

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы 3.3.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ\***

---

\*Степанова Л.Ф., Рябов С.Е., Некрасов В.В., Добрынина В.В. Квантовая оптика: Методические указания к выполнению лабораторных работ по физике. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1988. – 32с.

Цель работы - выяснение зависимости энергетической светимости вольфрамовой нити накала лампы от температуры.

### Теоретические положения

Излучение света нагретым телом сопровождается превращением тепловой энергии, в энергию электромагнитного излучения. Количество и спектральный состав излучения определяются природой тела и его температурой. Основной количественной характеристикой теплового излучения тела является его энергетическая светимость  $R$ . Это энергия излучения, испускаемая единицей поверхности тела за единицу времени. В интервале волн от  $\lambda$  до  $\lambda+d\lambda$  энергетическая светимость пропорциональна величине этого интервала:

$$dR_{\lambda,T} = r_{\lambda,T} d\lambda, \quad (1)$$

где  $r_{\lambda,T}$  – спектральная плотность энергетической светимости (излучательная способность) тела.

Как и энергетическая светимость, спектральная плотность энергетической светимости сильно зависит от температуры тела. Энергетическая светимость связана с испускательной способностью следующим выражением:

$$R = \int dR_{\lambda,T} = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda. \quad (2)$$

Важной характеристикой является также спектральная поглощательная способность тела  $a_{\lambda,T}$ , которая зависит от длины волны и температуры. Это безразмерная величина, показывающая долю поглощенной энергии от энергии излучения, падающей на тело в узком диапазоне длин волн вблизи заданной длины волны:

$$a_{\lambda,T} = \frac{d\Phi_{\lambda \text{ погл}}}{d\Phi_{\lambda \text{ пад}}}. \quad (3)$$

Для тела, полностью поглощающего падающее на него излучение всех частот (всех длин волн),  $a_{\lambda,T} = 1$ . Такое тело называется абсолютно черным. Для реальных тел  $a_{\lambda,T} < 1$ .

Между спектральной плотностью энергетической светимости и спектральной поглощательной способностью любого тела имеется связь, установленная Кирхгофом: отношение спектральной плотности энергетической светимости к спектральной поглощательной способности не зависит от природы тела и является для всех тел одной и той же (универсальной) функцией длины волны (частоты) и температуры (функцией Кирхгофа):

$$\frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = f(\lambda,T) = r_{0\lambda,T}, \quad (4)$$

где  $r_{0\lambda,T}$  – спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела.

Согласно гипотезе Планка излучение света происходит не непрерывно, а отдельными порциями – квантами. Энергия кванта света:

$$\varepsilon = h \cdot \nu = h \frac{c}{\lambda}, \quad (5)$$

где  $h$  – постоянная Планка, Дж·с;

$\nu$  – частота колебаний,  $c^{-1}$ ;

$c$  – скорость света в вакууме, м/с.

Исходя из этой гипотезы, Планк получил функцию распределения энергии излучения абсолютно черного тела по длинам волн в следующем виде:

$$f(\lambda,T) = r_{0\lambda,T} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{(c_2/\lambda T)} - 1}, \quad (6)$$

где  $c_1, c_2$  – универсальные постоянные величины,  $c_1 = 2\pi c^2$ ,  $c_2 = \frac{hc}{k}$ ,

$k$  – постоянная Больцмана,  $c$  – скорость света в вакууме.

Функция (6) получила название формулы Планка. Подставив ее в выражение (2), получаем закон Стефана-Больцмана:

$$R_0 = \sigma \cdot T^4, \quad (7)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

Выражение (7) справедливо для абсолютно черного тела. Для не черных тел закон Стефана-Больцмана не выполняется.

Для каждого реального излучателя опытным путем находят закон излучения. Общим для всех излучателей является рост энергетической светимости с повышением температуры.

В общем виде этому закону можно придать вид

$$R = \beta \cdot T^n, \quad (8)$$

где  $\beta, n$  – коэффициенты, зависящие от температуры (разные для различных тел).

Как показывает опыт, в сравнительно узком температурном интервале, эти коэффициенты можно с некоторым приближением считать постоянными. Для установления закона излучения данного тела в исследуемом температурном интервале необходимо найти экспериментальные значения  $\beta$  и  $n$ .

## Экспериментальная установка

В опыте необходимо измерить количество излучаемой энергии и температуру излучателя. Излучатель – вольфрамовая нить лампочки накаливания. Приемником лучистой энергии служит термостолбик, который представляет собой батарею последовательно соединенных термопар. На горячие спаи термопар падает поток лучистой энергии, которая превращается в тепловую, и нагревает данные спаи. Холодные контакты термопар защищены от лучистого потока и находятся при комнатной температуре  $T_0$ . Термостолбик подключен к микроамперметру  $\mu\text{A}$ , который регистрирует возникающий термоток.

Термостолбик - неселективный приемник энергии (в отличие от фотоэлемента). Его показания определяются только количеством падающей энергии и не зависят от спектрального состава лучистого потока. Обозначив через  $U$  мощность падающего на термостолбик излучения, можно написать  $i \sim U$  (где  $i$  – термоток). Ширина щели, ограничивающей поток световой энергии от лампочки, и расстояние  $l$  от лампочки до термоэлемента остаются постоянными во время опыта, поэтому.  $U \sim R$  (где  $R$  – энергетическая светимость нити лампочки). Следовательно, термоток и энергетическая светимость связаны простым соотношением

$$i = KR. \quad (9)$$

Используя уравнение (8), последнему выражению можно придать следующий вид:

$$i = K\beta T^n = \beta_0 \cdot T^n, \quad (10)$$

где  $\beta_0 = K \cdot \beta$  - новая постоянная.

Прологарифмируем выражение (10):

$$\ln i = \ln \beta_0 + n \ln T. \quad (11)$$

При постоянных  $\beta_0$  и  $n$  между величинами  $\ln i$  и  $\ln T$  будет линейная зависимость. Искомая величина  $n$  будет являться угловым коэффициентом прямой в координатах  $\ln i$  и  $\ln T$ . На такой прямой удобно взять две точки, соответствующие  $\ln i_1, \ln T_1$ , и  $\ln i_2, \ln T_2$ . Для этих точек можно написать систему уравнений:

$$\begin{cases} \ln i_1 = \ln \beta_0 + n \ln T_1, \\ \ln i_2 = \ln \beta_0 + n \ln T_2. \end{cases}$$

Вычитая одно уравнение из другого, можно найти  $n$ :

$$n = \frac{\ln i_1 - \ln i_2}{\ln T_1 - \ln T_2}. \quad (12)$$

Величины  $\ln \beta_0$  и  $\beta_0$  можно определить из любого уравнения приведенной выше системы.

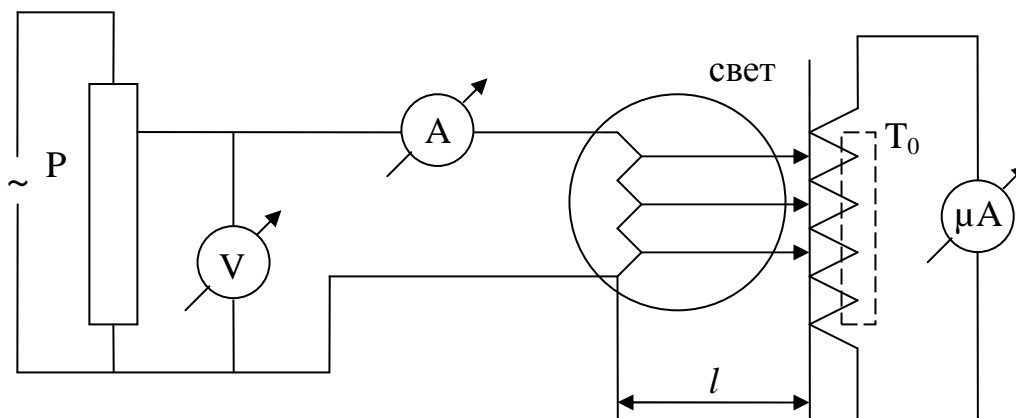


Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

Для проведения исследования используется установка, принципиальная схема которой приведена на рисунке 1. Напряжение подается на лампу с потенциометра  $P$  и контролируется вольтметром  $V$ . Накальный ток через нить лампы определяется амперметром  $A$ . Справа от лампы на расстоянии  $l$  помещен термостолбик, подключенный к микроамперметру  $\mu A$ .

Температура нити накала определяется из знакомой зависимости сопротивления металлического проводника от температуры

$$r_t = r_0(1 + \alpha \cdot t), \quad (13)$$

где  $r_t$  - сопротивление нити накала при температуре  $t$  (по шкале Цельсия), Ом;

$r_0$  - сопротивление при  $t = 0^\circ C$ , Ом (См. на стойке прибора);

$\alpha$  - температурный коэффициент вольфрама,  $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ .

Сопротивление  $r_t$  можно определить из закона Ома:

$$r_t = \frac{U}{I}.$$

### Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

1. Включить лампу и с помощью потенциометра подать на нее напряжение 220 В. Ток  $i$ , регистрируемый микроамперметром, медленно возрастает по мере нагревания горячих спаев термостолбика до определенной величины. Через 2 - 3 минуты, после установки стрелки микроамперметра на определенном значении, записать в таблицу показания вольтметра  $U$ , амперметра  $I$ , микроамперметра  $i$ .

2. Провести серию аналогичных измерений, уменьшая напряжение каждый раз на 10 В до 100 В.

3. Заполнить таблицу для различных напряжений и рассчитать следующие величины:  $r_t$ ;  $t$ ;  $T = t + 273K$ ;  $\ln i$ ;  $\ln T$ .

Таблица 1 – Результаты измерений

№ п/п	$U$ , В	$I$ , А	$i$ , мкА	$r_t$ , Ом	$t$ , °С	$T$ , К	$\ln i$	$\ln T$

4. Построить график зависимости  $\ln i$  от  $\ln T$ . Выбрать на прямой две достаточно удаленные точки, по которым определить  $n$  по формуле (12).

5. Вычислить  $\ln \beta_0$ ,  $\beta_0$  и записать уравнение (10).

6. Вычислить относительную и абсолютную погрешности при определении температуры для одного значения.

Относительную погрешность можно определять следующим образом:

$$t = \frac{r_t - r_0}{\alpha \cdot r_0} = \frac{r_t}{\alpha \cdot r_0} - \frac{1}{\alpha} = \frac{U}{\alpha \cdot r_0 \cdot I} - \frac{1}{\alpha}.$$

Погрешность в определении  $t$  зависит от погрешности измеряемых величин  $U$ ,  $I$ ,  $r_0$  (при этом величину  $\alpha$  считать точной):

$$\frac{\Delta t}{t} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_0}{r_0}\right)^2}.$$

Значения  $\Delta U$  и  $\Delta I$  определяются классом точности приборов,  $\Delta r_0 = 0,5$  Ом.

### Контрольные вопросы

1. Изобразить качественно график распределения энергии в спектре излучения абсолютно черного тела. Пояснить физический смысл ординат и площади под кривой функции распределения.

2. Сформулировать основные законы излучения абсолютно черного тела.

3. Сформулировать закон Кирхгофа, показать, что энергетическая светимость абсолютно черного тела больше, чем реального при одинаковых температурах.

4. Определить длину волны, соответствующую максимуму излучения абсолютно черного тела, температура которого совпадает с температурой нити накала лампы, при  $U = 200$  В.