

Работа № 37

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Цель работы – исследование зависимости энергетической светимости вольфрамового элемента лампы накаливания от температуры. Оценка постоянной Стефана – Больцмана.

Тепловое излучение реальных тел

Энергетическая светимость абсолютно черного тела R_e , т.е. поток энергии теплового излучения с единицы площади черного тела в полу-пространство, пропорциональна четвертой степени температуры:

$$R_e = \sigma T^4. \quad (1)$$

Это утверждение представляет собой закон Стефана – Больцмана. Коэффициент σ в выражении (1) называется постоянной Стефана – Больцмана.

Энергетическая светимость реальных тел R'_e меньше энергетической светимости черного тела. Это связано с тем, что абсолютно черное тело (АЧТ) полностью поглощает падающее на него излучение, тогда как реальная, «серая» поверхность – только частично. В условиях теплового равновесия все потоки энергии через поверхность тела взаимно скомпенсированы. Следовательно, при одной и той же температуре АЧТ излучает сильнее серого тела. Отношение R'_e/R_e называется степенью черноты тела a_T . Для реальных тел

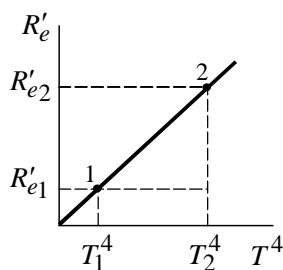


Рис. 1

$$R'_e = a_T \sigma T^4. \quad (2)$$

Степень черноты тела в общем случае может зависеть от температуры. Тогда зависимость R'_e от T^4 не будет строго линейной. Однако

если в рассматриваемом диапазоне температур $a_T \approx \text{const}$, то зависимость R'_e от T^4 будет близка к линейной. Следовательно, для экспериментального определения постоянной Стефана–Больцмана надо измерить ряд значений энергетической светимости R'_e и соответствующих температур T . Если по результатам измерений построить график зависимости R'_e от T^4 и найти угловой коэффициент соответствующей прямой, т.е. отношение $\Delta R'_e / \Delta(T^4)$ (рис. 1), то, зная величину a_T (усредненную в заданном интервале температур), можно найти постоянную σ по формуле

$$\sigma = \frac{1}{a_T} \frac{\Delta R'_e}{\Delta(T^4)}. \quad (3)$$

Описание экспериментальной установки

Измерение энергетической светимости основано на балансе излучаемой мощности

$$P_e = R'_e S. \quad (4)$$

Здесь S – площадь излучающей поверхности; $P = IU$ – электрическая мощность, подводимая к лампе, где I – сила тока, проходящего через лампу; U – напряжение, подаваемое на лампу. В установившемся режиме эти мощности должны быть равны:

$$IU = R'_e S. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что

$$R'_e = \frac{IU}{S}. \quad (6)$$

Напряжение U и ток I измеряются приборами, входящими в установку. Площадь излучаемой поверхности S задается в паспорте установки.

Температура излучающей поверхности в данной работе измеряется прибором, называемым пирометром. Пирометр является дистанционным прибором, позволяющим бесконтактно измерять температуру нагретой поверхности по ее яркости. Принцип действия яркостного

пирометра с так называемой исчезающей нитью заключается в следующем. С помощью объектива O_1 пирометра изображение светящейся поверхности нагретого тела, температуру которого надо определить, совмещается с плоскостью, в которой находится нить H накала пирометра (рис. 2):

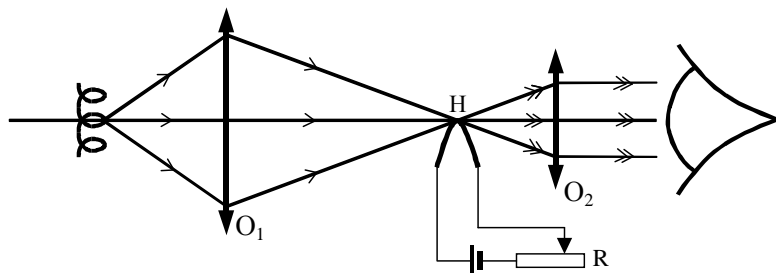


Рис. 2

Через окуляр O_2 наблюдается нить H на фоне светящейся поверхности исследуемого тела. Накал нити с помощью реостата R можно изменять. При некотором положении движка реостата яркость нити становится равной яркости поверхности исследуемого тела. При этом изображение нити пирометра становится неразличимым на фоне поверхности раскаленного тела, т.е. нить как бы «исчезает». Различным температурам раскаленного тела при «исчезновении» нити будут соответствовать различные положения движка реостата, различные значения тока через нить H . Прибор проградуирован по излучению эталонного черного тела.

Если с помощью проградуированного таким образом прибора измерить температуру поверхности тела, которое не является абсолютно черным, то измеренная температура будет отличаться от истинной. Это значение температуры называется *яркостной температурой*. Отличие яркостной температуры от истинной связано с отличием излучательной способности реального тела от излучательной способности черного тела. Если излучательная способность тела известна, то, зная яркостную температуру, можно найти истинную. Ниже приводятся таблица и график (рис. 3) зависимости истинной температуры T от яркостной T_y для вольфрама.

$T_{я}, ^\circ\text{C}$	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000
$T, ^\circ\text{C}$	840	950	1060	1170	1280	1400	1510	1740	1970	2210

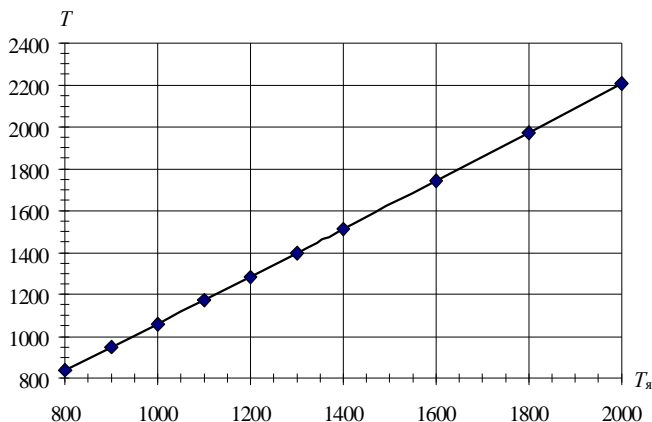


Рис. 3

Излучательная способность тел зависит от длины волны, поэтому различие яркостной и истинной температур также зависит от области длин волн, в которой ведется наблюдение «исчезновения» нити. Представленные данные рассчитаны для $\lambda = 0,65$ мкм (красный свет), поэтому наблюдения рекомендуется проводить с красным светофильтром. Более подробно оптическая схема пирометра и энергетика световых пучков рассмотрены в [3].

Если по данным таблицы построить график зависимости T от $T_{я}$, то этим графиком можно будет пользоваться для нахождения истинной температуры для любых промежуточных значений T .

Задания

1. Сформулировать правило выбора температурных точек так, чтобы на оси T^4 эти точки располагались достаточно равномерно. Например, определить, при каких значениях T/T_{\max} :

$$\left(\frac{T}{T_{\max}} \right)^4 \approx \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}.$$

2. Измерить яркостные температуры вольфрамового элемента лампы накаливания и соответствующие значения напряжения и тока лампы. (Количество точек задается преподавателем.)
3. Произвести перерасчет яркостных температур в истинные, построив предварительно график зависимости T от $T_{я}$.
4. Рассчитать значения энергетической светимости R'_e вольфрамового элемента.
5. Построить график зависимости R'_e от T^4 .
6. Если зависимость близка к линейной, то определить угловой коэффициент наклона прямой $\Delta R'_e / \Delta(T^4)$.
7. Оценить величину постоянной Стефана–Больцмана.

Контрольные вопросы

1. Что такое тепловое излучение?
2. Что такое энергетическая светимость тела?
3. Какое тело называют абсолютно черным?
4. Что такое степень черноты тела?
5. В чем заключается закон Стефана–Больцмана?
6. Как измерить температуру оптическим пирометром?
7. Что такое яркостная температура и почему она отличается от истинной?
8. Как, зная яркостную температуру вольфрама, найти температуру истинную?

Литература

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 5 кн. Кн 5. – М.: Астрель, 2001 (§ 1.1, 1.4, 1.6).
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1997 (§ 197, 199, 201).
3. *Суханов И.И.* Геометрическая и дифракционная теория оптического изображения: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 92 с.