

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ
ЗАКОНОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе № 64
по курсу общей физики**

Уфа 2000

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра общей физики

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе № 64
по курсу общей физики

Уфа 2000

УДК 537.553.2 (07)

Составитель: А.С.Краузе

Экспериментальное изучение законов теплового излучения: Методические указания к лабораторной работе № 64 по курсу общей физики /Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. А.С. Краузе. - Уфа, 1998. -12 с.

Методические указания знакомят студентов с явлением теплового излучения. Описаны физические причины излучения электромагнитных волн нагретыми телами и приведены законы, которым это излучение подчиняется. Дано описание экспериментальной установки, на которой студенты получают кривые спектрального распределения нагретого тела при разных температурах.

Методические указания предназначены для студентов, изучающих курс общей физики.

Табл. 1. Ил.3. Библиогр. : 3 назв.

Рецензенты: Г. П. Михайлов,
М. П. Иванов

Содержание

1	Цель работы.....	4
2	Теоретическая часть	4
2.1	Тепловое излучение.....	4
2.2	Законы теплового излучения.....	6
3	Экспериментальная часть	8
3.1	Описание лабораторной установки	8
3.2	Требования к технике безопасности.....	10
3.3	Выполнение работы	11
4	Контрольные вопросы.....	12
	Список литературы.....	12

Лабораторная работа № 64

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1 Цель работы

1.1 Изучить основные закономерности теплового излучения.

1.2 Экспериментально получить спектральные кривые излучения нагретой нихромовой спирали при различных температурах и проверить выполнение закона смещения Вина и закона Стефана-Больцмана.

2 Теоретическая часть

2.1 Тепловое излучение

Тепловое излучение—это излучение электромагнитных волн нагретыми телами, возникающее за счет их внутренней энергии. Электромагнитное излучение обуславливается колебаниями электрических зарядов, входящих в состав вещества, то есть электронов и ионов. Колебания ионов, составляющих вещество, соответствуют излучению низкой частоты (инфракрасному), вследствие значительной массы колеблющихся зарядов. Излучение, возникающее в результате движения электронов, может иметь высокую частоту (видимое и ультрафиолетовое излучение), если электроны входят в состав атомов или молекул и, следовательно, удерживаются около своего положения равновесия значительными силами. В металлах, где много свободных электронов, излучение последних соответствует иному типу движения; в таком случае свободные электроны, приведенные в движение, испытывают нерегулярное торможение, и их излучение приобретает характер импульсов и характеризуется спектром различных длин волн, среди которых могут быть и волны низкой частоты. По этим причинам тепловое излучение имеет сплошной спектр.

Тепловое излучение воспринимается человеком как тепло или свет.

Область спектра электромагнитных волн, соответствующую тепловому излучению разделяют на спектральные диапазоны: ультрафиолетовый (0.2÷0.4 мкм), видимый (0.4÷0.76 мкм) и инфракрасные — ближний (0.76÷2.5 мкм), средний (2.5÷25 мкм) и дальний (25÷1000 мкм).

Излучение в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазоне обусловлено квантовыми переходами внешних электронов атомов. Излучение в среднем и дальнем инфракрасном диапазонах обусловлено вращательными и колебательными квантовыми переходами в молекулах, в кристаллической решетке твердых тел и другими видами

квантовых переходов. При этом вращательные переходы могут происходить одновременно с колебательными, в результате в спектре появляются колебательно-вращательные полосы.

Характер теплового излучения зависит не только от типа квантовых переходов, но и от агрегатного состояния вещества. Если спектр излучения нагретых газов является дискретным, то есть состоящим из отдельных линий, то твердые тела имеют сплошной спектр. Такое резкое различие объясняется принципиальным различием характера взаимодействия атомов и молекул в газе и твердом теле. Усиление этого взаимодействия в твердом теле приводит к уширению спектральных линий и их взаимному перекрытию. В результате спектр излучения твердых тел становится сплошным.

Излучение тела сопровождается потерей энергии. Для возможности длительного излучения энергии необходимо пополнять ее убыль, в противном случае излучение будет сопровождаться изменениями внутри тела и состояние излучающей системы будет непрерывно меняться. Так как источником теплового излучения является внутренняя энергия тела, то ее постоянство, то есть постоянство температуры нагретого тела, можно поддерживать двумя способами:

1) за счет поглощения излучающим телом теплового излучения из окружающего пространства;

2) в результате непосредственной передачи энергии телу при механическом контакте с более нагретыми телами.

Для теплового излучения справедлив первый способ поддержания постоянства температуры излучающего тела. В этом случае тело находится в состоянии термодинамического равновесия с окружающей средой. Таким образом, тепловое излучение является равновесным излучением. Такое равновесие между излучением и веществом может иметь место для любого тела (твердого, жидкого, газообразного).

Поскольку между нагретым телом и излучением устанавливается тепловое равновесие, то для каждого тела должно соблюдаться равенство между количеством испускаемой и поглощаемой им в единицу времени энергии. Для различных тел это равенство устанавливается на различном уровне. Если два тела поглощают разные количества энергии, то и их излучение должно быть различно (правило Прево, 1809 год). Чтобы не учитывать поглощательные свойства различных нагретых тел в теории теплового излучения вводится понятие абсолютно черного тела (АЧТ) — тела, которое полностью поглощает все падающее на него излучение. Из всех нагретых тел излучение АЧТ будет максимальным. В природе таких источников не существует, однако возможно создание источников теплового излучения, весьма близких по своим излучательным характеристикам к абсолютно черному телу. Простейшей, но хорошей моделью АЧТ может служить малое отверстие в замкнутой полости с непроницаемыми стенками.

2.2 Законы теплового излучения

Законы теплового излучения — это одна из тех проблем, в которых в начале 20 века наиболее отчетливо проявились противоречия классической физики. Классическая физика не смогла объяснить наблюдавшиеся закономерности в излучении нагретых тел. Таких закономерностей три:

1) энергетическая светимость или излучательность абсолютно черного тела R_3 (энергия, испускаемая единицей поверхности нагретого тела за единицу времени) прямо пропорциональна четвертой степени температуры T

$$R_3 = \sigma T^4 \quad (\text{закон Стефана-Больцмана}) \quad (2.1)$$

где $\sigma = 5,71 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$;

2) длина волны λ_{max} , на которую приходится максимум спектральной плотности излучательности абсолютно черного тела, обратно пропорциональна температуре

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} \quad (\text{I-й закон Вина, закон смещения}) \quad (2.3)$$

где $b = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$;

3) максимальное значение спектральной плотности излучательности абсолютно черного тела $\epsilon_0(\lambda, T)$ пропорционально пятой степени температуры

$$\epsilon_0(\lambda, T)_{\text{max}} = b' T^5 \quad (\text{II-й закон Вина}) \quad (2.3)$$

где $b' = 1.29 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{К}^{-5}$.

Смысл этих законов поясняется рисунком 2.1, на котором изображена спектральная кривая распределения энергии в излучении абсолютно черного тела $\epsilon_0(\lambda, T)$ (R_3 представляет из себя площадь, ограниченную этой кривой).

Решить эту проблему удалось в 1900 году. М. Планку на основе гипотезы о том, что тела могут излучать и поглощать энергию электромагнитного излучения не непрерывно (как в классической физике), а дискретными порциями — квантами, кратными величине $h\nu$, где ν — частота излучения, а h — постоянная, равная $6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, впоследствии названная постоянной Планка. Формула, полученная Планком, описывает распределение спектральной плотности излучения абсолютно черного тела

$$\epsilon_0(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}, \quad (2.4)$$

где k — постоянная Больцмана,
 c — скорость света.

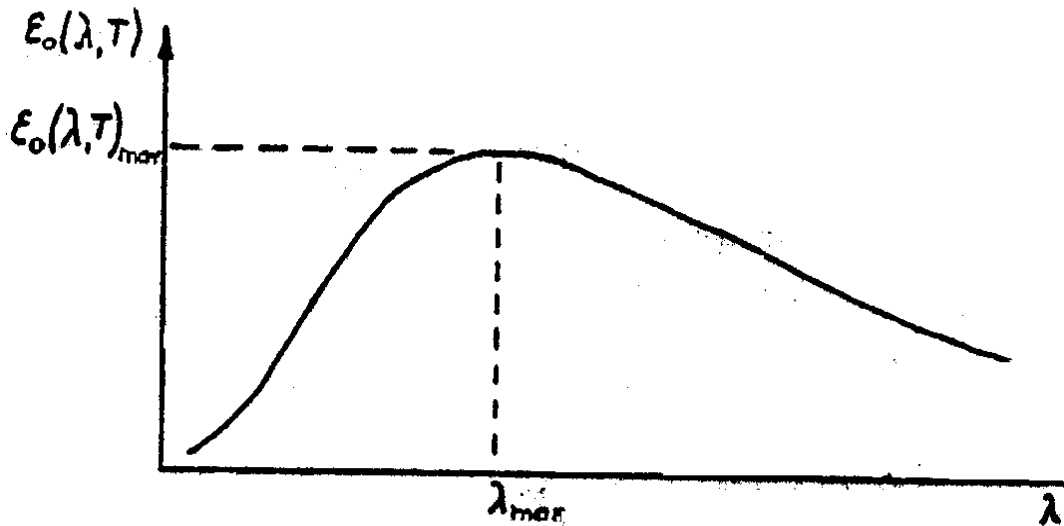


Рисунок 2.1

Формула Планка позволяет теоретически вывести законы излучения абсолютно черного тела и связать постоянную h с экспериментальными постоянными в законах (2.1)—(2.3).

На рисунке 2.2 приведены изотермы спектральной плотности излучения абсолютно черного тела для различных температур, из которых видно смещение максимума кривой в коротковолновую сторону и резкое возрастание интенсивности при увеличении температуры тела.

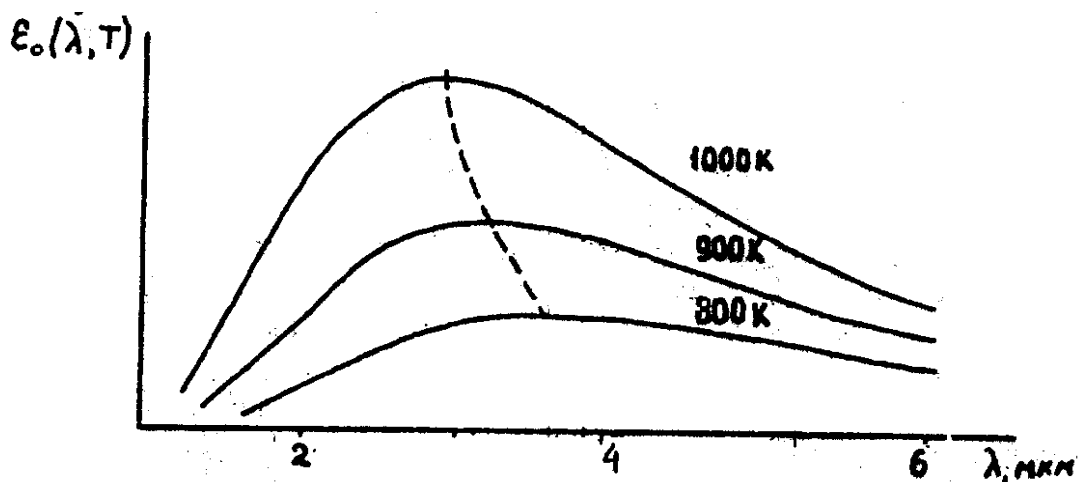


Рисунок 2.2

Энергетическая светимость реальных тел R'_λ всегда меньше энергетической светимости абсолютно черного тела R_λ при этой же температуре. Отношение R'_λ / R_λ называется коэффициентом излучения тела или степенью черноты. Он зависит от вида материала, обработки его поверхности и может изменяться с изменением длины волны излучения и температуры.

3 Экспериментальная часть

3.1 Описание лабораторной установки

Внешний вид установки показан на рисунке 3.1.

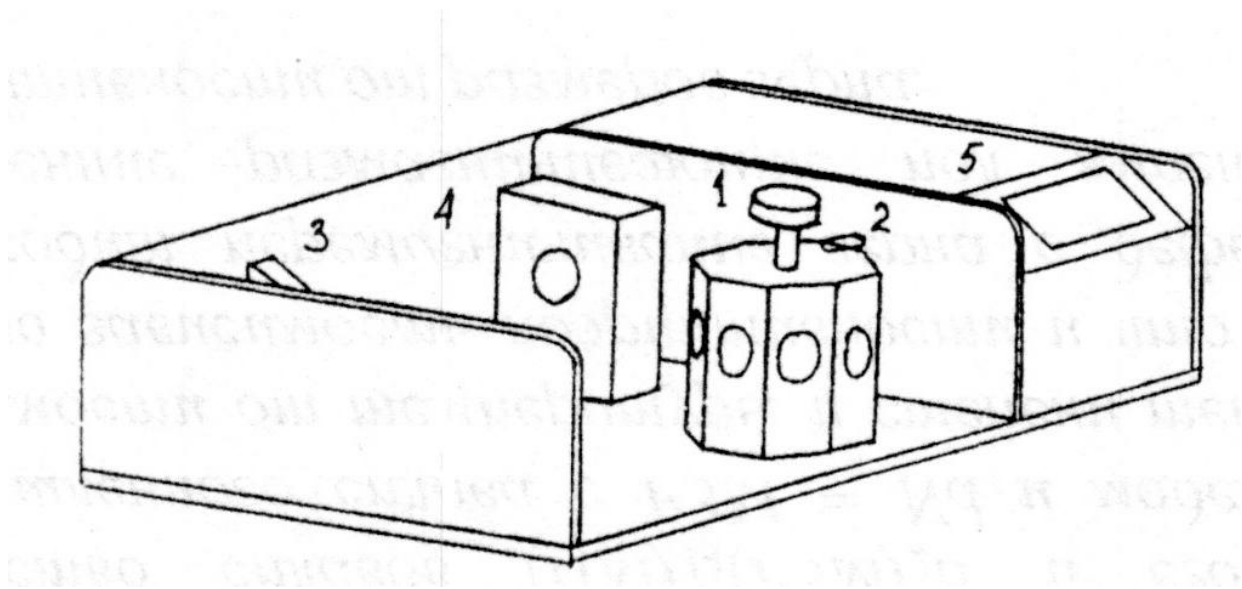


Рисунок 3.1

В ее левой части под прозрачным кожухом находится оптико-механическая схема. Она состоит из блока сменных светофильтров, переключение которых осуществляется вращением ручки 1 по часовой стрелке. Номер введенного светофильтра находится в окне 2. Поворот следует производить плавно до щелчка, означающего фиксацию положения фильтра. Внутри блока светофильтров расположен источник излучения и оптический модулятор с электродвигателем. Модулированное излучение от источника, пройдя через светофильтр, направляется сферическим зеркалом 3 на пироэлектрический приемник 4. В правой части установки размещен электронный блок, органы управления которым и индикатор находятся на лицевой панели 5.

Блок-схема установки представлена на рисунке 3.2.

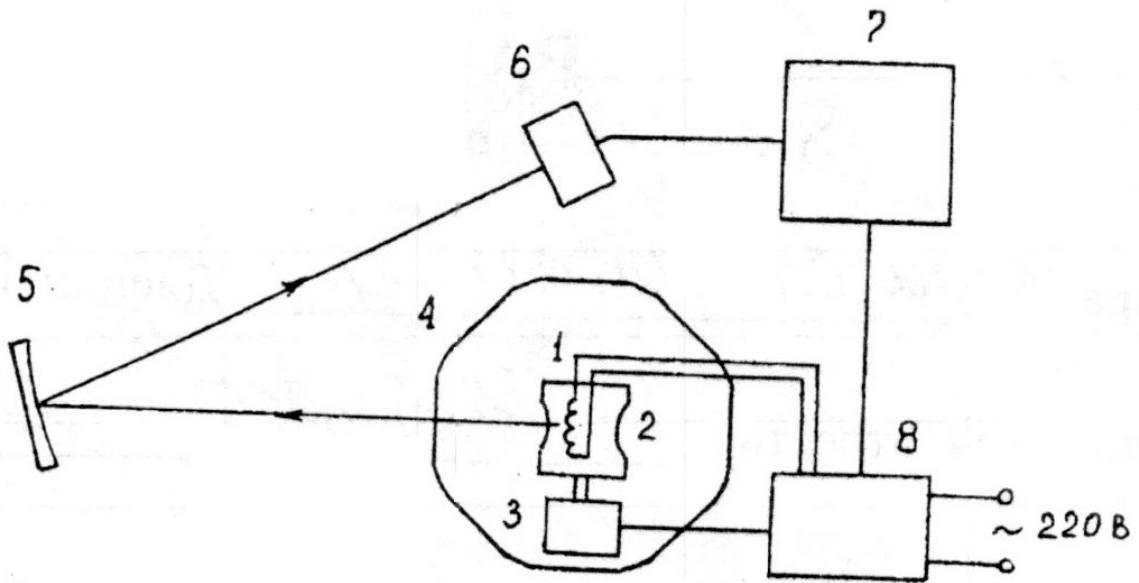


Рисунок 3.2

Она состоит из источника теплового излучения 1 (нихромовой спирали в форме цилиндра); механического модулятора светового потока, включающего обтюратор 2 и электродвигатель 3; набор оптических инфракрасных фильтров 4; сферического зеркала; пироэлектрического приемника излучения 6; электронного блока обработки сигнала фотоприемника с цифровым вольтметром 7 и блока питания 8. Поток излучения от нихромовой спирали 1 модулируется во времени 2, проходит через оптический фильтр 4 и фокусируется сферическим зеркалом 5 на фотоприемник 6. Модуляция потока осуществляется с целью устранения влияния фоновых засветок, уменьшения влияния внутренних шумов фотоприемника и электронных схем. Оптический узкополосный фильтр позволяет выделить из падающего потока излучения энергию узкого спектрального интервала. В установке применяются семь инфракрасных узкополосных фильтров. Сферическое зеркало дает изображение излучателя в плоскости чувствительной площадки фотоприемника. Величина напряжения сигнала на выходе фотоприемника пропорциональна величине падающего на фотоприемник светового потока $\Phi_{\lambda,T}$, а значит и $\epsilon(\lambda,T)$, так как $\Phi_{\lambda,T} = S \cdot \epsilon(\lambda,T)$, где S — площадь излучающей поверхности. Таким образом, показания цифрового вольтметра, выраженные в вольтах, пропорциональны величине спектральной плотности энергетической светимости. В данной работе измеряется не абсолютное значение $\epsilon(\lambda,T)$, а величина напряжения $U_{\epsilon_{\lambda,T}}$, пропорционального $\epsilon(\lambda,T)$. Нихромовый излучатель можно считать серым телом, так как спектральный коэффициент

излучения слабо зависит от длины волны. Поэтому форма кривой $\varepsilon_{\lambda,T}$, или в нашем случае $U\varepsilon_{\lambda,T}$, в относительных координатах должна практически совпадать с формой кривой, описываемой функцией Планка.

В настоящей работе построив зависимости $U\varepsilon_{\lambda,T}$ ($\lambda, T = \text{const}$) для различных температур, можно проверить выполнение законов Вина и Стефана-Больцмана следующим образом. Из экспериментально полученных кривых $U\varepsilon_{\lambda,T}$ ($\lambda, T = \text{const}$) определяют длину волны λ_{max} , на которой величина $\varepsilon_{\lambda,T}$ максимальна. Используя закон Вина, рассчитывают температуру излучателя по формуле

$$T_{\text{эксп}} = b / \lambda_{\text{max}}, \quad (3.1)$$

где $b = 2897.8 \cdot 10^{-6}$ м*К — постоянная Вина — и сравнивают вычисленное значение температуры с заданным в лабораторной установке.

Для проверки закона Стефана-Больцмана необходимо измерить величину напряжения $U_{R,T}$, пропорциональную $R_T = \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda, T) d\lambda$ для трех температур (в этом случае вместо узкополосного фильтра устанавливается нейтральный ослабитель № 8), и проверить справедливость соотношений

$$\frac{U_{R,T1}}{(T_1)^4} = \frac{U_{R,T2}}{(T_2)^4} = \frac{U_{R,T3}}{(T_3)^4} = \text{const}. \quad (3.2)$$

3.2 Требования к технике безопасности

Для питания экспериментальной установки используется бытовая электросеть напряжением 220 В. Подсоединение установки к сети осуществляется проводом с двухполюсной вилкой. Все токоведущие части установки закрыты, что исключает их случайное касание. Вся установка заземлена.

При выполнении работы необходимо:

- 1) внимательно ознакомиться с заданием и оборудованием;
- 2) проверить заземление установки и исправность токоведущих проводов, о замеченных неисправностях немедленно сообщить преподавателю или лаборанту;
- 3) не загромождать рабочее место посторонними предметами;
- 4) не оставлять без присмотра работающую лабораторную установку;
- 5) по окончании работы отключить выключателем питание установки, вынуть вилку из розетки и привести в порядок рабочее место.

Задание 2 Проверка закона смещения Вина.

1) Определить из графиков $U_{\varepsilon\lambda}(\lambda)$ величину λ_{\max} для трех температур.

2) Вычислить по формуле (3.1) экспериментальные значения температур T_1, T_2, T_3 .

3) Сравнить полученные значения с заданными величинами температур $T_1=900\text{K}, T_2=740\text{K}, T_3=630\text{K}$. Вычислить отклонение расчетных температур от заданных и относительную погрешность.

Задание 3 Проверка закона Стефана-Больцмана.

1) Включить установку и установить температуру T_1 .

2) Вращением рукоятки блока фильтров установить фильтр № 8. В этом случае устанавливается нейтральный ослабитель, который позволяет измерять величину U_{R_T} , пропорциональную энергетической светимости R_T в интервале длин волн от 2 до 20 мкм.

3) Включить двигатель модулятора, нажав кнопку «МОДУЛЯТОР» и измерить значение U_{R_T} для температур T_1, T_2, T_3 . Данные занести в таблицу.

4) Проверить выполнение соотношения (3.2).

5) Сравнить найденные отношения $\frac{U_{R_T}}{T^4_{\text{эксп}}}$ со значением постоянной

Стефана-Больцмана.

4 Контрольные вопросы

4.1 Какова природа теплового излучения?

4.2 Сформулируйте законы теплового излучения.

4.3 Что такое абсолютно черное тело и какому закону подчиняется спектральная плотность его излучения?

4.4 Что такое серое тело и в чем смысл коэффициента излучения реального тела? Опишите схему экспериментальной установки.

4.5 Для чего в данной работе модулируется световой поток?

4.6 Какими причинами может быть обусловлено расхождение теоретических и экспериментальных данных в этой работе?

Список литературы

- 1 Савельев И.В. Курс общей физики. Т.3.-М.: Наука, 1979.
- 2 Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. - М.: Высшая школа, 1989.
- 3 Трофимова Т.И. Курс физики. -М.: Высшая школа, 1990.

Составитель КРАУЗЕ Александр Сергеевич

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ
ЗАКОНОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе № 64
по курсу общей физики

Редактор З.Г. Кашаева
ЛБ № 020258 от 08.01.98.

Подписано к печати 05.12.2000. Формат 80 x 64 1/16.
Бумага оберточная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman
Усл. печ. л. 0,8. Усл.-кр.-отт. 0,8. Уч-изд.л. 0,7. Тираж 500 экз.
Заказ №

Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфимская типография № 2 Министерства печати и массовой информации
Республики Башкортостан

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12