

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

Елизавета Дахова

Цель работы: Провести измерения температуры оптическим пирометром с исчезающей нитью и термопарой при помощи модели абсолютно черного тела (АЧТ), а так же исследовать излучение накаливаемых тел с различной испускательной способностью и определить постоянные Планка и Стефана-Больцмана.

Теоретическая часть

Различают три температуры, функционально связанные с истинной термодинамической температурой и излучательной способностью тела: радиационную $T_{\text{рад}}$, цветовую $T_{\text{цв}}$, и яркостную $T_{\text{ярк}}$.

Под радиационной температурой понимают температуру АЧТ, при которой его интегральная испускательная способность одинакова с интегральной испускательной способностью исследуемого тела.

Под цветовой температурой исследуемого тела понимают температуру АЧТ, при которой отношение их спектральных испускательных способностей для двух заданных длин волн одинаково.

Под яркостной температурой понимают температуру АЧТ, при которой его спектральная испускательная способность равна спектральной испускательной способности исследуемого тела при той же длине волны. Её мы и будем измерять.

Если бы нить излучала как АЧТ, то баланс потребляемой и излучаемой энергии определялся бы соотношением:

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

Излучение серого тела ослаблено по сравнению с излучением черного тела в ε_T раз для любой длины волны при данной температуре T .

Если предположить, что нить излучает как серое тело, то выражение (1) можно записать в виде:

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

Из формулы (2) можно определить величину постоянной σ в законе Стефана-Больцмана.

Экспериментальная установка

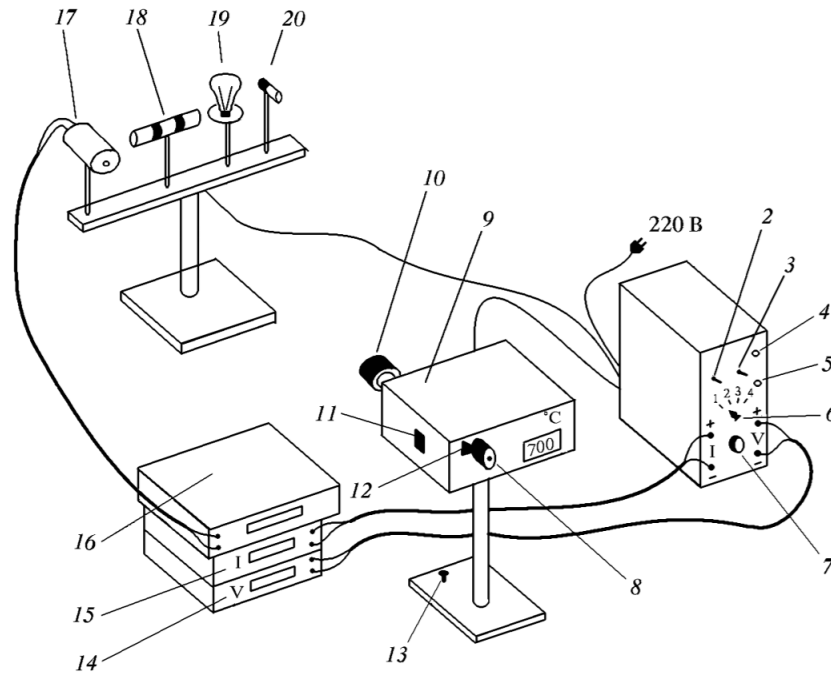


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 — блок питания; 2 — тумблер включения питания пирометра и образцов; 3 — тумблер нагрева нити пирометра: «Быстро» — вверх, «Медленно» — вниз; 4 — кнопка «Нагрев нити»; 5 — кнопка «Охлаждение нити»; 6 — тумблер переключения образцов; 7 — регулятор мощности нагрева образцов; 8 — окуляр пирометра; 9 — корпус пирометра; 10 — объектив пирометра; 11 — переключение диапазонов: 700–1200 °C — вниз, 1200–2000 °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

Ход работы:

1. Проверили работу оптического прибора.
2. Значение термопары — $41 \frac{\text{мкВ}}{^\circ\text{C}}$
3. Значение $T_{\text{ярк}}$ АЧТ, измеренное при помощи пирометра — 1069°C значение $T_{\text{ярк}}$ АЧТ, измеренное при помощи термопары — 1094°C .
4. Измерили $T_{\text{ярк}}$ для поверхности керамической трубы — 741°C ; правого кольца — 708°C ; левого кольца — 700°C .
5. Постепенно увеличивая накал нити через каждые 100°C , будем измерять $T_{\text{ярк}}$, а также будем записывать значения силы тока и напряжения, чтобы вычислить мощность, потребляемую нитью лампы.
6. Результаты представим в виде графиков $W = f_1(T)$ $\ln W = \ln \varepsilon_T B + n \ln T$, т.е. $\ln W = f_2(\ln T)$. Величину n определим как тангенс угла наклона в области высоких температур. Значение ε_T для вольфрама — 0,31. Вычисляем тангенс угла наклона в области высоких температур: $n = 3.941$, что довольно близко к 4.

T	V	I	T'	W	ln(W)			
909	26,94	0,797	1182	21,47118	3,066712	7,074963		
1010	36,21	0,913	1283	33,05973	3,498316	7,156956		
1115	42,39	0,984	1388	41,71176	3,730783	7,235619		
1208	50,51	1,075	1481	54,29825	3,994492	7,300473		
1310	61,08	1,182	1583	72,19656	4,279392	7,367077		
1413	70,65	1,277	1686	90,22005	4,502252	7,430114		
1556	86,32	1,422	1829	122,747	4,810126	7,511525		
1608	98,66	1,524	1881	150,3578	5,013018	7,539559		
1729	107,91	1,602	2002	172,8718	5,15255	7,601902	5,64E-08	6,62507E-34
1837	119,11	1,69	2110	201,2959	5,304776	7,654443	5,32E-08	6,75426E-34
1912	132,04	1,785	2185	235,6914	5,462523	7,689371	5,42E-08	6,71378E-34

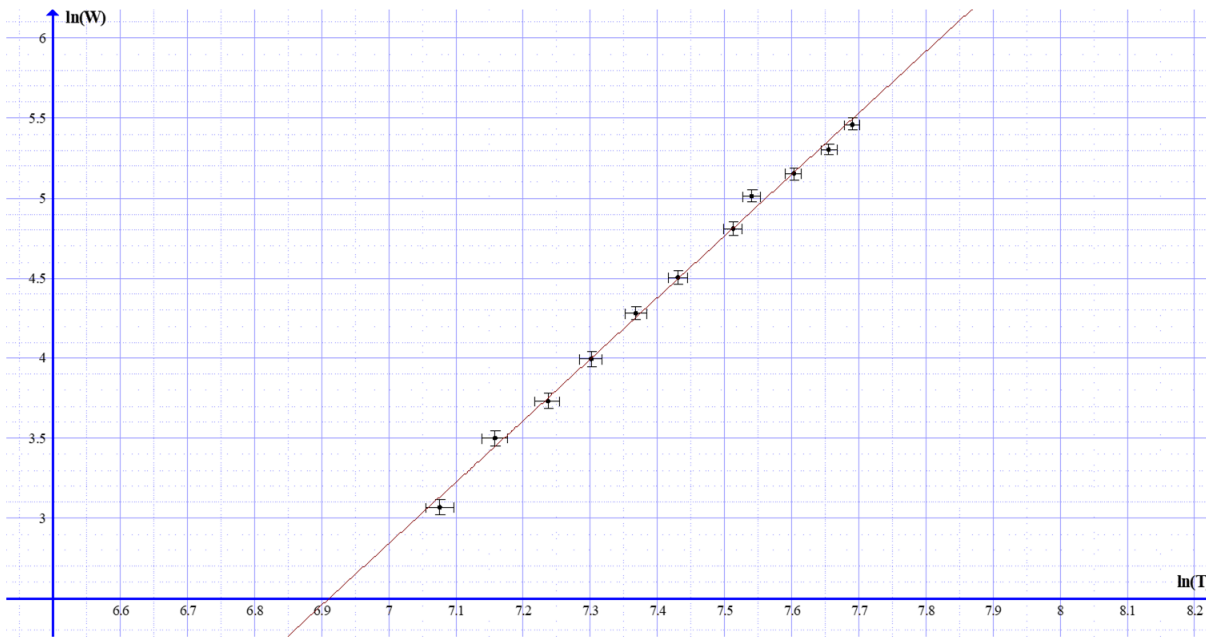


Рис. 1: Зависимость $\ln W = f_2(\ln T)$

7. Для каждого измеренного T вычислим постоянную Стефана-Больцмана по формуле:

$$\sigma = \frac{W}{\varepsilon_T S T^4} \quad (3)$$

где $S = 0.36 \text{ см}^2$, а также постоянную Планка по формуле:

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

Результаты занесли в таблицу: $\bar{\sigma} = 5.46 \cdot 10^{-8}$; $\bar{h} = 6.6977 \cdot 10^{-34}$. Видим, что полученные физические константы близки к табличным (табличная $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-12}$; табличная $h = 6.6254 \cdot 10^{-34}$)

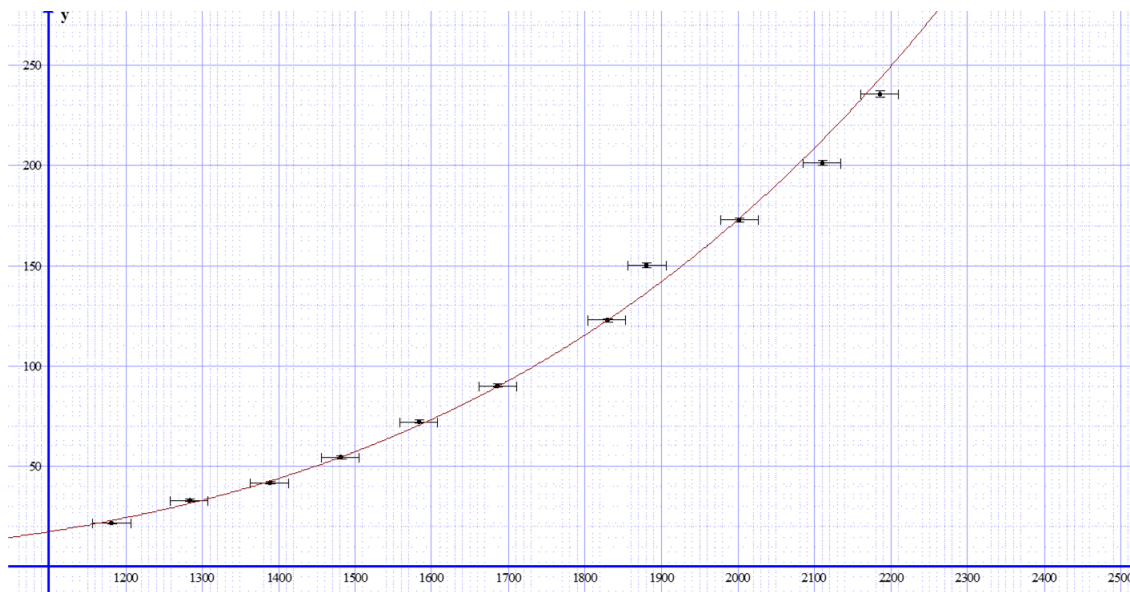


Рис. 2: Зависимость $W = f_1(T)$

Вывод:

При помощи АЧТ провели измерения температуры оптическим пирометром с исчезающей нитью и термопарой. Мы ознакомились с теорией излучения АЧТ, получили значения постоянных Стефана-Больцмана и Планка, которые довольно хорошо соответствуют табличным значениям. $\sigma = (5.46 \pm 0.32) \cdot 10^{-8} \text{Вт м К} ; h = (6.69 \pm 0.11) 10^{-34} \text{Дж с}.$