

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

В.Н. АНИКЕЕВ, И.Н. ФЕТИСОВ

ПРОВЕРКА ЗАКОНА СТЕФАНА-БОЛЬЦМАНА

Методические указания к лабораторной работе К-20
по курсу общей физики

Под редакцией О.И. Иваненко.
Москва, 2005

В работе рассмотрены интегральные и спектральные энергетические характеристики оптического излучения, приведены основные законы теплового излучения. Дано описание методики проверки закона Стефана-Больцмана.

Цель работы – изучить зависимость потока теплового излучения модели абсолютно черного тела от температуры.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Введение

Тепловое излучение представляет собой электромагнитные волны, испускаемые веществом при температуре выше абсолютного нуля ($T > 0$ К) и возникающие за счет его внутренней энергии. Для всех тел, кроме разреженных газов, излучение имеет непрерывный спектр в широкой области длин волн, зависящий от температуры. С повышением температуры энергия излучения сильно возрастает, а максимум спектра смещается в область более коротких волн.

Тела не только испускают собственное тепловое излучение, но и отражают падающее на них излучение других тел. Например, тело находится при комнатной температуре и освещено солнцем. Мы видим отраженный солнечный свет. Кроме того, тело испускает собственное тепловое излучение в инфракрасном (ИК) диапазоне. Если тело нагреть до температуры порядка 2000 К, то, кроме отраженного света, оно будет испускать яркий собственный свет.

Из всех видов излучений только тепловое излучение может находиться в *термодинамическом равновесии* с веществом. Поясним следующим примером. Пусть несколько тел, нагретых до различной температуры, окружены оболочкой с идеально отражающими стенками. Если даже внутри этой полости будет абсолютный вакуум, тела будут обмениваться энергией между собой через посредство излучения. Более теплые тела будут охлаждаться, так как они испускают большее количество энергии, чем получают от окружающих тел, а менее нагретые тела – нагреваться, потому что они получают больше, чем отдают. Опыт показывает, что, в конце концов, обязательно устанавливается стационарное состояние, при котором все тела приобретают одинаковую температуру, т. е. поглощают в единицу времени ровно столько энергии, сколько отдают ее, а плотность излучения в пространстве между ними достигает некоторой определенной величины, соответствующей данной температуре. В стационарном состоянии излучение в полости называют *равновесным тепловым излучением*, его характеристики зависят от температуры тел и не зависят от вещества тел.

Кроме теплового излучения, существует *люминесценция* – свечение вещества, вызванное внешними источниками энергии – светом или потоком быстрых заряженных частиц. Люминесценция не связана с нагревом вещества. Тепловое излучение в видимой области

спектра заметно при температуре тела в несколько сотен или тысяч градусов, в то время как люминесцировать оно может при любой температуре, поэтому люминесценцию часто называют холодным свечением.

Энергетические характеристики излучения. Энергию излучения характеризуют рядом величин, которые подразделяют на интегральные и спектральные.

К интегральным характеристикам относятся:

энергия излучения W , Дж;

поток излучения (мощность) $\Phi = dW/dt$, Вт (dW - энергия излучения за время dt);

энергетическая светимость (излучательность) $M = dW/(dt dS)$, Вт/м², где dW – энергия излучения за время dt с поверхности тела площади dS .

Спектральные характеристики служат для описания распределения энергии излучения по длинам волн или частотам.

Спектральная плотность энергетической светимости (испускательная способность) равна отношению

$$M_\lambda = d\Phi/(dS \cdot d\lambda),$$

где $d\Phi$ – поток излучения с площади dS в интервале длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$. Испускательная способность есть мощность излучения с единицы площади в единичном интервале длин волн, единица измерения - Вт/м³. Например, если при некоторой температуре и длине волны $M_\lambda=10^9$ Вт/м³, то тело в узком интервале длин волн $d\lambda=0,1$ мкм = 10^{-7} м с площади 10^4 м² испускает поток излучения $d\Phi = M_\lambda dS d\lambda = 10^2$ Вт. В литературе иногда длину волны выражают в мкм, тогда единицей измерения испускательной способности служит Вт/(м²·мкм), например, $M_\lambda = 10^9$ Вт/м³ = 10^3 Вт / (м²·мкм).

Энергетическая светимость и спектральная плотности энергетической светимости связаны интегрированием по всем длинам волн от 0 до бесконечности

$$M = \int_0^{\infty} M_\lambda d\lambda.$$

Поток излучения с площади S в интервале длин волн от λ_1 до λ_2 равен

$$\Phi = \int_S \int_0^{\infty} M_\lambda d\lambda dS.$$

Коэффициент поглощения. Тепловое излучение тела зависит от его способности поглощать излучение. Пусть на тело падает поток Φ монохроматического излучения с длиной волны λ , из которого телом поглощается $\Phi_{\text{погл}}$, а остальное излучение отражается и проходит сквозь тело. *Спектральным коэффициентом поглощения* (поглощательной способностью) называется отношение поглощенного потока к падающему потоку

$$\alpha = \Phi_{\text{погл}}/\Phi.$$

Коэффициент поглощения α – безразмерная величина, которая в принципе может изменяться от нуля до единицы. Коэффициент поглощения зависит от длины волны λ , температуры, вещества и состояния поверхности тела (шероховатость, окислы, ржавчина, грязь и т.д.).

В теории теплового излучения важную роль играет понятие *абсолютно черного тела* (АЧТ), для которого $\alpha=1$ для любых длин волн и температур. Строго говоря, в природе таких тел нет. Однако можно создать тела, для которых α близко к единице в некотором интервале длин волн и температур. На практике хорошей моделью АЧТ является маленькое отверстие в большой полости с темными рассеивающими стенками. Если излучение падает на отверстие снаружи (рис. 1, а), то оно практически полностью поглощается внутри полости в результате многих отражений и поглощений. Если полость равномерно нагреть, то выходящее из отверстия излучение является равновесным тепловым излучением АЧТ (рис. 1, б). Это излучение *не зависит от материала* полости и определяется только температурой и длиной волны.

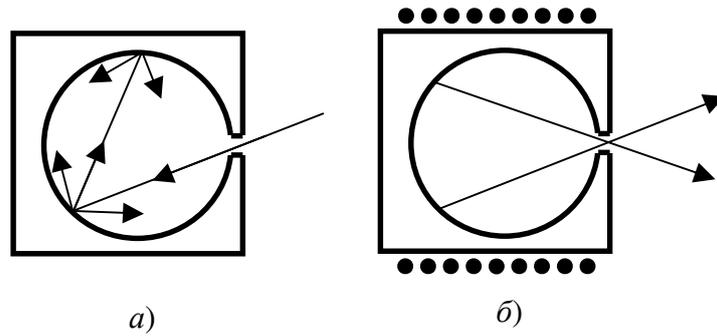


Рис. 1

Вследствие этого, излучение АЧТ обладает *универсальным* характером и играет фундаментальную роль в физике.

2. Законы теплового излучения.

Закон Кирхгофа. Для любого тела отношение спектральной плотности энергетической светимости к спектральному коэффициенту поглощения равно спектральной плотности энергетической светимости АЧТ при той же температуре и длине волны:

$$M_{\lambda}/\alpha = M_{\lambda, \text{АЧТ}}. \quad (1)$$

Согласно закону Кирхгофа, имеем

$$M_{\lambda} = \alpha M_{\lambda, \text{АЧТ}}.$$

Следовательно, реальные тела, коэффициент поглощения которых всегда меньше 1, излучают меньше, чем АЧТ при той же температуре и на одинаковой длине волны. Кроме того, чем больше тело поглощает на некоторой длине волны (т.е. чем оно темнее в отраженном свете), тем больше оно будет излучать в нагретом состоянии на данной длине волны.

Закон излучения Планка (основной закон теплового излучения АЧТ). Спектральная плотность энергетической светимости (испускательная способность) АЧТ является следующей функцией длины волны и температуры:

$$M_{\lambda, \text{АЧТ}} = \frac{2\pi hc^5}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left[\frac{hc}{\lambda kT}\right] - 1} \quad (2)$$

где h - *постоянная Планка*; c - скорость света в вакууме; k - постоянная Больцмана.

При постоянной температуре зависимость (2) описывает *спектр* теплового излучения АЧТ, т.е. распределение энергии излучения по длинам волн, примеры которого представлены на рис. 2, а для двух температур. Как видно из рис. 2, а, излучение имеет сплошной протяженный спектр с максимумом на некоторой длине волны $\lambda_{\text{макс}}$. Полезно запомнить, что примерно 90% энергии излучается в интервале длин волн от $0,5\lambda_{\text{макс}}$ до $3\lambda_{\text{макс}}$ (рис. 2, б).

Разрабатывая теорию теплового излучения АЧТ (1900 г.), Планк выдвинул *квантовую гипотезу*, согласно которой атомные осцилляторы испускают электромагнитные волны не непрерывно, как следовало из теории Максвелла, а порциями, *квантами*, энергия которых пропорциональна частоте ν излучения:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}.$$

Постоянная Планка, как следует из опытов, равна $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Только с помощью квантовой гипотезы удалось теоретически объяснить наблюдаемый спектр излучения АЧТ.

В дальнейшем квантовая гипотеза получила подтверждение и развитие в работе Эйнштейна по объяснению внешнего фотоэффекта. Согласно Эйнштейну, само электромагнитное излучение состоит из таких квантов, получивших название *фотонов*. В опытах А. Комптона по рассеянию рентгеновских лучей было установлено, что фотоны подчиняются тем

же кинематическим законам, что и частицы вещества, в частности для излучения с частотой ν фотон обладает также и импульсом

$$p = \frac{h\nu}{c}.$$

В результате развития квантовой механики, когда выяснилось, что электрон обладает волновыми свойствами, стало ясно, что фотоны принципиально не отличаются от других элементарных частиц.

Закон смещения Вина. Как видно из рис. 2, а, спектральная плотность энергетической светимости максимальна на некоторой длине волны $\lambda_{\text{макс}}$, зависящей от температуры.

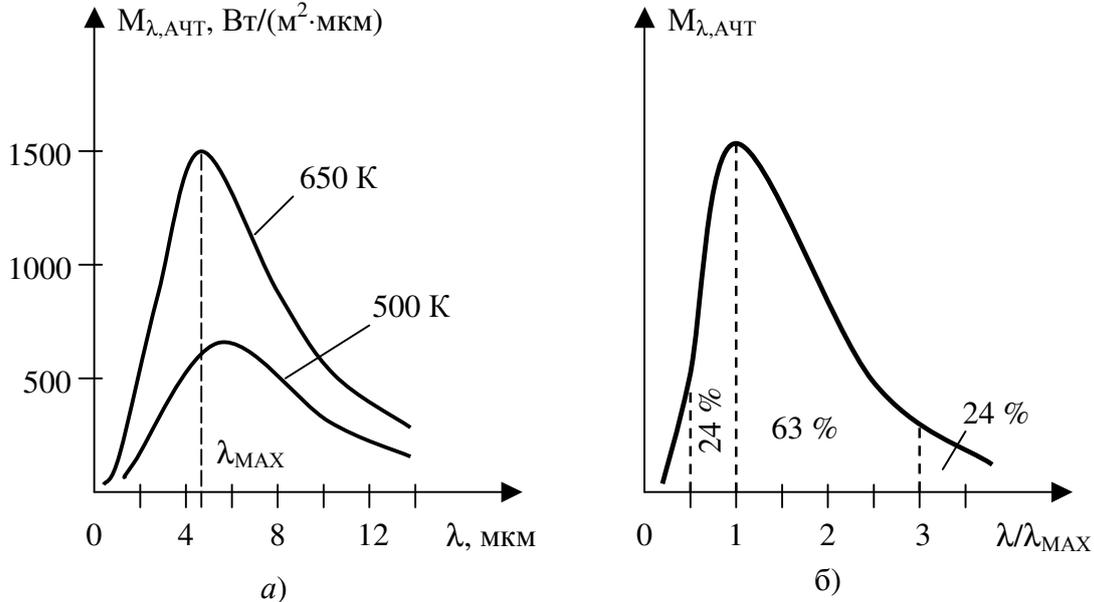


Рис. 2

Вин теоретически установил, что для АЧТ эта длина волны обратно пропорциональна температуре:

$$\lambda_{\text{MAX}} = \frac{b}{T}$$

где $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ К} \cdot \text{м}$ есть *постоянная Вина*. Например, при температуре 290 К $\lambda_{\text{макс}} = 10 \text{ мкм}$. Следовательно, при комнатной температуре тела излучают примерно 90% энергии в диапазоне от 5 мкм до 30 мкм, т.е. в ИК диапазоне. На поверхности Солнца температура примерно в 20 раз больше, а длина волны $\lambda_{\text{макс}} = 0,5 \text{ мкм}$, она соответствует зеленому свету.

Закон Стефана-Больцмана. Для абсолютно черного тела энергетическая светимость (мощность излучения с единицы площади на всех длинах волн) пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры тела:

$$M_{\text{АЧТ}} = \sigma \cdot T^4 \quad (3)$$

Коэффициент пропорциональности $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ называют *постоянной Стефана-Больцмана*. Поток излучения с площади S черного тела равен

$$\Phi_{\text{АЧТ}} = S M_{\text{АЧТ}} = S \sigma T^4. \quad (4)$$

Например, при комнатной температуре (295 К) поток излучения АЧТ с одного квадратного метра поверхности равен 429 Вт, а при температуре 2950 К - он в 10^4 раз больше.

Законы Вина и Стефана-Больцмана, открытые ранее закона Планка, следуют из последнего. Так, закон Стефана-Больцмана может быть получен интегрированием функции (2) по длине волны от нуля до бесконечности [1, 2]:

$$M = \int_0^{\infty} M_{\lambda} d\lambda = \sigma T^4$$

при этом получают, что постоянная Стефана-Больцмана связана с другими физическими константами соотношением

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} \quad (5)$$

Численное значение h впервые было получено Планком по формуле (5), используя известные из опытов значения σ и других констант.

Излучение реальных тел.

На практике большой интерес представляет излучение различных реальных тел, для которых спектральный коэффициент поглощения α , в общем случае, зависит от длины волны и температуры [3]. Согласно закону Кирхгофа (1), спектр излучения реальных тел будет отличаться от спектра АЧТ (2), а энергия излучения будет меньше.

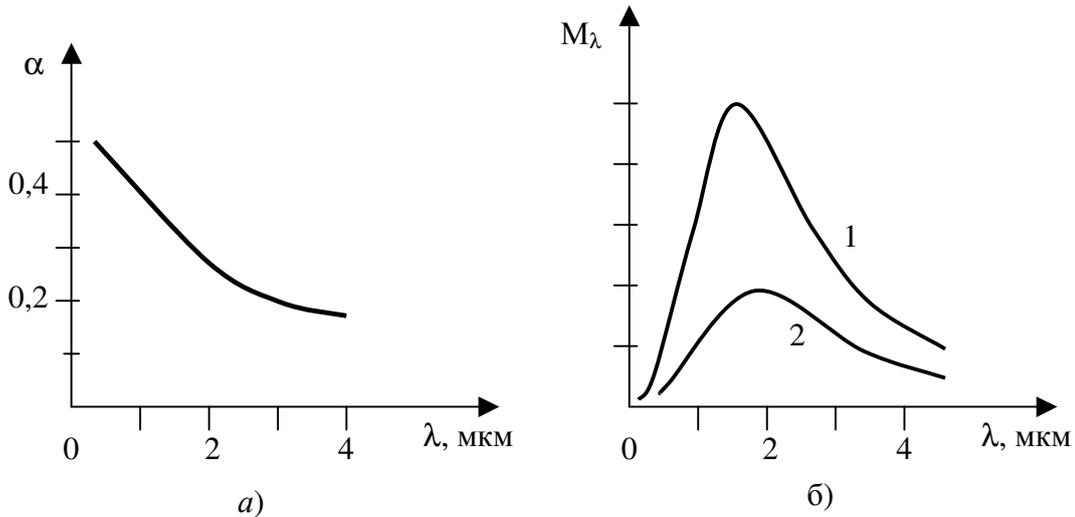


Рис. 3

Поясним сказанное на примере вольфрама, из которого изготавливают нити ламп накаливания. Зависимость коэффициента поглощения вольфрама от длины волны при температуре 2450 К показана на рис. 3,а. Из него видно, что α убывает с ростом λ . На рис. 3,б для температуры 2450 К показаны зависимости от λ спектральной плотности энергетической светимости АЧТ (кривая 1) и вольфрама (кривая 2).

Во-первых, из графика видно, что на видимую область спектра (0,4 – 0,76 мкм) приходится незначительная часть энергии излучения, большая часть которой испускается в ИК диапазоне. Отсюда - низкий световой КПД лампы. Если температуру повысить, то спектр излучения сместится в видимую область, а КПД возрастет. Однако существенное повышение температуры невозможно, так как при этом быстро уменьшается срок службы лампы.

Во-вторых, на всех длинах волн вольфрам излучает меньше, чем АЧТ. Однако испускательная способность вольфрама в видимой области спектра ближе к испускательной способности АЧТ, чем в ИК диапазоне. Благодаря этому, энергия излучения выгодно перераспределяется по спектру в пользу видимого света за счет ИК излучения. Если бы у вольфрама коэффициент поглощения не зависит от λ , то КПД лампы был бы еще меньше.

Для некоторых тел, называемых *серыми*, коэффициент поглощения меньше единицы, но слабо зависит от длины волны в некоторой существенной области спектра. Поэтому спектр излучения серых тел близок к спектру АЧТ, а энергия излучения - меньше. Для серых тел приближенно и в ограниченной области температур закон Стефана-Больцмана имеет вид $M = \epsilon \sigma T^4$.

Безразмерный множитель $\epsilon < 1$, называемый *коэффициентом излучения (коэффициентом черноты)*, зависит от вещества и состояния поверхности тела; он равен, например,

0,04...0,06 – для полированного алюминия, 0,25 – для сильно окисленного алюминия, 0,6...0,9 – для кирпича [4].

Бесконтактные термометры.

Широкое применение получили приборы, называемые *пирометрами*, для бесконтактного измерения температуры тел. Их действие основано на измерении интенсивности теплового излучения тел. Поскольку интенсивность теплового излучения резко убывает с уменьшением температуры тел, то пирометры применяются для измерения главным образом высоких температур. При температуре $T > 1300$ К пирометры – главные термометры, а при $T > 3000$ К – становятся практически единственными приборами для измерения температуры.

Рассмотрим действие простого прибора, называемого *пирометром с исчезающей нитью*. Он используется для измерения температуры раскаленных тел. Объектив фокусирует изображение светящегося тела на плоскость, в которой расположена нить специальной лампы накаливания. Через окуляр и красный фильтр нить рассматривают на фоне изображения тела и, изменяя ток накала нити, добиваются, чтобы яркости нити и тела были одинаковыми (нить становится неразличимой на фоне тела). Шкалу прибора, регистрирующего ток накала, градуируют в °С или К, и в момент выравнивания яркостей нити и тела прибор показывает так называемую *яркостную температуру* тела. Истинная температура тела определяется на основе законов теплового излучения по специальной формуле.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Методика опыта и лабораторная установка

В данной работе изучают зависимость потока излучения макета АЧТ от температуры. Оптическое излучение (видимый свет, УФ- и ИК-излучения) можно зарегистрировать *фотоприемником* или *тепловым приемником*, принцип действия которых в корне различный. Действие фотоприемников основано на внешнем или внутреннем фотоэффекте. Чувствительность фотоприемников сильно зависит от длины волны, поэтому они не подходят для данной работы.

Рассмотрим принцип действия *теплового приемника*. Приемником может служить любое тело, хорошо поглощающее падающее на него излучение, например, покрытая сажей металлическая пластинка. При отсутствии излучения пластинка (далее, *приемник*) имеет температуру окружающей среды t_0 (в данном случае - комнатную температуру). При включении источника постоянного излучения приемник начинает нагреваться, и через некоторое время его температура достигает постоянной величины t , при которой имеет место динамическое равновесие: за одинаковое время приемник поглощает столько же энергии, сколько и отдает в результате теплопередачи к более холодным окружающим телам. Приращение температуры $\Delta t = t - t_0$ при малых Δt пропорционально поглощенному потоку излучения. Для измерения Δt применяют термометр сопротивления или термопару.

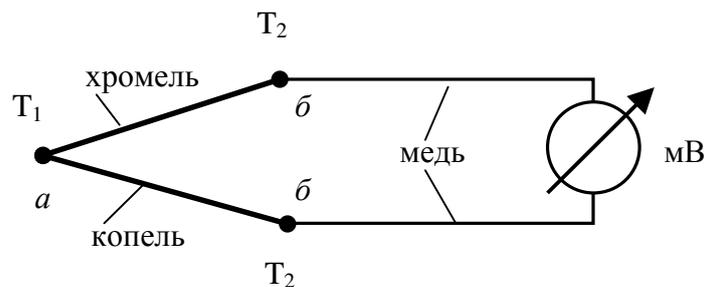


Рис. 4

Термопара (термоэлемент) состоит из двух соединенных между собой разнородных металлических проводников. Типичная термопара, состоящая из двух специально подобранных сплавов – хромеля и копеля, показана на рис. 4. Двумя медными проводниками термопара соединена с чувствительным вольтметром. Контакт *a* хромеля и копеля имеет измеряемую температуру T_1 , а контакты *b-b* с медными проводами поддерживаются при постоянной известной температуре T_2 .

Действие термопары основано на *эффекте Зеебека*: при различной температуре спаев *a* и *b* в цепи возникает *термоЭДС*, величина которой зависит только от температур горячего T_1 и холодного T_2 контактов и от материалов проводников. В небольшом интервале температур (примерно 100 К) термоЭДС

$$U = \beta \cdot (T_1 - T_2).$$

Коэффициент β зависит от материалов проводников и интервала температур. Для пары хромель-копель при комнатной температуре $\beta = 62$ мкВ/К.

В случае малой разности температур несколько термопар включают последовательно для увеличения термоЭДС. В этом случае термоэлемент называют *термостолбиком*.

Лабораторная установка содержит источник теплового излучения, тепловой приемник и измерительные приборы. Основные элементы установки схематически показаны на рис. 5.

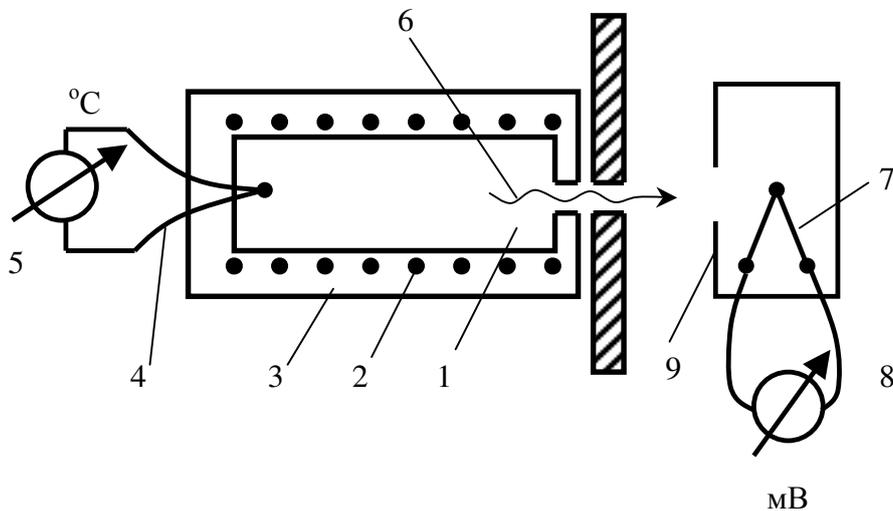


Рис. 5

Макетом АЧТ служит печь 1 с электрическим нагревателем 2 (показан точками) и теплоизоляцией 3. Излучение выходит из небольшого отверстия 6. Температуру внутри печи измеряют с помощью термопары 4 и цифрового измерительного прибора 5. Горячий контакт термопары, расположенный внутри печи, имеет измеряемую температуру T , а холодный контакт поддерживается при комнатной температуре, которую можно принять равной $T_0 = 295$ К (22 °C). Цифровой измерительный прибор 5 показывает разностную температуру $\Delta T = T - T_0$ в градусах Цельсия. Таким образом, абсолютная температура излучателя в кельвинах равна

$$T = 295 + \Delta T.$$

Тепловым приемником служит термостолбик 7 из двенадцати последовательно включенных хромель-копелевых термопар (на рисунке для простоты показана только одна) и цифрового милливольтметра 8. Излучение падает на одну группу контактов («горячую») термостолбика, покрытых сажей для лучшего поглощения излучения. Холодные контакты погружены в воскообразное вещество для поддержания их температуры неизменной и близкой к комнатной температуре. Приемник помещен в пластмассовый теплоизолирующий корпус 9 с небольшим отверстием, закрытым тонким листочком слюды. Слюда прозрачна для излучения и защищает приемник от горячего воздуха, выходящего из печи.

Рассмотрим методику проверки закона Стефана-Больцмана. При комнатной температуре T_0 печи оба контакта термостолбика (приемника) также имеют комнатную температуру,

а термоЭДС термостолбика равна нулю. Если излучатель нагреть до температуры T , то поток излучения возрастет на величину

$$\Delta\Phi = \Phi - \Phi_0 = S \cdot \sigma \cdot T^4 - S \cdot \sigma \cdot T_0^4 = S\sigma \cdot (T^4 - T_0^4),$$

где S – площадь отверстия печи. При этом приемник нагреется на величину Δt , а подключенный к термостолбику прибор покажет термоЭДС U . Измеряемой величиной в данном опыте является *приращение потока* при увеличении температуры от комнатной T_0 до температуры T . Специальный опыт (калибровка) показал, что термоЭДС пропорциональна приращению потока излучения

$$U = \gamma\Delta\Phi = \gamma S\sigma(T^4 - T_0^4), \quad (6)$$

где γ - коэффициент пропорциональности.

В опыте необходимо измерить U при различной температуре излучателя T и построить графическую зависимость U от величины $T^4 - T_0^4$. Если зависимость получится линейной, то опыт согласуется с законом Стефана-Больцмана.

Вместо напряжения на графике можно отложить пропорциональную напряжению величину $\Delta\Phi$, выраженную в относительных единицах:

$$\Delta\Phi, \text{ отн. ед.} = U / U_{\text{макс}}, \quad (7)$$

где $U_{\text{макс}}$ – напряжение термостолбика при максимальной температуре излучателя. При этом максимальное приращение потока принято за единицу: $\Delta\Phi_{\text{макс}} = 1$.

Порядок выполнения работы

Указания мер безопасности.

Перед началом работы необходимо убедиться, что измерительный блок и блок печи заземлены. Клеммы заземления расположены на задней панели.

Категорически запрещается нагрев печи до температуры свыше $850\text{ }^\circ\text{C}$ и работа установки без надзора.

Не допускается перекрывание вентиляционных отверстий, находящихся на крышке измерительного устройства и блока печи.

Задание 1. Ознакомиться с установкой

Лабораторная установка (ФПК–11) для изучения закона Стефана – Больцмана состоит из двух блоков, соединенных кабелями. Один блок содержит излучатель и приемник (далее, *блок излучателя*), другой – измерительное устройство. Внешний вид блока излучателя показан схематически на рис. 6. В нем находятся: модель абсолютно черного тела (печь) с нагре-

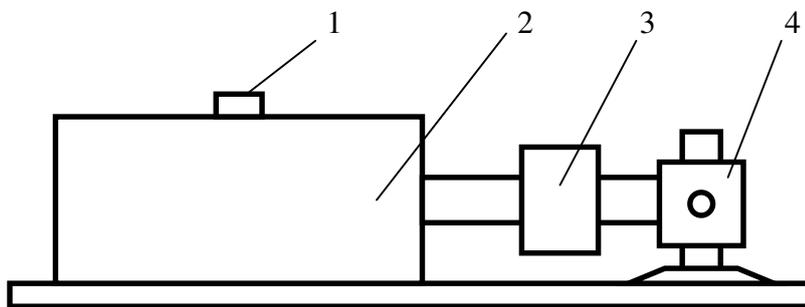


Рис. 6

вательным устройством и теплозащитной оболочкой, которую можно обдувать встроенным вентилятором; термопара для измерения температуры внутри печи; регулируемый источник питания, предназначенный для разогревания печи до температуры $800\text{ }^\circ\text{C}$ и регулирования скорости нагрева. На верхней крышке расположена ручка 1 «СКОРОСТЬ НАГРЕВА».

На передней панели блока размещены отверстие 2 для выхода излучения; выключатель «СЕТЬ» для включения питания печи (включение питания индицируется подсветкой переключателя); выключатель «ВЕНТ.» для включения питания вентилятора при охлаждении печи (включение вентилятора индицируется светодиодом, установленным над выключателем «ВЕНТ.»).

В корпусе 3 приемника излучения находится термостолбик. С помощью стойки 4 корпус приемника установлен и закреплен в единое целое с блоком печи.

Внимание! Категорически запрещено развинчивать крепежные винты.

Измерительное устройство содержит аналого-цифровые преобразователи напряжения термопары и термостолбика с цифровыми индикаторами на передней панели. Индикатор «мВ» предназначен для индикации термоЭДС термостолбика приемника в мВ. Индикатор «°С» предназначен для индикации разности температур внутри печи и в помещении. На задней панели измерительного устройства расположены выключатель «СЕТЬ», сетевой шнур, клемма заземления и разъемы для подключения блока излучателя.

Задание 2. Подготовить установку к работе

Перед включением установки в сеть сетевые выключатели измерительного устройства и блока излучателя должны находиться в положении «ВЫКЛ». Подключить сетевые шнуры к сети и включить измерительное устройство выключателем «СЕТЬ» на его задней панели и дать прогреться в течение нескольких минут. Выключатель «СЕТЬ» блока излучателя должен быть в положении **выключено**.

Если установка перед включением длительное время не работала, то на индикаторах «мВ» и «°С» должны установиться значения 0,00 и 000, соответственно. Если установка недавно работала, то печь могла не остыть до комнатной температуры. Тогда на индикаторах будут показания, отличные от нуля. Работу можно начинать, если температура печи не выше 300 – 350 °С. Если температура выше, включить вентилятор с помощью выключателя «ВЕНТ.» и охладить до допустимой температуры.

Подготовить таблицу для записи результатов измерений.

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$U, \text{ мВ}$	$T = 295 + \Delta T, \text{ К}$	$T^4 - T_0^4 = T^4 - 295^4, \text{ К}^4$	$\Delta\Phi, \text{ отн. ед.}$

Примечания. 1) В таблице должно быть примерно 20 строк.

2) $\Delta\Phi$, отн. ед. вычислить по формуле (7).

Задание 3. Снять зависимость напряжения термостолбика от температуры печи

1. Включить печь с помощью выключателя «СЕТЬ» (при этом ручка «СКОРОСТЬ НАГРЕВА» должна находиться в положении «MIN»), а для исключения перегрева корпуса печи включить вентилятор охлаждения с помощью выключателя «ВЕНТ.».

Положению ручки «MIN» соответствует почти нулевая скорость нагрева (мощность к нагревательному элементу почти не подводится), а положению «MAX» - максимальная скорость нагрева и максимальная температура печи. Повернуть ручку «СКОРОСТЬ НАГРЕВА» в среднее положение. Когда температура достигнет 200 – 350 °С, одновременно снять показания индикаторов - температуры ($\Delta T, ^\circ\text{C}$) и напряжения термостолбика приемника ($U, \text{ мВ}$). Результаты измерений записать в таблицу.

2. Постепенно повышая температуру печи, снять зависимость величины $U, \text{ мВ}$ от $\Delta T, ^\circ\text{C}$ с шагом примерно 50 °С до температуры 600 – 650 °С и с шагом 20 – 30 °С при более высокой температуре до максимальной температуры примерно 800 °С.

Отсчеты следует производить, когда напряжение и температура в печи будут медленно меняться. Добиться этого можно с помощью ручки «СКОРОСТЬ НАГРЕВА». Если нагрев

слишком быстрый, перед отсчетом следует уменьшить скорость нагрева и некоторое время подождать.

Заметим, что более точные результаты получаются, когда отсчет производят в режиме установившейся температуры, при этом показания температуры в печи и напряжения термостолбика не меняются. Если отсчеты производить при быстром изменении температуры, то показания приборов не отражают точно как температуру печи, так и поток излучения. Это происходит из-за различной инерционности термопары и термостолбика, а также в связи с неравномерным нагревом поверхности излучателя.

3. После достижения температуры около $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ повернуть ручку скорости нагрева в положение «MIN», выключить выключатель «СЕТЬ» на передней панели печи, при этом начнется охлаждение печи (вентилятор должен работать).

Примечание: Выполнять работу в режиме охлаждения печи не допускается, так как качество результатов измерений будет хуже.

По окончании работы необходимо охладить печь, после чего выключить питание установки выключателями «СЕТЬ» на задней панели измерительного устройства и передней панели печи. Отключить обе сетевые вилки от питающей сети.

3. Обработка результатов измерений.

1. По результатам измерений температуры вычислить значения, указанные в третьем и четвертом столбцах таблицы.
2. По результатам измерений напряжения термостолбика вычислить приращение потока излучения в относительных единицах по формуле (7).
3. Построить на миллиметровой бумаге графическую зависимость величины $\Delta\Phi$, в относительных единицах от величины $T^4 - T_0^4$. Через экспериментальные точки и начало координат провести наилучшую «на глаз» прямую. Если результаты измерений мало отклоняются от проведенной прямой, то они хорошо согласуются с законом Стефана – Больцмана.

Контрольные вопросы

1. Что такое энергетическая светимость и спектральная плотность энергетической светимости? Какая связь между ними?
2. Что такое тепловое излучение и каким законам оно подчиняется?
3. Какое тело является хорошей моделью АЧТ?
4. Почему и как излучение реальных тел отличается от излучения АЧТ?
5. В чем состоит методика проверки закона Стефана – Больцмана в данной работе?
6. Какой физический смысл имеет уравнение (6)?

Список литературы

1. *Мартинсон Л.К., Смирнов Е.В.* Квантовая физика. М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 496 с.
2. *Иродов И.Е.* Квантовая физика. Основные законы. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001 – 272 с.
3. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. М.: Высш. школа, 2000.
4. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 3-х т. Т. 3. М.: Наука, 1987.
5. *Бураковский Т., Гизинский Е., Саля А.* Инфракрасные излучатели. Л.: Энергия, 1978.
6. *Криксунов Л.З.* Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Сов. радио, 1978.