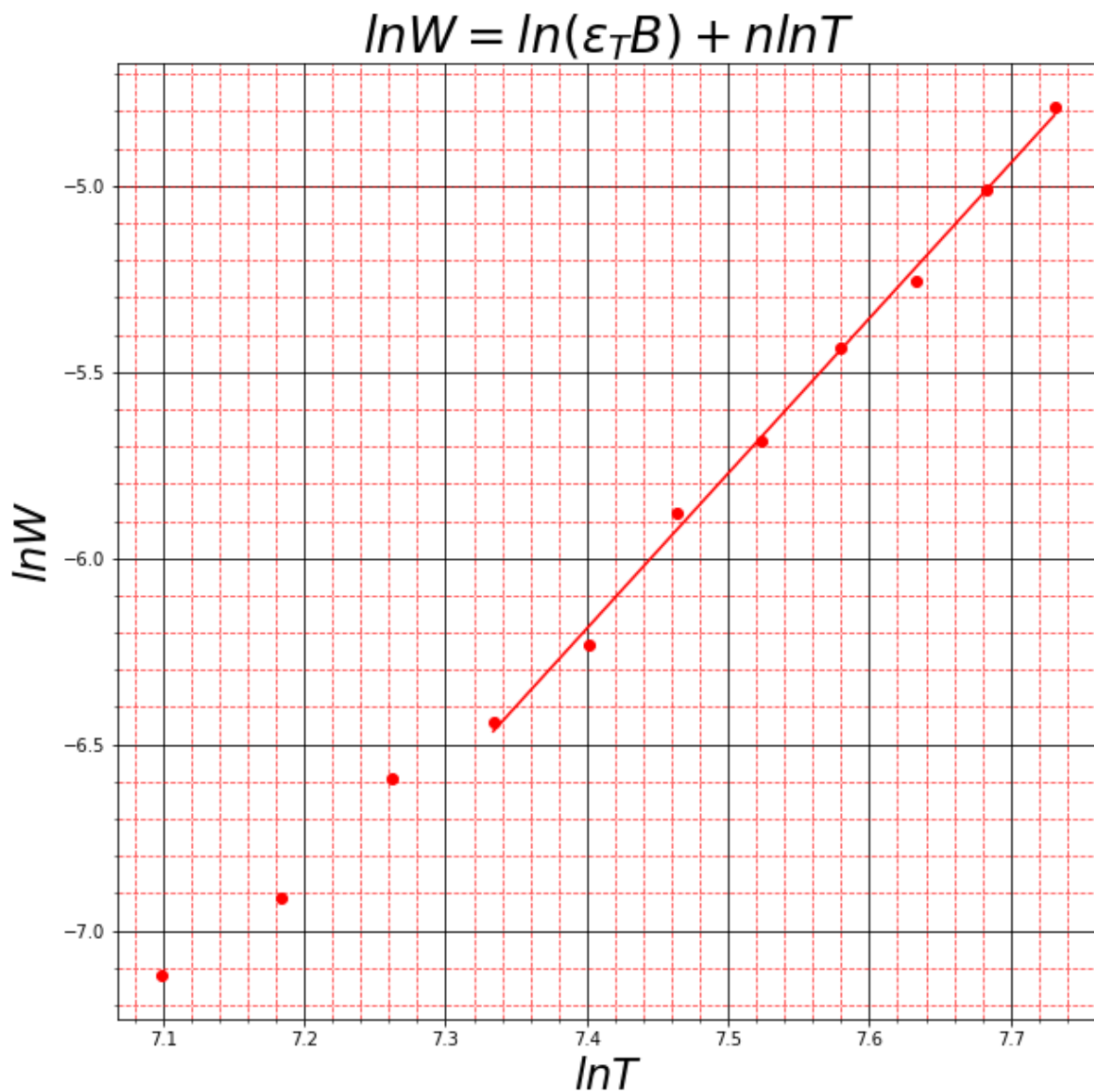
Будем проводить измерения на вольфрамовой нити лампы накаливания. Результаты измерений представлены в таблице:

$T_{\text{ярк}}, ^\circ \text{C}$	$V, \text{В}$	$I, \text{А}$	$W, \text{Вт}$	$\ln W$	$T, \text{К}$	$\ln T$	$\epsilon_T$	$\sigma, 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \text{К}^4}$	$h, 10^{-27} \text{эрг} \cdot \text{с}$
900	1.669	0.484	0.807796	-0.213446	1211.200000	7.099367	0.133	NaN	NaN
1000	1.946	0.511	0.994406	-0.005610	1317.866667	7.183770	0.144	NaN	NaN
1100	2.447	0.561	1.372767	0.316828	1424.533333	7.261600	0.164	NaN	NaN
1200	2.720	0.586	1.593920	0.466196	1531.200000	7.333807	0.179	NaN	NaN
1300	3.145	0.624	1.962480	0.674209	1637.866667	7.401150	0.195	NaN	NaN
1400	4.010	0.698	2.798980	1.029255	1744.533333	7.464242	0.209	5.7	6.6
1500	4.580	0.743	3.402940	1.224640	1851.200000	7.523589	0.223	5.8	6.6
1600	5.411	0.806	4.361266	1.472762	1957.866667	7.579611	0.236	6.2	6.5
1700	6.095	0.855	5.211225	1.650815	2064.533333	7.632659	0.249	5.5	6.7
1800	7.182	0.929	6.672078	1.897931	2171.200000	7.683035	0.274	6.0	6.5
1900	8.311	1.001	8.319311	2.118579	2277.866667	7.730995	0.290	5.6	6.6

Построим график  $W = F(T)$ .



Для проверки закона Стефана-Больцмана построим тот же график в логарифмических координатах:  $\ln W = \ln (\epsilon_T B) + n \ln T$ .



Из графика:

$$n = 4.16$$

Для температур выше 1700K вычислим постоянные Стефана-Больцмана и Планка по формулам:

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

где  $S = 0.36 \text{ см}^2$



$$h = \sqrt[3]{\frac{2\pi^5 k_B^4}{15c^2 \sigma}}$$

Результаты приведены в таблице.

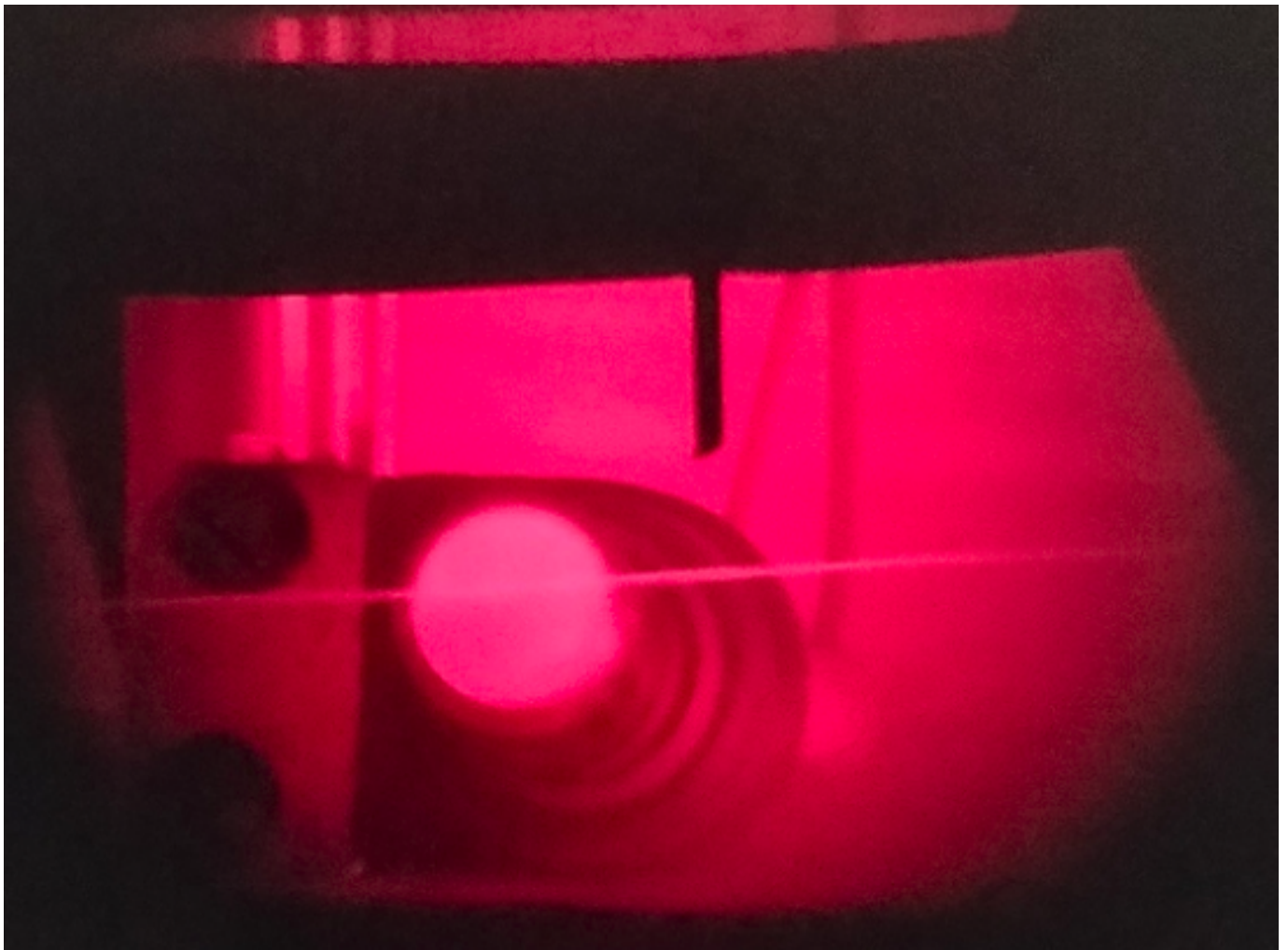
Табличные значения:

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \text{К}^4}$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-27} \text{эрг} \cdot \text{с}$$

Экспериментальные значения с хорошей точностью совпали с табличными.

#### IV. Измерение яркостной температуры неоновой лампы



Яркостная температура неоновой лампы равна  $844^{\circ}\text{C}$ . Однако можно с легкостью дотронуться до самой лампы, то есть яркостная температура совершенно не соответствует термодинамической.

Данный эффект описывается непосредственно принципом работы неоновой лампы.

Внутри колбы неоновой лампы происходят такие процессы: двигаясь, электроны встречаются с нейтральными атомами газа – заполнителя полости трубки – и ионизируют их, выбивая электроны с верхней орбиты в пространство. Возбужденные таким образом атомы, вновь сталкиваясь с электронами, снова превращаются в нейтральные атомы. Это обратное превращение сопровождается излучением кванта световой энергии.

## **Вывод**

*Ознакомились с моделью АЧТ, экспериментально определили постоянные Стефана-Больцмана и Планка. Показали, что не все тела можно рассматривать как АЧТ. Также разобрались в принципе работы неоновой лампы.*