

Лабораторная работа 5 (4.1)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ СТЕФАНА – БОЛЬЦМАНА

ПРИ ПОМОЩИ ОПТИЧЕСКОГО ПИРОМЕТРА

Ц е л ь р а б о т ы – овнекомление с характеристиками теплового излучения и определение постоянной Стефана–Больцмана.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Известно, что тепловое излучение характеризуется светимостью R , поглощательной способностью a_λ , излучательной способностью ε_λ . Светимость – величина, определяемая количеством энергии, излучаемой единицей поверхности тела в одну секунду. Энергия dE , излучаемая в секунду элементом поверхности dS , равна $dE = R dS$.

Излучательная способность ε_λ характеризуется количеством лучистой энергии, излучаемой в секунду с единицы поверхности излучающего тела и отнесенной к единице спектрального интервала.

Между светимостью и излучательной способностью существует соотношение

$$R = \int_0^\infty \varepsilon_\lambda d\lambda.$$

Поглощательная способность – величина, равная отношению количества энергии dE'_λ , поглощенной телом, к величине энергии dE_λ , падающей на тело, т.е. $a_\lambda = dE'_\lambda / dE_\lambda$.

Величины a_λ и ε_λ являются функциями длины волны и температуры. При изменении температуры тела меняется как его излучательная, так и поглощательная способность. Кирхгоф показал, что между излучательной и поглощательной способностью различных тел существует связь и что отношение излучательной способности к поглощательной является одинаковым для всех тел и рав

но излучательной способности ϵ_{λ} абсолютно чёрного тела:

$$\frac{\epsilon'_{\lambda}}{\alpha'_{\lambda}} = \frac{\epsilon''_{\lambda}}{\alpha''_{\lambda}} = \frac{\epsilon'''_{\lambda}}{\alpha'''_{\lambda}} = f(\lambda, T) = \epsilon_{\lambda}.$$

Под абсолютно чёрным телом подразумевается тело, способное полностью поглощать всякое падающее на него излучение.

Для абсолютно чёрного тела $\alpha_{\lambda} = 1$. В природе абсолютно чёрных тел нет, реальные тела, называемые чёрными, поглощают хорошо только излучение видимой области спектра, да и это излучение поглощается неполностью.

Для реальных тел коэффициент α_{λ} , характеризующий поглощательную способность тел, меньше единицы. Даже сажа, являющаяся наиболее чёрной из земных тел, имеет поглощательную способность, заметно отличную от 1. (Для сажи $\alpha_{\lambda} = 0,99$).

На рис. I представлен график распределения энергии в спектре излучения абсолютно чёрного тела. Из графика видно, что с увеличением температуры излучение растёт и максимум кривой смещается в сторону коротких волн. Светимость $R = \int_0^{\infty} \epsilon_{\lambda} d\lambda$ изменяется пропорционально 4-й степени абсолютной температуры тела $R = \sigma T^4$; т.е. количество энергии, излучаемой в единицу времени с единицы площади поверхности нагретого тела во всем интервале длин волн, пропорционально 4-й степени абсолютной температуры тела. Это соотношение носит название закона Стефана - Больцмана.

Если излучение происходит в среде, имеющей температуру T_0 , то закон Стефана - Больцмана имеет вид

$$R = \sigma (T^4 - T_0^4). \quad (I)$$

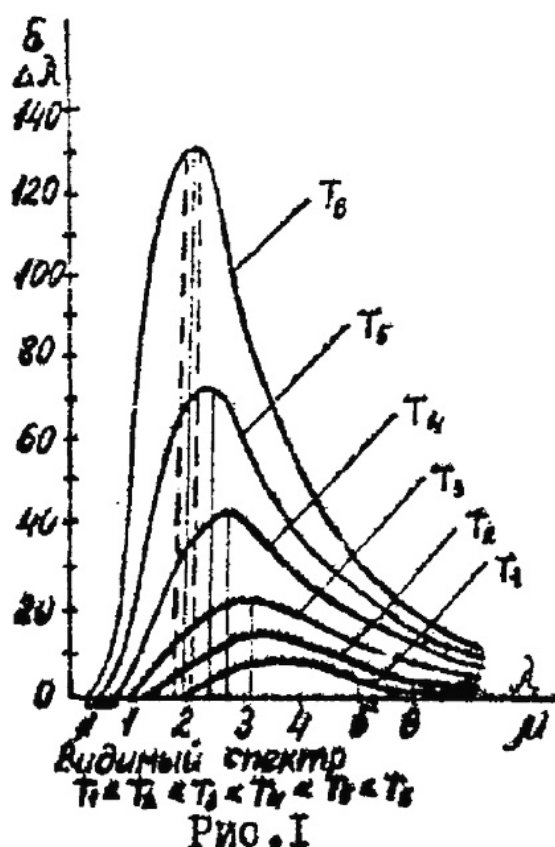
Для реальных тел

$$R = A\sigma (T^4 - T_0^4),$$

где A — коэффициент поглощательной способности данного тела. Для абсолютно черного тела $A = 1$, для реальных тел $A < 1$. Длина волны λ_{max} , на которую приходится максимум излучательной способности, обратно пропорциональна величине абсолютной температуры:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}, \quad (2)$$

где $b = 0,288$ см·град. Это соотношение носит название закона Вина.



Законы излучения абсолютно черных тел можно (с некоторым приближением) применять для характеристики излучения реальных тел. То обстоятельство, что состав излучения и количество излучаемой телом энергии сильно зависят от температуры, позволяет, измеряя излучение нагретых тел, достаточно точно определить их температуру. Прибор для определения температуры тел по его излучению называется оптическим пирометром.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Приборы и принадлежности: оптический пирометр; трансформатор; два реостата; два ключа; электрическая лампочка.

Излучение спирали лампы близко к излучению абсолютно черного тела. Для нагревания спирали лампочки её включают в цепь переменного тока (рис.2)

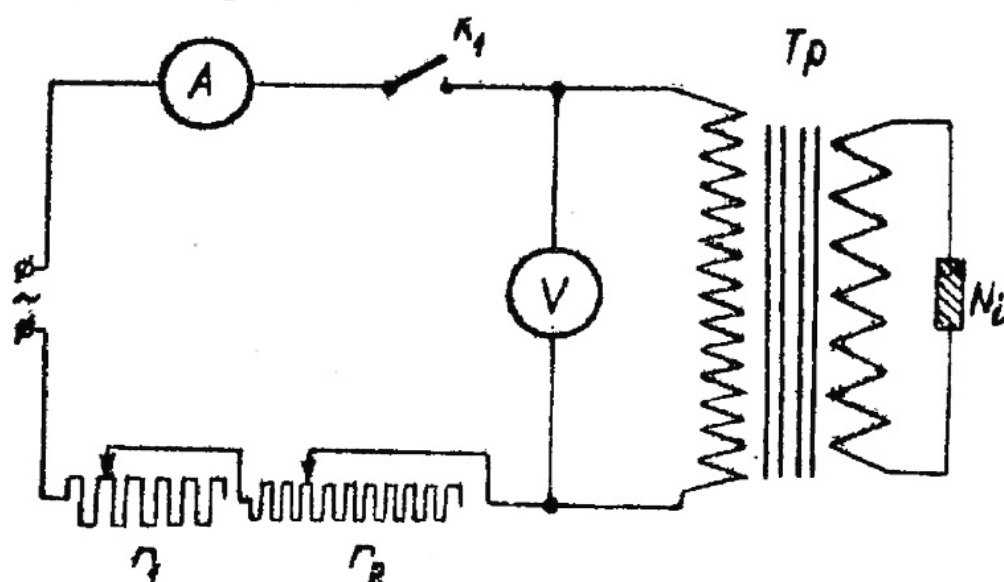


Рис.2

Изменяя реостатом γ , ток I в цепи спирали исследуемой лампочки, получают различную степень её нагрева.

Мощность, затрачиваемую на поддержание спирали в накаленном состоянии, определяют из показаний амперметра A и вольтметра

V . Приравняв эту мощность к количеству энергии, теряемой спиралью за секунду, в соответствии с формулой (1) закона Стефана - Больцмана, получим

$$UI = GS(T^4 - T_0^4), \quad (3)$$

где S - общая поверхность раскалённой исследуемой спирали, равная 10 мм^2 ; T - абсолютная температура пластинки;

T_0 - абсолютная температура окружающей среды.

Из уравнения (3) находим:

$$G = \frac{UI}{S(T^4 - T_0^4)}. \quad (4)$$

Температура накала спирали определяется оптическим пирометром. Определение температуры при помощи оптического пирометра сводится к сравнению интенсивностей излучения испытуемой накаливаемой поверхности с интенсивностью излучения предварительно проградуированной эталонной лампочки, помещенной внутри пирометра.

Общий вид пирометра изображен на рис. 3. Основной частью прибора является зрительная труба, с помещенной внутри нее эталонной лампочкой L . Лампочка L соединяется через реостат R , находящийся в ручке прибора, с источником тока (аккумулятором на 2 вольта). Реостат позволяет регулировать температуру накала нити эталонной лампочки. Объектив трубы O служит для получения резкого изображения поверхности накаливаемого тела в плоскости волоска лампочки L . Это изображение и нить рассматриваются через окуляр K , служащий для увеличения изображения.

Сравнение интенсивностей излучения должно производиться в ограниченной части спектра, поэтому для получения монохроматического света в трубе рядом с окуляром K помещен красный светофильтр F_1 , который вводится на пути лучей, идущих в глаз. С красным светофильтром измеряют температуру от 700° до 1400° С.

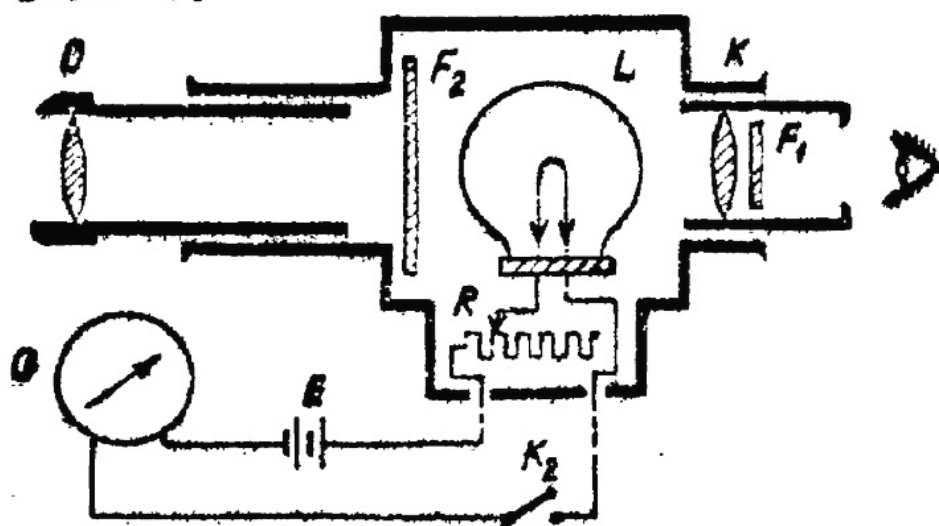


Рис. 3

При измерении больших температур (от 1400°C до 2000°C) на пути лучей, идущих от накаливаемого тела, для уменьшения их интенсивности, вводится дымчатый светофильтр F_2 , помещенный в трубе между объективом и лампочкой. Лампочка L соединена со специальным измерительным прибором B , позволяющим определять температуру, соответствующую данной интенсивности накала нити лампочки. По верхней шкале прибора измеряют температуру от 700°C до 1400°C (при работе с фильтром F_1), по нижней — от 1400°C до 2000°C (при работе с фильтрами F_1 и F_2 вводимыми одновременно).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с пирометром, разобраться в схеме.
2. К исследуемой спирали подвести определенное напряжение (по указанию преподавателя).
3. Ввести монохроматический (красный $\lambda = 6500 \text{ \AA}$) светофильтр и сфокусировать нить пирометра.
4. Направить объектив пирометра на раскаленную спираль лампы и, передвигая тубус объектива, установить резкое изображение спирали (это изображение должно быть в той же плоскости, что и нить лампы пирометра). Смещая немного глаз перед окуляром, можно проверить, выполняется ли это условие. Если проекция нити пирометра не смещается по отношению к изображению исследуемой спирали — установка выполнена правильно.
5. Увеличить накал исследуемой спирали и измерить её температуру при данном накале. Для этого измерить яркость нити лампы пирометра поворотом кольца ростоата до того момента, пока средний участок (вершина дуги) нити лампы не исчезнет на фоне раскаленной исследуемой спирали. В этот момент сделать отсчет температуры t° по шкале температур от 800°C до 1400°C .

6. Снять показания амперметра и вольтметра при данной температуре накала спирали.

7. Подставить в формулу (2) измеренную температуру ($T = 273 + t$), комнатную температуру ($T_0 = 273 + t_0$), площадь пластинки, величину тока I , напряжение U и вычислить значение σ .

За S принимается поверхность равномерно светящейся части спирали исследуемой лампы. Так как T_0^4 составляет лишь 0,5% от T_1^4 , то в знаменателе формулы (4) величиной T_0^4 можно пренебречь.

8. Увеличить накал исследуемой лампы и найти второе значение, снимая соответствующие показания t_1 , I_1 и U_1 .

9. Третье значение σ найти для более высокой температуры (от 1400° до 2000°).

Для измерения температуры в этих пределах необходимо ввести дополнительный дымчатый светофильтр, так как нить лампочки пирометра не должна накаляться свыше 1400° (дымчатый светофильтр ослабляет яркость исследуемой спирали). Температура нити накала пирометра не достигает 1400° С, а отсчет температуры раскаленного тела делают по другой шкале электроизмерительного прибора (от 1400° до 2000°), в которой учтено влияние светофильтра и сделана соответствующая градуировка. Для установки дымчатого светофильтра необходимо белую указательную точку (индекс) на головке пирометра совместить с индексом 20 на корпусе пирометра. При введении дымчатого светофильтра изображение предмета несколько сместится, поэтому линзу объектива надо немного выдвинуть вперед до получения резкости.

Ю. Из полученных значений σ_1 , σ_2 и σ_3 найти среднее значение.

II. Исходя из среднего арифметического, вычислить абсолютную и относительную погрешность.

Все экспериментальные результаты записать в таблицу отсчет по следующей форме:

T_0	T	J	U	σ	$\Delta \sigma$	$\frac{\Delta \sigma_{\text{ср.}}}{\sigma_{\text{ср}}} \cdot 100\%$	$\sigma = \sigma_{\text{ср}} \pm \Delta \sigma_{\text{ср}}$

Среднее значение:

Относительная погрешность одного из измерений определяется по формуле

$$\frac{\Delta \sigma}{\sigma} = \frac{\Delta J}{J} + \frac{\Delta U}{U} + \frac{4T^3 \Delta T}{T^4 - T_0^4} + \frac{4T_0^3 \Delta T_0}{T^4 - T_0^4} + \frac{\Delta S}{S} .$$

Контрольные вопросы

1. Какое излучение называется тепловым?
2. Чем отличается тепловое излучение от других видов излучения.
3. Какое тело называется абсолютно черным?
4. Каким законам подчиняется излучение абсолютно черного тела?
5. Каков принцип действия пирометра с исчезающей нитью?