

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра физики и методики преподавания физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ СТЕФАНА-БОЛЬЦМАНА

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в образовательные области «Математические и естественные науки» и «Инженерное дело, технологии и технические науки»

Оренбург
2019

УДК 536(076.5)

ББК 22.317я7

О62

Рецензент – доктор физико-математических наук, профессор Н.А Манаков.

Авторы: В.Н. Макаров, П.П. Неясов, А.Г. Четверикова, Е.В. Волков

О62 Определение значения постоянной Стефана-Больцмана: методические указания/ В.Н. Макаров, П.П. Неясов, А.Г. Четверикова, Е.В. Волков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019.

Методические указания к лабораторной работе по физике включают в себя описание основных положений методики косвенного определения постоянной Стефана-Больцмана.

Методические указания предназначены для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в образовательные области «Математические и естественные науки» и «Инженерное дело, технологии и технические науки».

УДК 536(076.5)

ББК 22.317я7

© Макаров В.Н.,
Неясов П.П.
Четверикова А.Г.,
Волков Е.В., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Цель работы	4
1 Теоретическая часть	4
2 Методика эксперимента.....	12
3 Порядок выполнения работы	15
4 Методика математической обработки результатов	17
5 Вопросы для самопроверки	19
6 Литература, рекомендуемая для изучения	20

Цель работы

1. Установить температурную зависимость потока теплового излучения для тела близкого к абсолютно черному телу.
2. Определить значения постоянной Стефана-Больцмана.

1 Теоретическая часть

Любые тела, имеющие абсолютную температуру выше нуля ($T > 0\text{K}$), излучают электромагнитные волны.

Тепловое излучение – это электромагнитное излучение, возникающее за счет внутренней (тепловой) энергии тела, т.е. энергии теплового движения его молекул.

Излучение или свечение тел, возникающее за счет других видов энергии отличных от тепловой, называется люминесцентным и далее рассматриваться не будет.

Тепловое излучение имеет сплошной спектр. Спектральный состав и интенсивность излучения зависят от температуры тела. По мере роста температуры увеличивается интенсивность излучения, а максимум интенсивности сдвигается в область более коротких длин волн. При температурах более 900 К наблюдается свечение в видимой области. Таким образом, в спектре излучения наблюдается неравномерное распределение энергии между различными длинами волн.

Тепловое излучение – единственный вид излучения, способный находиться в термодинамическом равновесии с веществом. Такое состояние термодинамического равновесия устанавливается в термоизолированной системе тел с одинаковой температурой. В равновесном состоянии энергия, поглощаемая телом за единицу времени, теряется за счет излучения за тот же промежуток времени, поэтому температура тела остается постоянной.

Для количественного описания теплового излучения вводятся интегральные

и спектральные физические величины. Интегральные величины характеризуют тепловое излучение по всему диапазону длин волн $\lambda \in (0, \infty)$. К интегральным характеристикам относятся:

– *поток энергии излучения или мощность излучения* Φ_s , Вт – количество энергии W , излучаемой всей поверхностью тела за единицу времени t :

$$\Phi_s = \frac{W}{t}; \quad (1.1)$$

– *энергетическая светимость или излучательная способность* R , Вт/м² – мощность излучения Φ_s , испускаемого с единицы площади поверхности тела S :

$$R = \frac{\Phi_s}{S}. \quad (1.2)$$

Для описания плотности распределения энергии теплового излучения по всему спектру вводятся спектральные характеристики.

Спектральная плотность энергетической светимости R_λ , Дж/м² – энергетическая светимость в интервале длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, т.е. мощность излучения с единицы площади поверхности тела в узком участке спектра шириной $d\lambda$:

$$R_\lambda = \frac{dR}{d\lambda}. \quad (1.3)$$

Суммируя спектральную плотность энергетической светимости по всем длинам волн можно получить энергетическую светимость

$$R = \int_0^{\infty} R_\lambda d\lambda. \quad (1.4)$$

Способность тел поглощать падающее на них излучение характеризуется *спектральной поглощательной способностью (коэффициентом поглощения)*

$$A_\lambda = \frac{d\Phi_{\text{погл}}}{d\Phi}, \quad (1.5)$$

показывающей, какая доля падающего на тело потока излучения в интервале длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, поглощается телом. Коэффициент поглощения A_λ является безразмерной величиной и изменяется в диапазоне от 0 до 1. Из опыта известно,

что величины R_λ и A_λ зависят от длины волны теплового излучения, температуры тела, его химического состава и состояния поверхности.

Для тела, полностью поглощающего при любой температуре T всю падающую на него энергию теплового излучения любой длины волны λ , коэффициент поглощения $A_\lambda = 1$. Такое тело немецкий физик Г. Кирхгоф назвал абсолютно черным телом (АЧТ).

Абсолютно черных тел в природе не существует. Некоторые тела (сажа, платиновая чернь, черный бархат, vantablack) в видимом диапазоне длин волн близки по свойствам к абсолютно черному телу.

Моделью абсолютно черного тела может служить замкнутая полость большого радиуса с небольшим отверстием и непрозрачными стенками (рисунок 1.1). Излучение, проникшее внутрь полости сквозь отверстие, испытывает многократные отражения от стенок, прежде чем выйдет обратно из отверстия. При каждом отражении происходит частичное поглощение энергии, в результате чего практически все излучение любой длины волны поглощается такой полостью. Эта модель тем ближе по характеристикам к АЧТ, чем больше отношение площади поверхности полости к площади отверстия.

Жидкие и твердые тела отражают часть падающего излучения и не являются абсолютно черными телами, поэтому их поглощательная способность $A < 1$. Серым называют непрозрачное тело, коэффициент поглощения которого $0 < A < 1$ не зависит ни от направления падающего излучения, ни от его спектрального состава. Большинство твердых тел можно рассматривать в качестве серых. Например, тело человека моделируют серым, имеющим $A \approx 0,9$ для инфракрасной области спектра.

Рассматриваемые ниже законы теплового излучения строго справедливы лишь для АЧТ и с определенной погрешностью (коэффициентом поглощения серого тела) используются для реальных твердых тел. Указанием того, что законы теплового излучения применяются к АЧТ является использование строчных букв вместо прописных: $R(AЧТ) = r$, $A_\lambda(AЧТ) = a_\lambda$ и т.д.

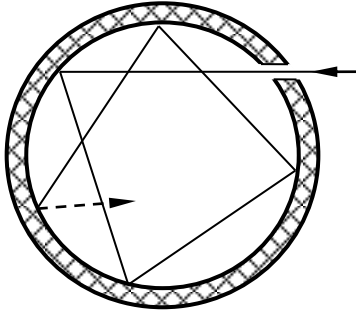


Рисунок 1.1 – Модель абсолютно черного тела (АЧТ)

Качественная связь между излучением и поглощением тел была установлена Г. Кирхгофом в 1859 году.

Закон Кирхгофа: для любого тела независимо от его природы отношение спектральной плотности энергетической светимости к спектральной поглотительной способности равно спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела при той же температуре и длине волны

излучения:

$$\frac{R_{\lambda}}{A_{\lambda}} = r_{\lambda}. \quad (1.6)$$

Сами величины R_{λ} и A_{λ} могут меняться в широких пределах при переходе от одного тела к другому, однако, их отношение по результатам экспериментов оказывается одинаковым для системы любых тел (в том числе и для абсолютно черного тела), находящихся в состоянии теплового равновесия между собой, т.е.,

$$\frac{R_{\lambda_1}}{A_{\lambda_1}} = \frac{R_{\lambda_2}}{A_{\lambda_2}} = \dots = \frac{R_{\lambda_i}}{A_{\lambda_i}} = \dots = \frac{r_{\lambda}}{a_{\lambda}}. \quad (1.7)$$

Так как для абсолютно черного тела поглотительная способность $a_{\lambda} \equiv 1$, то из (1.7) получаем формулу (1.6).

Из закона Кирхгофа следует, что спектральная плотность энергетической светимости любого тела в любой области спектра всегда меньше аналогичной величины абсолютно черного тела, т.е. $A_{\lambda} < a_{\lambda}$. Кроме того, из (1.6) следует, что тело, слабо поглощающее тепловое излучение в каком либо диапазоне длин волн, также слабо излучает энергию в этом диапазоне.

Закон Стефана-Больцмана: энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры:

$$R = \alpha \cdot r = \alpha \cdot \sigma T^4, \quad (1.8)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ – постоянная Стефана-Больцмана, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$;

α - коэффициент поглощения серого тела или «коэффициент серости».

Экспериментальные исследования показывают, что распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела является неравномерным.

На рисунке 1.2 представлены зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела от длины волны $r_\lambda = f(\lambda)$ для различных температур.

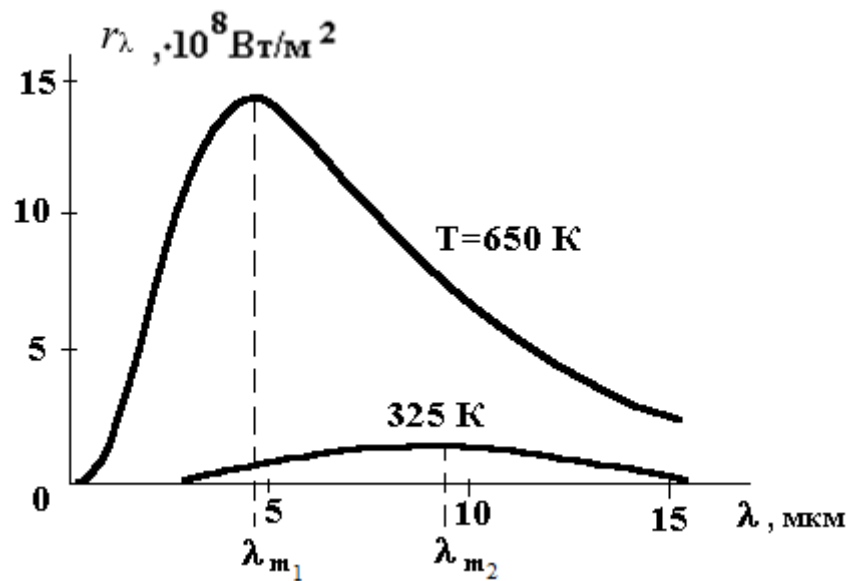


Рисунок 1.2 – Спектральное распределение энергетической светимости

Кривые имеют явно выраженный максимум, который по мере повышения температуры смещается в область более коротких длин волн. Площадь, ограниченная кривой и осью абсцисс, пропорциональна энергетической светимости абсолютно черного тела r и, в соответствии с формулой (1.8), четвертой степени температуры тела.

В 1893 г. немецкий физик В. Вин распространил понятия температуры и энтропии на тепловое излучение и предложил закон смещения Вина: длина волны λ_{max} , соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела r_λ , обратно пропорциональна его термодинамической температуре T :

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (1.9)$$

где $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ – постоянная Вина, м·К.

В соответствии с законом смещения Вина при понижении температуры абсолютно черного тела в его спектре все сильнее преобладает длинноволновое излучение. Проявление закона Вина известно из обыденных наблюдений. При комнатной температуре тепловое излучение тел в основном приходится на инфракрасную область и человеческим глазом не воспринимается. Если температура будет повышаться, то тела начинают светиться темно-красным светом, а при очень высокой температуре – белым с голубоватым оттенком, при этом также возрастает ощущение нагретости тела.

Законы Стефана-Больцмана и Вина позволяют, измеряя характеристики излучения тел, определять их температуры (*оптическая пирометрия*).

Долгое время ученые не могли получить теоретически зависимость спектральной плотности энергетической светимости черного тела от длины волны и температуры, которая бы отвечала наблюдениям. В 1900 году М. Планк предложил формулу (основной закон теплового излучения) для спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела как функции длины волны и температуры:

$$r_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}, \quad (1.10)$$

где $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ – постоянная Планка, или квант действия, Дж·с;

$c = 3 \cdot 10^8$ – скорость света, м/с;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана, Дж/К.

Формула Планка точно согласуется с экспериментальными данными во всем диапазоне длин волн $\lambda \in (0, \infty)$. Эта формула была получена Планком на основании выдвинутой им квантовой гипотезы.

Реальное тело может быть близко по своим свойствам к серому телу лишь в

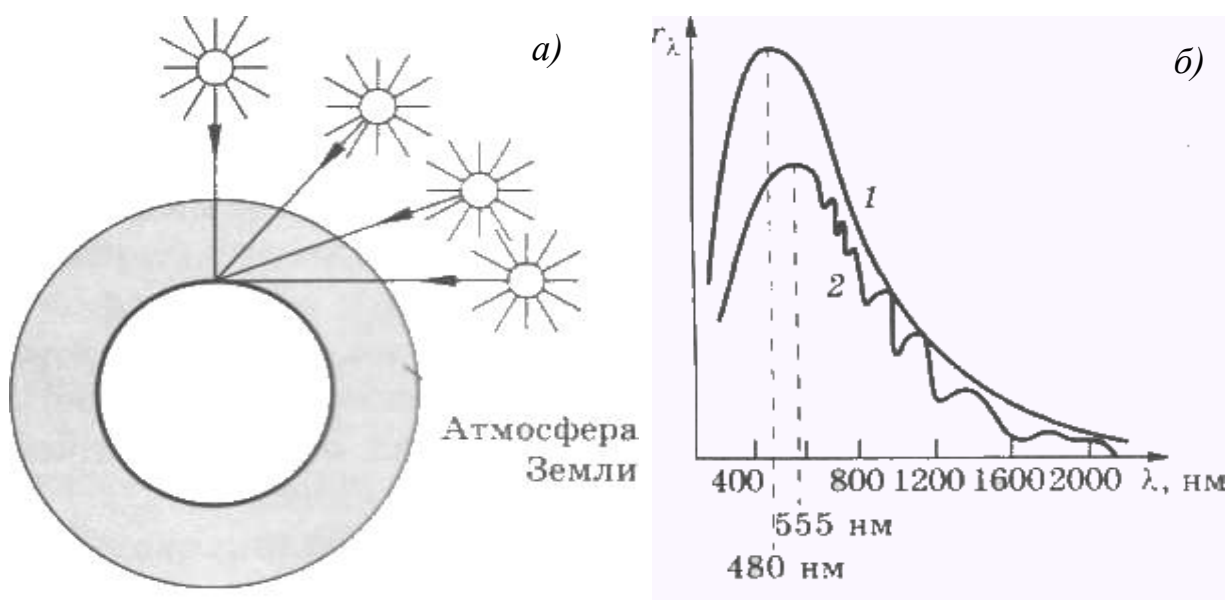


Рисунок 1.3 – Тепловые потоки от Солнца (а), их спектральные энергетические зависимости (б)

сравнительно небольших интервалах длин волн излучения. Например, $\alpha=0,04\dots0,06$ для полированного алюминия; $\alpha=0,6\dots0,9$ для кирпича. Если коэффициент поглощения a_λ существенно зависит от длины волны λ , то распределение энергии по спектру отличается от планковского (1.10), а полный поток излучения (энергетическая светимость) растет при нагревании по закону, отличному от закона Стефана – Больцмана (1.8).

Наиболее мощным источником теплового излучения, обуславливающим жизнь на Земле, является Солнце. Поток солнечной радиации, приходящийся на 1 м^2 площади граничной поверхности земной атмосферы, составляет 1370 Вт. Эту величину называют *солнечной постоянной*. В зависимости от высоты Солнца над горизонтом путь, проходимый солнечными лучами в атмосфере, изменяется в довольно больших пределах (рисунок 1.3, а) с максимальным различием в 30 раз. Даже при самых благоприятных условиях на 1 м^2 площади поверхности Земли падает поток солнечной радиации 1120 Вт.

Ослабление радиации атмосферой сопровождается изменением ее спектрального состава. На рисунке 1.3, б показан спектр солнечного излучения, измеренный на границе земной атмосферы (кривая 1) и на поверхности Земли (кривая 2) при наивысшем стоянии Солнца. Кривая 1 близка к спектру черного

тела, ее максимум соответствует длине волны 480 нм, что, по закону Вина, позволяет определить температуру поверхности Солнца - около 6000 К. Кривая 2 является существенно более сложной, она имеет много линий поглощения, ее максимум расположен около 555 нм.

Интенсивность прямой солнечной радиации измеряют *актинометром*. Принцип действия его основан на использовании нагревания зачерненных поверхностей тел, происходящего от солнечной радиации.

Тело человека имеет определенную температуру благодаря терморегуляции, существенной частью которой является *теплообмен организма с окружающей средой*. Рассмотрим некоторые особенности такого теплообмена, предполагая, что температура окружающей среды ниже температуры тела человека.

Теплообмен происходит посредством теплопроводности, конвекции, испарения и излучения (поглощения). Трудно или даже невозможно точно указать распределение отдаваемого количества теплоты между перечисленными процессами, так как оно зависит от многих факторов: состояния организма (температура, эмоциональное состояние, подвижность и т. д.), состояния окружающей среды (температура, влажность, движение воздуха и т. п.), одежды (материал, форма, цвет, толщина). Однако можно сделать приближенную и усредненную оценки для лиц, не имеющих особой физической нагрузки и проживающих в условиях умеренного климата, например, Оренбургской области.

Так как теплопроводность воздуха мала, то этот вид теплоотдачи очень незначителен. Более существенна конвекция, она может быть не только обычной, естественной, но и вынужденной, при которой воздух обдувает нагретое тело. Большую роль для уменьшения конвекции играет одежда. В условиях умеренного климата 15-20% теплоотдачи человека осуществляется конвекцией.

Испарение происходит с поверхности кожи и легких, при этом имеет место около 30% теплопотерь. Наибольшая доля теплопотерь (около 50%) приходится на излучение во внешнюю среду от открытых частей тела и одежды. Основная часть этого излучения относится к инфракрасному диапазону с длиной волны от 4 до 50 мкм. Для вычисления этих потерь сделаем два основных допущения.

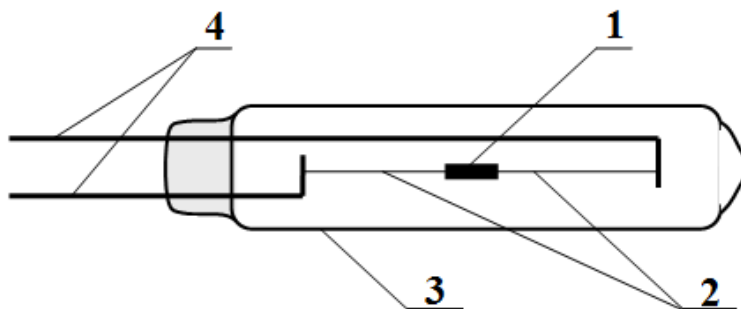
1. Излучающие тела (кожа человека, ткань одежды) примем за серые: хлопчатобумажная ткань - $\alpha=0,73$, шерсть, шелк - $\alpha=0,76$ и кожа человека - $\alpha=0,90$. Это позволит использовать формулу (3.8).

2. Применим закон Стефана-Больцмана к неравновесному излучению.

Максимум спектральной плотности энергетической светимости *тела* человека в соответствии с законом Вина попадает на длину волны приблизительно 9,5 мкм при температуре поверхности кожи 32 °С. У здоровых людей распределение температуры по различным точкам поверхности тела достаточно характерно. Однако воспалительные процессы, опухоли могут изменить местную температуру. Таким образом, регистрация излучения разных участков поверхности тела человека и определение их температуры является диагностическим методом. Такой метод, называемый *термографией*, находит все более широкое применение в клинической практике. Термография абсолютно безвредна и в перспективе может стать методом массового профилактического обследования населения.

2 Методика эксперимента

Основным измерительным элементом установки является термистор прямого подогрева (рисунок 2.1), который представляет собой маленький стержень (излучатель) 1 из полупроводникового материала, подвешенный на двух тонких вольфрамовых проволоках 2 внутри стеклянного вакуумированной колбы 3. Вольфрамовые проволоки прикреплены к выводам 4.



1 - излучатель, 2 – тонкие вольфрамовые проволоки, 3 – стеклянный

вакуумированная колба, 4 - выводы

Рисунок 2.1 - Излучающая система

Электрическая схема лабораторной установки приведена на рисунке 2.2. Полупроводниковый стержень термистора R_T нагревается током от источника постоянного напряжения.

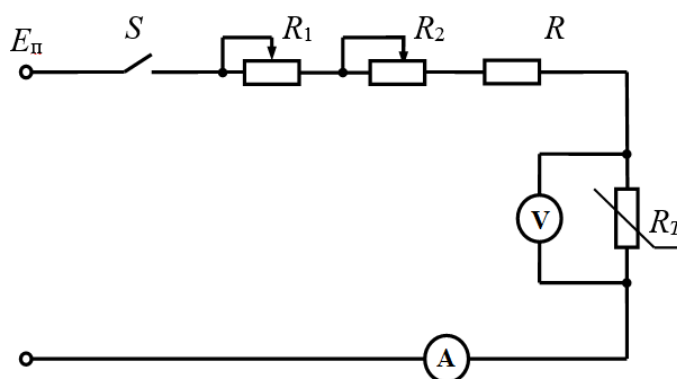


Рисунок 2.2 – Электрическая схема

Последовательно с термистором R_T включены переменные резисторы для грубой R_1 и точной R_2 регулировки тока I через термистор R_T и постоянный резистор R для ограничения максимального тока.

Вольтметр используется для измерения падения напряжения на термисторе, амперметр – для измерения тока в цепи. Выключатель S подключает цепь к источнику напряжения только на время измерения, это необходимо для ограничения времени протекания повышенных токов через термистор при высоких температурах излучателя.

Температуру излучателя можно определить, измерив его сопротивление, которое, в свою очередь, можно определить из закона Ома измерив, напряжение U_T на термисторе и ток I через него

$$R_T = \frac{U_T}{I}. \quad (2.1)$$

Зависимость сопротивления полупроводников от температуры имеет вид:

$$R_T = R_{T_0} \exp\left(\frac{\Delta E}{2kT}\right) = X \exp\left(\frac{Y}{T}\right), \quad (2.2)$$

где T – температура излучателя, К;

X , Om и Y , К – постоянные для данного термистора коэффициенты.

После логарифмирования выражения (2.2) получим формулу для определения температуры излучателя:

$$T = \frac{Y}{\ln \frac{R_T}{X}}. \quad (2.3)$$

Коэффициенты X и Y определены экспериментально из температурной зависимости $R_T = f(T)$ для данного экземпляра термистора, их численные значения приведены на панели лабораторной установки.

Таким образом, в данном приборе полупроводниковый стержень термистора служит одновременно излучателем, нагревателем и электрическим термометром.

Поскольку сопротивление полупроводникового стержня намного больше сопротивления вольфрамовых проволок, на которых он подвешен, можно приближенно считать, что падение напряжения на проволоках мало и тепловыделение происходит только в стержне. В стационарном режиме, когда $I = const$ и $T = const$, почти вся подводимая электрическая энергия рассеивается в виде теплового излучения, так как теплопроводность проволок и разреженного газа в стеклянном баллоне мала. Следовательно, в первом приближении поток энергии излучения Φ_s (мощность излучения) можно найти, приравняв его мощности электрического тока, протекающего через термистор:

$$\Phi_s = IU_T. \quad (2.4)$$

Излучатель является серым телом с коэффициентом $\alpha \rightarrow 1$, то есть излучатель условно можно считать абсолютно черным телом, к которому применим закон Стефана-Больцмана (1.8). Абсолютно черное тело с площадью поверхности S испускает поток энергии излучения

$$\Phi_s = S\sigma T^4, \quad (2.5)$$

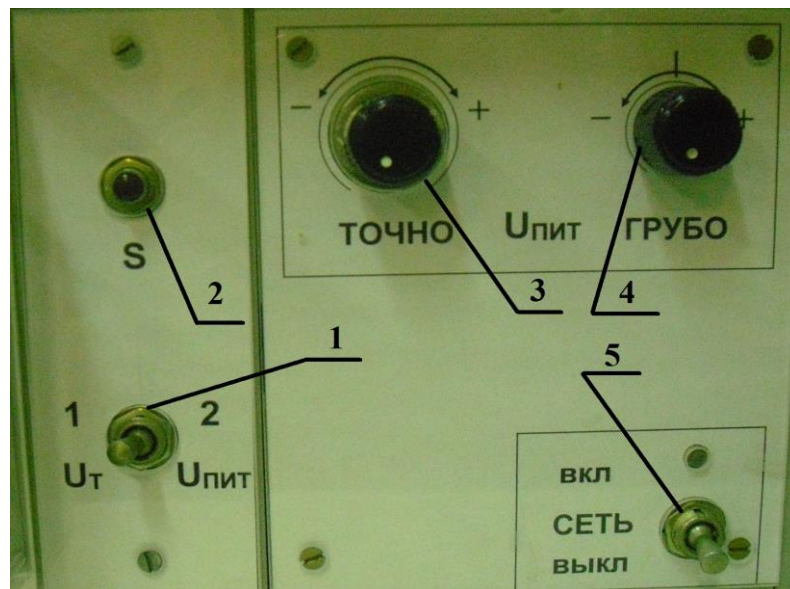
то есть в стационарном режиме

$$IU_T = S\sigma T^4. \quad (2.6)$$

Это равенство, в котором пренебрегают теплопроводностью соединительных проводов, выполняется тем лучше, чем выше температура, так как с ростом температуры поток излучения растет быстрее, чем теплопроводность.

3 Порядок выполнения работы

Лабораторная работа заключается в определении постоянной Стефана-Больцмана косвенным методом, путем измерения падений напряжения на термисторе и соответствующих им значений сил токов с последующей обработкой результатов измерений. Лабораторная установка состоит из двух блоков. Первый блок изображен на рисунке 3.1.

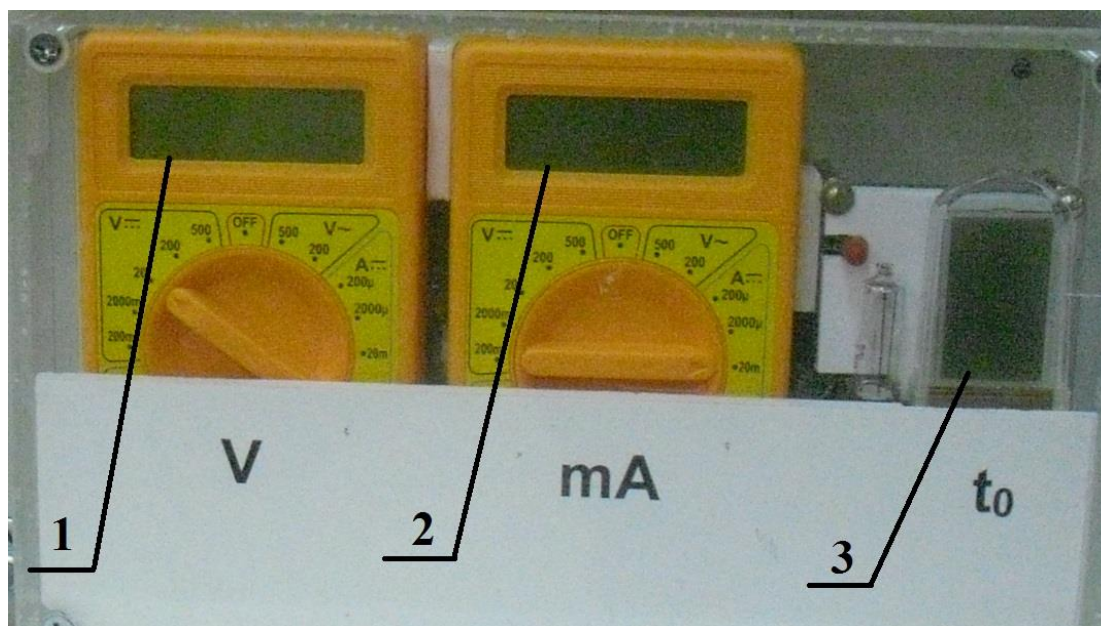


1 – Нижний левый тумблер для переключения электрических цепей, на которые подаются разные напряжения (имеет положение 1 и 2), 2 – Кнопка (ключ) S, замыкающая электрическую цепь с термистором, 3 - Регулятор «Точно», точно изменяющий значения напряжения в электрической цепи питания (без

термистора), 4 - Регулятор «Грубо», грубо изменяющий значения напряжения в электрической цепи питания (без термистора), 5 – Нижний левый тумблер, подключающий лабораторную установку к внутренней сети.

Рисунок 3.1 – Регулированный блок

Второй блок лабораторной установки изображен на рисунке 3.2.



1 – Значение напряжения на вольтметре, 2 – Значение силы тока на амперметре, 3 – Значение температуры окружающей среды на электронном термометре

Рисунок 3.2 – Измерительный блок, позволяющий определить:

Внимание! В данной лабораторной работе значение комнатной температуры, измеряемое электронным термометром втором блоке лабораторной установки, не используется для экспериментальной проверки постоянной Стефана-Больцмана и последующей обработке результатов.

Порядок выполнения лабораторной работы состоит в следующем:

1. Перед включением лабораторной установки в сеть регулятор «Грубо» и регулятор «Точно» установить крайнее левое положение.

2. **Нижней правый** тумблер «Сеть» 5 установить в положение «ВКЛ», включая установку. После включения прогреть установку в течение 5 минут.

3. **Нижней левый** тумблер установить в положение 2 ($U_{\text{пит}}$). С помощью регуляторов 4 «Грубо» и 3 «Точно» установить значение напряжение на вольтметре примерно 7,5 В.

4. Устанавливаем **нижней левый** переключатель 1 в положение 1 (U_T), при этом амперметр и вольтметр перестают снимать показания.

5. Нажимаем кнопку S и удерживаем ее 5÷10 секунд, пока установится показания напряжения и силы тока. Эти данные записываем в таблицу 1 в столбец 2 (U_t , В) и 3 (I, мА) соответственно. Далее отпускаем кнопку S.

6. Устанавливаем **нижней левый** тумблер в положение 1 (U_T). С помощью регуляторов 4 «Грубо» и 3 «Точно» увеличиваем первоначальное значение напряжение на 1 Вольт.

7. Повторяем пункт 4, 5 и 6, пока не получим по 10 значений силы тока и напряжения.

8. **Нижней правый** тумблер «Сеть» установить в положение «ВЫКЛ», выключая установку.

4 Методика математической обработки результатов

1. Определяем поток энергии излучения термистора, через который течет электрический ток и приложено напряжение:

$$\Phi_{\text{Э}} = I \cdot U_T \quad (4.1)$$

Полученные значения записать в таблицу 1 в столбец 4 ($\Phi_{\text{Э}}$, Вт).

2. Определяем сопротивления полупроводника (термистора) при разных силах тока и напряжений:

$$R_T = \frac{U_T}{I} \quad (4.2)$$

Полученные значения записать в таблицу 1 в столбец 5 (R_T , Ом).

3. Вычисляем температуру термистора и записываем результаты в столбцы 6 и 7 таблицы 1:

$$T = \frac{Y}{\ln\left(\frac{R_T}{X}\right)} \quad (4.3)$$

При расчете температуры используется поправочные коэффициенты, которые получены в результате эксперимента $X=27$ Ом; $Y=1960$ К.

4. Определяем величину постоянной Стефана-Больцмана:

$$I \cdot U_t = \alpha \cdot S \cdot \sigma \cdot T^4;$$

$$\sigma = \frac{1}{\alpha \cdot S} \cdot \frac{I \cdot U_t}{T^4} = \frac{1}{\alpha \cdot S} \cdot \frac{\Phi_{\text{Э}}}{T^4}, \quad (4.4)$$

где $\frac{1}{\alpha \cdot S} = 10^{-5} \text{ м}^2$ – эмпирически установленный коэффициент, учитывающий площадь поверхности термистора, тепловые потери в проводах установки, внешние тепловые потоки и значение комнатной температуры, измеряемое на электронном термометре. Коэффициент сильно зависит от условий окружающей среды.

5. Определяем среднее значение постоянной Стефана-Больцмана:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \sigma_i}{10} \quad (4.5)$$

Определяем относительную ошибку полученного среднего значения постоянной Стефана-Больцмана относительно табличного значения:

$$\varepsilon = \frac{|\bar{\sigma} - \sigma_{\text{tabl}}|}{\sigma_{\text{tabl}}} \cdot 100\%, \quad (4.6)$$

где $\sigma_{\text{tabl}} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – табличное значение постоянной Стефана-Больцмана.

Таблица 1 – Результаты экспериментов по определению постоянной
Стефана-Больцмана

	$U_t, В$	$I, мА$	$\Phi_{Э}, Вт$	$R_T, Ом$	$T, К$	$T^4, К^4$	$\sigma,$ $Вт/(м^2 \cdot К^4)$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

6. Построить график зависимости потока энергии излучения термистора ($\Phi_{Э}$) от температуры на его поверхности в четвертой степени (T^4).

Примечание! Для математической обработки результатов можно воспользоваться программой (для этого обратитесь к преподавателю или инженеру лаборатории).

5 Вопросы для самопроверки

1. Поясните, какое излучение называется тепловым?
2. Объясните, чем объясняется непрерывный спектр теплового излучения?
3. Дайте определение энергетической светимости и излучательной способности. Какова их размерность?
4. Дайте определение абсолютно черного тела.
5. Поясните, какое тело называют серым?
6. Сформулируйте закон Кирхгофа.
7. Запишите закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.

8. Изобразите на графике спектр излучения черного тела для нескольких различных температур.
9. Объясните, чем различаются спектры излучения Солнца, полученные за пределами земной атмосферы и на поверхности Земли?
10. Опишите методику определения постоянной Стефана-Больцмана.

6 Литература, рекомендуемая для изучения

1. Савельев, И.В. Курс общей физики. Том I. / И.В. Савельев. – Москва: Издательство «Наука», 1970. – 517 с.
2. Русин, С.П. Тепловое излучение полостей/ С.П. Русин, В.Э. Пелецкий - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 152 с.
3. Медицинская и биологическая физика: учебник для студентов высших мед. учебных заведений/ под. ред. профессора А.В. Чалого. – Винница.: Нова Книга, 2011. – 568 с.
4. Адиутори, Е.Ф. Новые методы в теплопередаче/ Е.Ф. Адиутори. - Москва: Мир, 1977. - 230 с.