

# 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

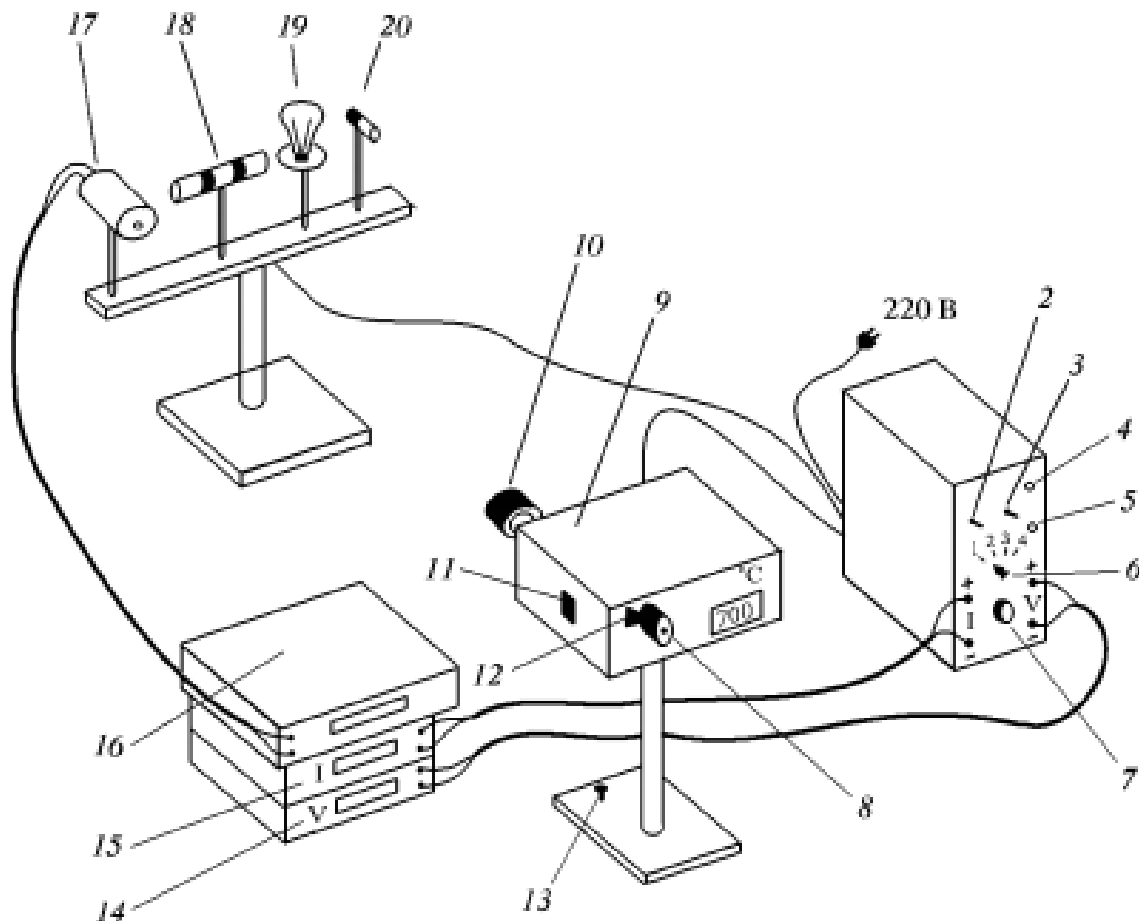


Рис.3. Схема экспериментальной установки: 1 — блок питания; 2 — тумблер включения питания пирометра и образцов; 3 — тумблер нагрева нити пирометра: «Быстро» — вверх, «Медленно» — вниз; 4 — кнопка «Нагрев нити»; 5 — кнопка «охлаждение нити»; 6 — тумблер переключения образцов; 7 — регулятор мощности нагрева 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, накаливаемые 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.

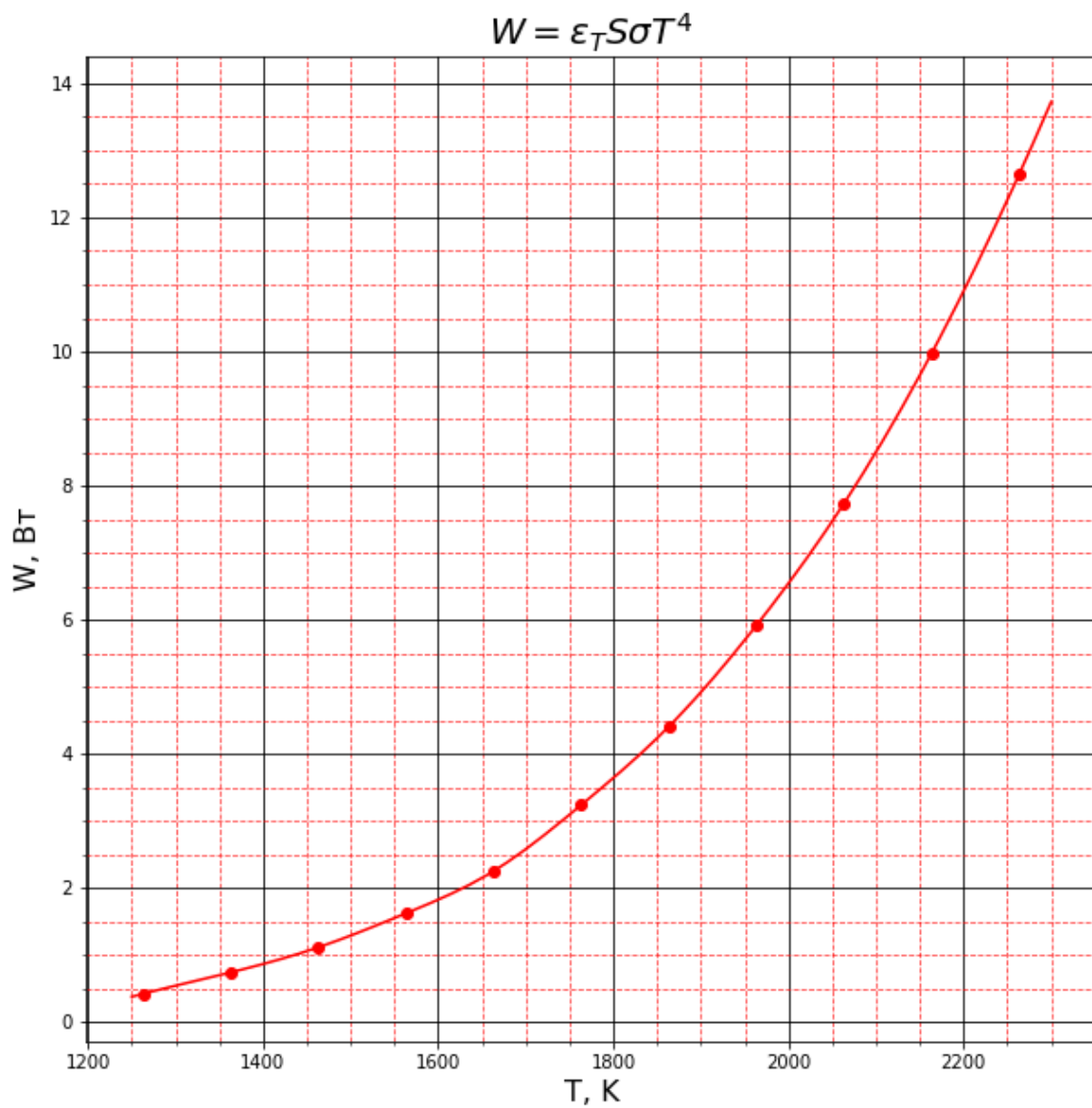
Не каждое тело можно описать моделью АЧТ. У каждого тела различный коэффициент излучения  $\epsilon_T$ . Отсюда же следует, что яркостная температура не равна термодинамической.

## III. Проверка закона Стефана-Больцмана

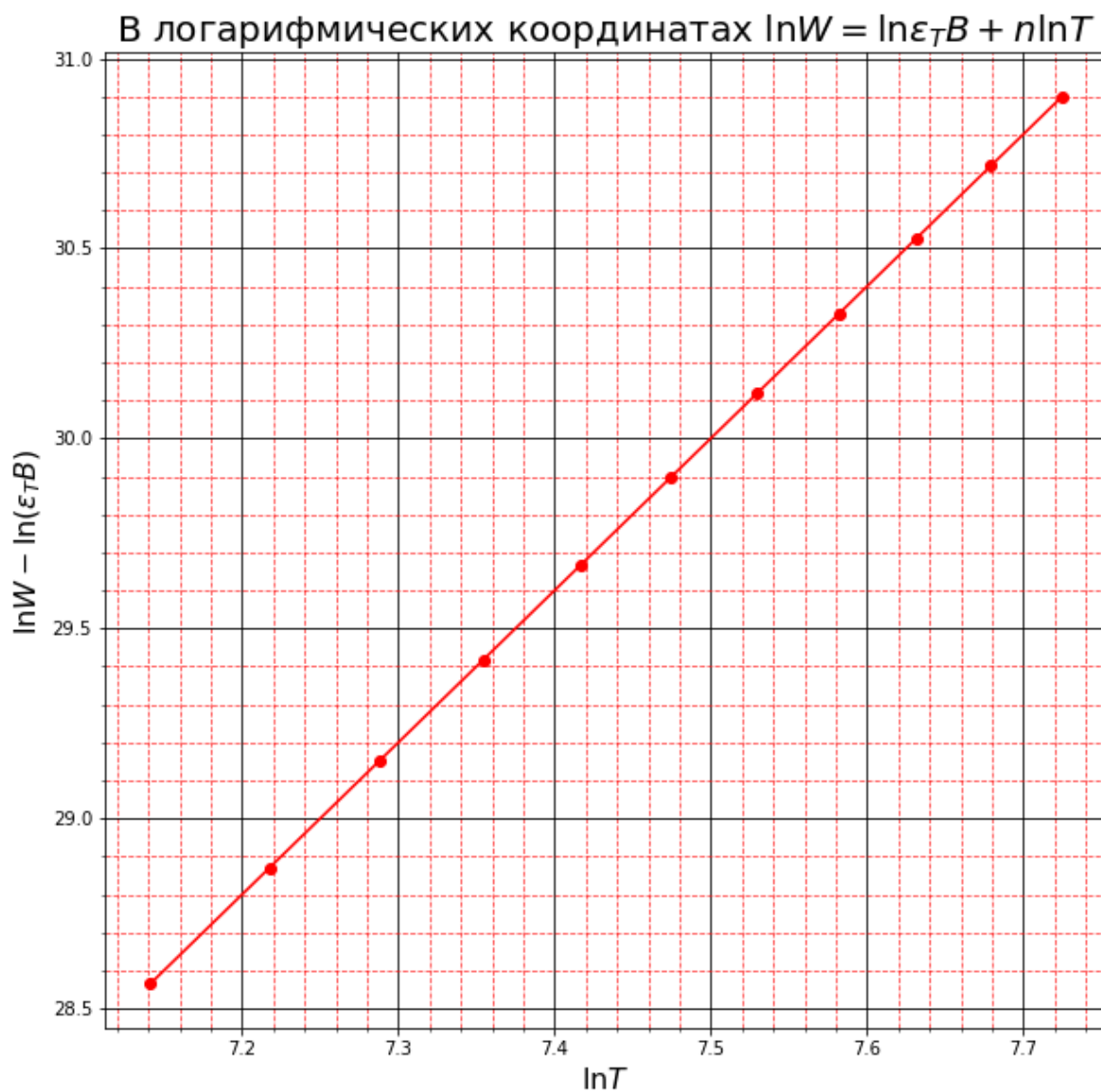
Будем проводить измерения на вольфрамовой нити лампы накаливания.  
Результаты измерений представлены в таблице:

	$T_{\text{зрк}}, ^\circ\text{C}$	$V, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$T_{\text{зрк}}, \text{K}$	$T, \text{K}$	$\epsilon_T$	$W, \text{Вт}$	$\ln W$	$\ln T$	$\sigma, 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2\text{K}^4}$	$h, \text{эрг} \cdot \text{с}$
0	900	1.669	0.484	1173.15	1263.15	0.081	0.420911	-0.865334	7.141364	NaN	NaN
1	1000	1.946	0.511	1273.15	1363.15	0.105	0.740030	-0.301064	7.217553	NaN	NaN
2	1100	2.447	0.561	1373.15	1463.15	0.119	1.113238	0.107273	7.288347	NaN	NaN
3	1200	2.720	0.586	1473.15	1563.15	0.133	1.620839	0.482944	7.354458	5.67	6.619009
4	1300	3.145	0.624	1573.15	1663.15	0.144	2.248919	0.810449	7.416469	5.67	6.619009
5	1400	4.010	0.698	1673.15	1763.15	0.164	3.235091	1.174057	7.474857	5.67	6.619009
6	1500	4.580	0.743	1773.15	1863.15	0.179	4.402809	1.482243	7.530024	5.67	6.619009
7	1600	5.411	0.806	1873.15	1963.15	0.195	5.911996	1.776983	7.582306	5.67	6.619009
8	1700	6.095	0.855	1973.15	2063.15	0.209	7.729565	2.045053	7.631989	5.67	6.619009
9	1800	7.182	0.929	2073.15	2163.15	0.223	9.966369	2.299216	7.679321	5.67	6.619009
10	1900	8.311	1.001	2173.15	2263.15	0.236	12.637202	2.536645	7.724513	5.67	6.619009

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:

$$n = 4.0$$

Для температур выше 1400K 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 происходит 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.*