

Работа № 38

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ СТЕФАНА–БОЛЬЦМАНА

Цель работы – экспериментальная оценка величины постоянной Стефана–Больцмана с использованием законов теплового излучения. Сравнение ее с табличным значением.

Теория эксперимента

Закон Стефана–Больцмана, описывающий зависимость энергетической светимости абсолютно черного тела от температуры T , был экспериментально установлен Стефаном. Больцман исходя из термодинамических соображений получил соответствующее выражение теоретически. Оно имеет вид

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

где R_e – энергетическая светимость абсолютно черного тела, т.е. поток энергии с единицы поверхности тела ($\text{Вт}/\text{м}^2$); σ – постоянная Стефана–Больцмана.

Энергетическая светимость реальных тел R'_e всегда меньше энергетической светимости абсолютно черного тела R_e . Отношение R'_e/R_e обозначим символом a_T и назовем степенью черноты тела. Тогда для реального тела

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

Мощность электромагнитного излучения нагретого тела можно определить по формуле

$$P_e = a_T \sigma T^4 S, \quad (3)$$

где S – площадь излучающей поверхности.

Для того чтобы поддерживать стационарный режим, когда тело в процессе излучения не охлаждается, к нему необходимо непрерывно подводить тепловую энергию. Если тепло подводится за счет протекания электрического тока, то должно выполняться равенство

$$IU = a_T \sigma T^4 S, \quad (4)$$

где I – сила тока; U – напряжение. В настоящей работе излучающим телом является вольфрамовая нить лампочки накаливания.

Для дистанционного измерения температуры раскаленных тел обычно используются приборы, называемые пирометрами. Однако в предлагаемом методе можно обойтись без непосредственного измерения температуры.

Сопротивление вольфрамовой нити лампочки накаливания зависит от температуры. Из эксперимента известно, что эта зависимость в области температур свечения лампочки близка к линейной и может быть представлена формулой

$$R(T) = \alpha TR_0 - \beta R_0, \quad (5)$$

где R_0 – сопротивление лампочки при 20 °С. Значения коэффициентов α и β , полученные на основании опубликованных экспериментальных данных по зависимости удельного сопротивления вольфрама от температуры, даны в паспорте установки. По закону Ома

$$I = \frac{U}{R(T)} = \frac{U}{\alpha TR_0 - \beta R_0}. \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что

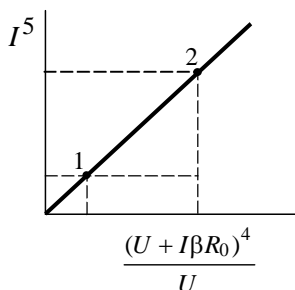
$$T = \frac{U + I\beta R_0}{I\alpha R_0},$$

$$T^4 = \frac{(U + I\beta R_0)^4}{I^4 \alpha^4 R_0^4}. \quad (7)$$

Подставив значение T^4 из формулы (7) в формулу (4), можно получить следующее выражение:

$$I^5 = \frac{a_T \sigma S}{(\alpha R_0)^4} \frac{(U + I\beta R_0)^4}{U}. \quad (8)$$

Если степень черноты тела в области температур свечения лампочки от температуры зависит слабо, то зависимость I^5 от $(U + I\beta R_0)^4 / U$, описываемая выражением (8), должна быть практически линейной. График такой зависимости показан на рисунке.



Угловой коэффициент наклона прямой, изображенной на рисунке, равен

$$K = \frac{\Delta(I^5)}{\Delta\left(\frac{(U + I\beta R_0)^4}{U}\right)} = \frac{a_T \sigma S}{(\alpha R_0)^4}. \quad (9)$$

Если по измеренным значениям силы тока I и напряжения U построить график и определить K , то постоянную Стефана–Больцмана можно оценить по формуле

$$\sigma = \frac{(\alpha R_0)^4}{a_T S} K. \quad (10)$$

Значения a_T , R_0 , S , α , β должны быть заданы в паспорте установки.

Задания

1. Сформулировать правило выбора значений тока, так чтобы на оси I^5 эти значения располагались равномерно. Например, опреде-

лить, при каких значениях I/I_{\max} :

$$\left(\frac{I}{I_{\max}}\right)^5 \approx \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}.$$

2. Измерить ряд значений силы тока I и соответствующих значений напряжения U в пределах, указанных в паспорте установки.
3. Построить график зависимости I^5 от $(U + I\beta R_0)^4/U$.
4. По графику определить коэффициент наклона прямой k .
5. По формуле (10) оценить величину постоянной Стефана–Больцмана σ .
6. Полученный результат сравнить с табличным значением.

Контрольные вопросы

1. Какова цель работы?
2. Какое излучение называется тепловым?
3. Что такое энергетическая светимость?
4. При каком условии температура святающегося тела остается постоянной.
5. Какие допущения были сделаны при выводе формулы (10)?

Литература

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 5 кн. Кн. 5. – М.: Астрель, 2001 (§ 1.1 и 1.4).
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1997 (§ 197 и 199).