

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

## **ПРАКТИКУМ ПО ОПТИКЕ И АТОМНОЙ ФИЗИКЕ**

Учебно-методическое пособие для вузов

Издательско-полиграфический центр  
Воронежского государственного университета  
2009

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| 1. Определение постоянной в законе Стефана – Больцмана<br>при помощи оптического пирометра.....      | 4  |
| 2. Изучение внешнего фотоэффекта.....  | 11 |
| 3. Изучение явления вращения плоскости колебаний<br>плоскополяризованного света.....                 | 17 |
| 4. Определение показателей преломления жидкостей с помощью<br>рефрактометра .....                    | 23 |
| 5. Определение длины световой волны с помощью<br>колец Ньютона.....                                  | 29 |
| 6. Определение длины световой волны при помощи<br>дифракционной решетки .....                        | 37 |
| 7. Изучение работы монохроматора и его градуировка .....   | 43 |
| 8. Изучение спектра испускания атома водорода и определение<br>некоторых внутриатомных констант..... | 48 |
| 9. Приложение. Изучение нониусов.....  | 54 |

нечный интервал всевозможных длин волн и изображается для температуры  $T_1$  на рис. 1 всей заштрихованной площадью под кривой  $u_{\lambda T}$ . С ростом температуры увеличивается интенсивность теплового движения частиц тела и возрастает энергия, излучаемая телом как на данной длине волны  $\lambda$ , так и во всем интервале длин волн. Поэтому при  $T_3 > T_2 > T_1$  поднимается вся спектральная кривая  $u_{\lambda T}$  теплового излучения, как показано на рис. 1.

Однако объяснить рассмотренную зависимость спектральной плотности излучения от длины волны долгое время не удавалось. Полученные в рамках классической физики закон Вина хорошо совпадал с экспериментом в коротковолновой области, а закон Релея – Джинса, наоборот, давал хорошее совпадение в длинноволновой части спектра.

Формула для спектральной плотности равновесного излучения, хорошо согласующаяся с опытом при всех длинах волн, была получена Планком в 1900 г. Оказалось, что для теоретического вывода этой формулы необходима гипотеза, коренным образом противоречащая представлениям классической физики. Планк предположил, что энергия колебаний атомов или молекул может принимать не любые, а только вполне определенные дискретные значения ( $E = h\nu$ ), отделенные друг от друга конечными интервалами. Это означает, что энергия не непрерывна, а квантуется, т. е. существует лишь в строго определенных дискретных порциях. Наименьшая порция энергии  $E = h\nu$  называется квантом энергии.

Формула Планка может быть записана или через частоту  $\nu$  или через длину волны  $\lambda$  ( $\nu = c/\lambda$ ):

$$u_{\nu T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (5)$$

$$u_{\lambda T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}. \quad (6)$$

Все известные ранее законы теплового излучения могут быть получены из формулы Планка.

Закон Стефана – Больцмана определяет полную энергию излучения. Для получения полной энергии надо проинтегрировать выражение (6) по всем длинам волн:

$$R = \int_0^\infty u_{\lambda T} d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} \cdot T^4, \quad \text{или} \quad R = \sigma T^4. \quad (7)$$

Полная энергия, излучаемая абсолютно черным телом за одну секунду, пропорциональна четвертой степени температуры.

Константа  $\sigma$  в формуле (7) называется постоянной Стефана – Больцмана и измеряется в Дж/(м<sup>2</sup>·с·К<sup>4</sup>) или в Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

Очевидно, что суммарная энергия излучения по всем длинам волн, испускаемая площадкой  $S$  абсолютно черного тела, равна:

$$R = \sigma T^4 S.$$

Из формулы Планка можно сделать вывод о распределении энергии излучения абсолютно черного тела по длинам волн.

Максимум спектральной плотности излучения можно определить, если продифференцировать выражение (6) и приравнять к нулю:

$$\frac{dr_{\lambda T}}{d\lambda} = 0,$$

что приводит к двум законам Вина:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (8)$$

$$u_{\lambda T} = c_1 T^5, \quad (9)$$

где  $b$  и  $c_1$  – численные постоянные.

Иными словами, длина волны, на которую приходится максимум интенсивности излучения, обратно пропорциональна температуре (8) и, следовательно, максимум излучения с увеличением температуры смещается в сторону коротких длин волн (1-й закон Вина).

Максимальная интенсивность излучения (9) пропорциональна пятой степени температуры (2-й закон Вина).

Графически законы Стефана – Больцмана и Вина представлены на рис. 1, из которого следует, что количество излучаемой телом энергии зависит от температуры.

Если известна длина волны  $\lambda_{\max}$ , соответствующая максимуму интенсивности излучения тела, то, используя 1-й закон Вина, можно определить температуру тела. Определенная таким образом температура называется его цветовой температурой.

Используя закон Стефана – Больцмана, можно определить энергетическую или радиационную температуру тела. Измерение этой температуры основано на излучении интегральной интенсивности излучения, т. е. полной энергий излучения  $R$ .

Из закона Стефана – Больцмана следует, что количество тепловой энергии, передаваемое единицей поверхности абсолютно черного тела, находящегося при температуре  $T_1$ , в окружающую среду, имеющую температуру  $T_2$  (если среду можно рассматривать как абсолютно черное тело), равно:

$$R = R(T_1) - R(T_2) = \sigma(T_1^4 - T_2^4). \quad (10)$$

Излучение всех остальных тел подчиняется такой же закономерности.

Метод определения температуры раскаленных тел по спектру излучения на основе использования законов теплового излучения называется оптической пирометрией. Соответствующие приборы называются оптическими пирометрами.

## Описание установки и оптического пирометра

Целью данной работы является определение постоянной  $\sigma$  в законе Стефана – Больцмана. Исследуемым телом, которое считается абсолютно черным, является вольфрамовая спираль лампы, нагреваемая электрическим током. Электрическая схема установки показана на рис. 2.

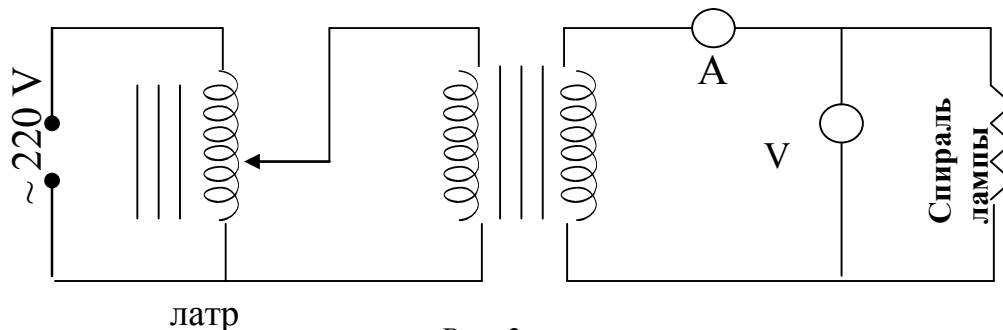


Рис. 2

Напряжение от сети через латр (лабораторный автотрансформатор) и понижающий трансформатор подается на спираль лампы. С помощью латра можно менять ток и напряжение на спирали лампы, которые измеряются включенными в цепь амперметром и вольтметром.

Мощность, затрачиваемая на поддержание единицы площади спирали в накаливаемом состоянии, будет равна:

$$W = \frac{IU}{2S}, \quad (11)$$

где  $I$  — сила тока в цепи лампы,  $U$  — падение напряжения на спирали лампы,  $S$  — площадь спирали ( $2S$ , т. к. спираль излучает в обе стороны).

$$I \cdot U = 2\sigma S(T_1^4 - T_2^4).$$

Приравняв эту мощность количеству энергии, теряемой спиралью за 1 секунду, в соответствии с законом Стефана – Больцмана (9) получим формулу (12):

$$\sigma = \frac{I \cdot U}{2S(T_1^4 - T_2^4)}, \quad (12)$$

в которой  $T_1$  — температура спирали,  $T_2$  — температура окружающей среды.

Для измерения температуры спирали лампы служит оптический пирометр с «исчезающей нитью», измеряющий яркостную температуру тела. Определение температуры сводится к сравнению яркости излучения исследуемого тела (в нашем случае спираль лампы — 1,

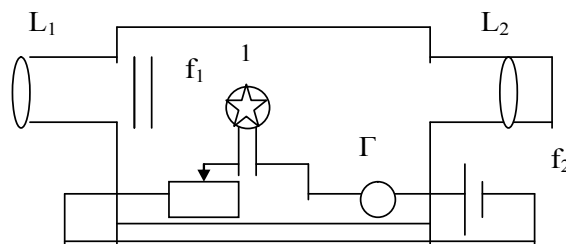


Рис. 3