

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

ФИЗИКА

Методические указания к лабораторным работам
для направления подготовки 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2015

УДК 53:69(075.8)

ББК 22.3:38я73

Ф50

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензент – кандидат физико-математических наук,
доцент П.П. Мельниченко (ПГУАС)

Физика: методические указания для направления подготовки
Ф50 08.03.01 «Строительство»/ Н.А. Очкина, З.А. Сидякина,
Т.С. Шмарова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 36 с.

Содержат описание экспериментальных установок и методику проведения измерений, порядок выполнения лабораторных работ и контрольные вопросы по курсу общей физики.

Методические указания подготовлены на кафедре «Физика и химия» и предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство».

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2015

© Очкина Н.А., Сидякина З.А.,
Шмарова Т.С., 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Крайне важным при изучении физических закономерностей является их экспериментальное исследование. Лабораторный практикум дает возможность студенту наблюдать и воспроизводить большинство изучаемых в курсе физических явлений, самостоятельно проверить на опыте физические закономерности и следствия из них, а также ознакомиться с важнейшими методами измерений, выработать навыки самостоятельной исследовательской работы и, прежде всего, правильного, технически грамотного измерения физических величин и оценки погрешностей их измерения.

В каждом семестре студенты, получая допуск, выполняют определенное количество лабораторных работ (в зависимости от выделяемых на этот вид занятий числа часов в данном семестре), представляя отчеты по каждой из них.

В результате освоения дисциплины «Физика» на лабораторных занятиях студент должен демонстрировать следующие результаты обучения:

– знать основные физические явления и основные законы физики; границы их применимости; основные физические величины и физические константы, их определение, смысл, способы и единицы их измерения;

– уметь использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-1); уметь выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

– владеть эффективными правилами, методами и средствами сбора, обмена, хранения и обработки информации; навыками работы с компьютером как средством управления информацией (ОПК-4).

ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ В ЛАБОРАТОРИЯХ ФИЗИКИ

Общие требования

Перед началом выполнения лабораторных работ учащиеся должны быть ознакомлены:

- с оборудованием и особенностями работы в лаборатории;
- с местом расположения главного рубильника в лаборатории;
- с комплексом противопожарного инвентаря и его расположением в помещении лаборатории;
- с месторасположением и содержимым медицинской аптечки оказания первой помощи пострадавшему;
- с планом эвакуации присутствующих в лаборатории при возникновении непредвиденных обстоятельств.

Учащийся обязан пройти первичный инструктаж на рабочем месте согласно утвержденной программе по технике безопасности с обязательной росписью в журнале и указанием даты проведения инструктажа. При прохождении занятий, не связанных с выполнением лабораторных работ, категорически запрещается трогать имеющееся в аудитории стендовое и лабораторное оборудование. Запрещается класть на приборы и соединительные провода книги, тетради, сумки и т.п.

Требования техники безопасности перед началом работ

Перед началом работ проверить наличие заземления приборов и целостности изоляции соединительных проводов. Подача напряжения на собранную схему допустима только после проверки схемы преподавателем и с его разрешения. Любые манипуляции по подключению или отключению приборов от источников питания поручаются только одному из группы учащихся, выполняющих данную лабораторную работу.

Требования техники безопасности при выполнении работ

Не разрешается производить любые переключения в схемах или при поданном на схему напряжении. Регулировка реостатов, потенциометров и других элементов схем производится только одной рукой.

При работе со стендами и лабораторными установками с вращающимися элементами особое внимание должно быть обращено на соблюдение дистанции учащегося по отношению к этим элементам с целью предотвращения попадания рук, волос, одежды под их динамическое воздействие.

Категорически запрещается вскрывать макеты лабораторных установок, защитные экраны, блоки контрольно-измерительной аппаратуры.

Требования техники безопасности при работе с источниками излучения

Безопасность при эксплуатации лазеров обеспечивается выполнением требований эксплуатационной документации и других нормативных документов.

Запрещается смотреть навстречу первичному или зеркально отраженному лучу лазера. При использовании источников ультрафиолетового излучения запрещается направлять излучение в глаза и находится под прямым воздействием излучения. После проведения измерений источники излучения должны быть выключены или экранированы.

Требования техники безопасности в аварийных ситуациях

В аварийных ситуациях отключение главного рубильника лаборатории производится немедленно ближайшим из работающих.

При появлении неисправности в аппаратуре и приборах необходимо немедленно отключить аппаратуру от сети и только после отключения проверить схему и устранять неисправности.

В случае поражения работающего электрическим током его необходимо немедленно освободить от токов, текущих в цепи, выключить главный рубильник лаборатории. При травмах, полученных от механического воздействия, при подозрении на переломы необходимо обеспечить покой пострадавшему. При получении травм оказать потерпевшему первую доврачебную помощь и вызвать по телефону 03 медицинскую бригаду.

Требования техники безопасности по окончании работ

После окончания лабораторной работы схема должна быть обесточена, сняты соединительные провода, источники излучения отключены, убрано рабочее место. Дежурные сдают оборудование лаборанту, наводят порядок в лаборатории и ставят в известность преподавателя.

Меры пожарной безопасности

В помещении лабораторий запрещается:

- хранить легко воспламеняющиеся жидкости;
- перегружать силовую и предохранительную сеть;
- применять источники открытого огня;
- пользоваться электронагревательными приборами;

- развешивать плакаты на сетевую и осветительную сеть;
- загромождать проходы.

Обо всех нарушениях правил пожарной безопасности сообщать преподавателю. В случае возникновения пожара немедленно начать эвакуацию людей из лаборатории, принять меры по его ликвидации, поставить в известность преподавателя и пожарную службу. Вызов пожарной команды осуществляется по номеру 01.

За нарушение правил и норм пожарной безопасности виновные несут ответственность согласно законодательству РФ.

Лабораторная работа №1
ПРОВЕРКА ФОРМУЛЫ ПУТИ
ПРИ РАВНОУСКОРЕННОМ ДВИЖЕНИИ НА МАШИНЕ АТВУДА
И ЕЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Цель работы – экспериментальное исследование характера прямолинейного движения тел в поле земного тяготения, проверка формулы пути равноускоренного движения методом прямого эксперимента с использованием машины Атвуда и методом компьютерного моделирования.

Приборы и принадлежности: машина Атвуда, набор грузов, IBM-совместимый персональный компьютер (ПК), пакет компьютерных программ по моделированию законов движения с помощью машины Атвуда.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Механическое движение – это изменение с течением времени взаимного расположения тел или их частей. Движение тел происходит в пространстве и во времени. Поэтому для описания движения материальной точки надо знать, в каких местах пространства эта точка находилась и в какие моменты времени она проходила то или иное положение.

Тело отсчета – произвольно выбранное тело, относительно которого рассматривается положение материальной точки. **Материальная точка** – тело, обладающее массой, размерами которого в данных условиях можно пренебречь. **Система отсчета** – совокупность системы координат и часов, связанных с телом отсчета. Различают два способа описания движения: координатный и векторный.

Перемещение – вектор, проведенный из начального положения движущейся точки в положение ее в данный момент времени.

Путь – длина участка траектории, пройденного материальной точкой с момента начала отсчета времени.

Траектория – линия, описываемая материальной точкой в пространстве при движении.

Для характеристики движения материальной точки вводится векторная величина — **скорость**, которая определяет как быстроту движения, так и его направление в данный момент времени. Мгновенная скорость, таким образом, есть векторная величина, равная первой производной радиус-вектора движущейся точки по времени, и вектор скорости направлен по касательной к траектории в сторону движения

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}. \quad (1.1)$$

Физическая величина, характеризующая быстроту изменения скорости по модулю и направлению, называется **ускорением**

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}. \quad (1.2)$$

Равноускоренное движение – движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени увеличивается на одну и ту же величину. Для равноускоренного движения справедливы следующие уравнения:

$a = \text{const}$ – уравнение ускорения;

$v = v_0 + at$ – уравнение скорости;

$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ – уравнение перемещения;

$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$ – уравнение координаты,

$2aS = v^2 - v_0^2$;

$a = \frac{v - v_0}{t}$,

где S – путь, пройденный материальной точкой;

x_0 и x – начальная и текущая координата материальной точки.

Масса – скалярная величина, являющаяся одной из основных характеристик материи, определяющая ее инерционные и гравитационные свойства. **Сила** – векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет свою форму и размеры.

Импульс тела – векторная величина, численно равная произведению массы тела на его скорость и имеющая направление скорости

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (1.3)$$

Импульс силы – векторная величина, численно равная произведению силы на время ее воздействия и имеющая направление силы

$$\vec{p}_F = \vec{F}t. \quad (1.4)$$

Законы Ньютона.

Первый закон Ньютона: существуют так называемые инерциальные системы отсчета, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние.

Второй закон Ньютона: ускорение, приобретаемое материальной точкой, прямо пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе материальной точки

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (1.5)$$

Второй закон Ньютона (импульсная форма закона): Скорость изменения импульса материальной точки равна действующей на него силе

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}. \quad (1.6)$$

Третий закон Ньютона: силы, с которыми действуют друг на друга материальные точки, всегда равны по модулю, противоположно направлены и действуют вдоль прямой, соединяющей эти точки

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}. \quad (1.7)$$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Наиболее очевидный путь исследования прямолинейного движения тел под действием силы тяжести – это изучение свободного падения. Однако этому методу существенно препятствует большая величина ускорения при свободном падении. Действительно, при малой высоте прибора время падения тела составит малые доли секунды, и ошибки фиксации начала и конца движения окажутся соизмеримыми со временем падения. При большой же высоте прибора падающее тело наберет значительную скорость, и сила сопротивления воздуха окажется соизмеримой с силой тяжести, которая при малых скоростях движения возрастает пропорционально скорости тела. Это, в свою очередь, приведет к уменьшению ускорения. Преодолеть указанные трудности (уменьшив ускорение до приемлемых величин) позволяет устройство, получившее название «машина Атвуда».

Основой машины Атвуда (рис. 1.1) является вертикальная штанга 1 со шкалой. На верхнем торце штанги закреплен легкий блок 2, способный вращаться с незначительным трением. Через блок перекинута тонкая нить с прикрепленными грузами 3 одинаковых масс m . С помощью тормоза 4 грузы могут удерживаться в состоянии покоя. На штанге крепятся два кронштейна 5 и 6 с фотоэлектрическими датчиками. Фотоэлектрический датчик верхнего кронштейна формирует импульс напряжения, сигнализирующий о начале движения, датчик нижнего кронштейна – импульс, сигнализирующий о конце движения. Верхний кронштейн – подвижный, его можно перемещать вдоль штанги и фиксировать в любом положении, задавая, таким образом, длину пути груза; нижний кронштейн – неподвижный.

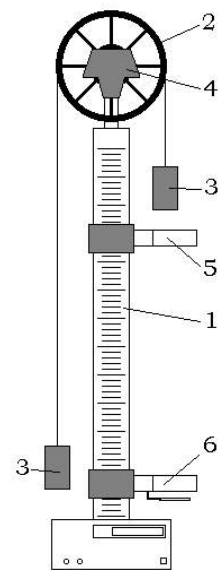


Рис. 1.1

Если на правый груз положить перегрузок массой m_1 , то система грузов, связанных нитью, начнет двигаться с некоторым ускорением a (рис. 1.2). Пренебрегая силой сопротивления воздуха, массой блока и силой трения в блоке, а также полагая нить нерастяжимой и невесомой,

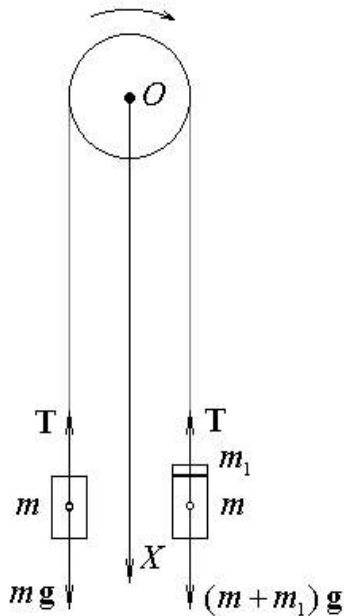


Рис. 1.2

можно считать, что на каждый груз действуют две силы: сила тяжести груза и сила натяжения нити. Причем силы натяжения, действующие на оба груза, в этом случае одинаковы.

Записав второй закон Ньютона для каждого из грузов и, решив совместно эти уравнения, получаем следующее уравнения для ускорения

$$a = \frac{m_1 g}{2m + m_1}. \quad (1.8)$$

Используя формулы кинематики для пути и скорости при прямолинейном равноускоренном движении и полагая в них $v_0 = 0$, ускорение тела можно найти по любой из двух формул:

$$a = \frac{2S}{t^2}, \quad (1.9)$$

$$a = \frac{v}{t}. \quad (1.10)$$

Порядок выполнения работы на реальной установке

1. Данные о массе грузов m и массе перегрузка m_1 внесите в табл. 1.1.
2. Вычислите по формуле (1.8) теоретическую величину ускорения $a_{\text{теор}}$, с которым будут двигаться грузы, и внесите значение этой величины в табл. 1.1.

Таблица 1.1

$m, \text{кг}$	$m_1, \text{кг}$	$a_{\text{теор}}, \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$

3. Включите установку, нажав клавишу «СЕТЬ». Если на табло «ВРЕМЯ» имеются ненулевые показания, то нажмите на клавишу «СБРОС».

4. Установите верхний кронштейн в некотором фиксированном положении и значение расстояния S между рисками верхнего и нижнего кронштейнов внесите в табл. 1.2.

5. Поместите на правый груз перегрузок.

6. Нижнюю грань правого груза совместите с риской, и нажмите клавишу «ПУСК». После того как правый груз пересечет оптическую ось фотоэлектрического датчика нижнего кронштейна, на табло высветится время движения груза t , которое внесите в табл. 1.2.

7. Нажмите на клавишу "СБРОС", отождмите клавишу «ПУСК» и повторите п. 6, чтобы для данного расстояния S получить четыре значения времени t .

8. Вычислите среднее значение времени $\langle t \rangle$ прохождения грузом данного расстояния. Подставив в формулу (1.9) значения S и $\langle t \rangle$, рассчитайте величину ускорения $a_{\text{эксп}}$. Значения величин $\langle t \rangle$ и $a_{\text{эксп}}$ внесите в табл. 1.2.

9. Нажмите на клавишу "СБРОС", отождмите клавишу «ПУСК» и измените положение верхнего кронштейна. Значение расстояния S между чертами верхнего и нижнего кронштейнов внесите в табл. 1.2 и повторите пп. 6-8, чтобы получить значения величин $\langle t \rangle$ и $a_{\text{эксп}}$ для трех значений расстояния S .

Т а б л и ц а 1 . 2

№ опыта	$S, \text{м}$	$t, \text{с}$	$\langle t \rangle, \text{с}$	$a_{\text{эксп}}, \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$	$\langle a_{\text{эксп}} \rangle, \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$	$\delta a, \%$

10. Рассчитайте среднее значение ускорения $\langle a_{\text{эксп}} \rangle$ и внесите его в табл. 1.2.

11. Вычислите относительное отклонение δa величины $\langle a_{\text{эксп}} \rangle$ от значения $a_{\text{теор}}$ по формуле

$$\delta a = \frac{|a_{\text{теор}} - \langle a_{\text{эксп}} \rangle|}{a_{\text{теор}}} \cdot 100\%. \quad (1.11)$$

Порядок выполнения работы на компьютерном имитаторе

1. Войдите в режим меню и с помощью «мыши», нажав на ее левую кнопку, выберите задание.
2. Введите последовательно из заданных интервалов массу перегрузка m_1 и высоту подъема правого груза S .
3. Данные о массе грузов m и массе перегрузка m_1 внесите в табл. 1.1, а значение расстояния S – в табл. 1.2.
4. Вычислите по формуле (1.8) ускорение $a_{\text{теор}}$, с которым должны двигаться грузы, и внесите это значение в табл. 1.1.
5. Нажмите на клавишу «Enter», а затем на любую клавишу. На экране монитора появится изображение лабораторной установки.
6. Нажмите на любую клавишу, секундомер отсчитает время прохождения груза данного расстояния S . Значение времени t внесите в табл. 1.2.
7. Нажмите на любую клавишу и повторите п. 6, чтобы для данного расстояния S получить четыре значения времени t .
8. Вычислите среднее значение времени $\langle t \rangle$ прохождения грузом данного расстояния. Подставив в формулу (1.11) значения S и $\langle t \rangle$, рассчитайте величину ускорения $a_{\text{эксп}}$. Значения величин $\langle t \rangle$ и $a_{\text{эксп}}$ внесите в табл. 1.2.
9. Дважды нажмите на любую клавишу и введите новое значение расстояния S между нижней гранью правого груза и сплошной платформой. Величину S внесите в табл. 1.2 и повторите пп. 6-9 с тем, чтобы получить значения величин $\langle t \rangle$ и $a_{\text{эксп}}$ для трех значений расстояния S .
10. Рассчитайте среднее значение ускорения $\langle a_{\text{эксп}} \rangle$ и внести его в табл. 1.2.
11. Вычислите относительное отклонение δa величины $\langle a_{\text{эксп}} \rangle$ от значения $a_{\text{теор}}$ по формуле (1.11).

Контрольные вопросы

1. Тело отсчета и система отсчета, материальная точка, координатный и векторный способы описания движения точки.
2. Перемещение, путь, траектория.
3. Скорость и ускорение точки. Формулы мгновенной скорости и мгновенного ускорения. Единицы измерения.
4. Какое движение называется равноускоренным? Основные формулы кинематики прямолинейного равноускоренного движения.
5. Масса и импульс тела, сила и импульс силы. Единицы измерения.
6. Законы Ньютона. Импульсная форма 2-го закона Ньютона.

Лабораторная работа №2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы – исследование зависимости энергетических характеристик электрической цепи от внешнего сопротивления.

Приборы и принадлежности: лабораторный комплекс ЛКЭ-2П, включающий источник тока, мультиметр, магазин сопротивлений и комплект соединительных проводов, а также IBM-совместимый персональный компьютер и пакет компьютерных программ, имитирующих работу лабораторной установки.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Электрическим током называется направленное движение электрически заряженных частиц. Одной из основных характеристик тока является **сила тока** – скалярная величина, равная отношению заряда δq , проходящего через поперечное сечение проводника за бесконечно малый промежуток времени dt , к величине этого промежутка:

$$I = \frac{dq}{dt}. \quad (2.1)$$

В СИ сила тока измеряется в амперах. За положительное направление тока условно принимается направление упорядоченного движения положительных зарядов. Если сила тока и его направление с течением времени не изменяется, то такой ток называется **постоянным**.

Для поддержания постоянного тока необходимо обеспечить круговорот электрических зарядов. Следовательно, электрическая цепь постоянного тока должна быть замкнутой.

Условия существования постоянного электрического тока:

- 1) наличие свободных зарядов;
- 2) наличие электрического поля, действующего на эти заряды и вызывающего их направленное движение;
- 3) электрическая цепь должна быть замкнутой.

Приборы, способные поддерживать постоянную разность потенциалов в проводниках, называются **источниками постоянного тока**. Ряд соединенных между собой проводников и источников тока образует электрическую цепь.

В источниках постоянного тока за счет химических реакций, фотоэлектрического эффекта и т.д. осуществляется пространственное разделение зарядов так, что на одном полюсе источника накапливается положительный заряд, а на другом – отрицательный. Возникающее при этом электрическое поле внутри источника противодействует разделению

зарядов. Следовательно, разделение осуществляется силами, имеющими неэлектростатическую природу. Эти силы называют **сторонними**.

Характеристикой источника тока является скалярная величина, равная работе, совершаемой сторонними силами по переносу единичного положительного заряда, и называемая **электродвижущей силой** (ЭДС):

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q}. \quad (2.2)$$

Полное электрическое сопротивление неоднородного участка R_{Σ} складывается из сопротивления нагрузки R (суммарное сопротивление всех резисторов и соединительных проводов) и внутреннего сопротивления источника тока r :

$$R_{\Sigma} = R + r. \quad (2.3)$$

Зависимость между силой тока I , напряжением на концах участка цепи U и полным сопротивлением R_{Σ} этого участка определяется **законом Ома** (1826 г.):

$$I = \frac{U}{R_{\Sigma}}. \quad (2.4)$$

Для замкнутой цепи закон Ома выглядит следующим образом:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (2.5)$$

Если ток проходит по неподвижному проводнику и не сопровождается химическими реакциями (как в случае тока в металле), то вся **работа по переносу зарядов** A , совершаемая электрическим полем, по закону сохранения энергии превращается в **теплоту** Q , выделяющуюся в этом проводнике, т.е.

$$A = Q = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t. \quad (2.6)$$

Выражение $Q = I^2Rt$ представляет собой **закон Джоуля–Ленца**. Согласно **закону Джоуля–Ленца**, количество теплоты, выделяемое в проводнике, пропорционально произведению квадрата силы тока, сопротивления и времени протекания тока.

Наряду с работой тока важной характеристикой электрической цепи является **мощность тока**. **Мощность тока** – это количество теплоты, выделяемой в проводнике в единицу времени. Она равна отношению теплоты, выделенной за время t , к этому интервалу времени, т.е.

$$P = \frac{Q}{t}. \quad (2.7)$$

Следовательно, $P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$.

Исследуем физические характеристики замкнутой электрической цепи, включающей внешнее сопротивление R , называемое полезной нагрузкой, и источник тока с электродвижущей силой ε и внутренним сопротивлением r .

При прохождении тока нагревается как внешнее, так и внутреннее сопротивление. **Полная тепловая мощность** P , выделяемая в цепи постоянного тока, складывается из **полезной мощности**

$$P_{\text{п}} = I^2 R, \quad (2.8)$$

выделяемой во внешней цепи, и **мощности тепловых потерь** $I^2 r$, выделяемой внутри источника тока, т.е.

$$P = I^2 R + I^2 r = I^2 (R + r). \quad (2.9)$$

Полная мощность развивается за счет сторонних сил, осуществляющих разделение зарядов в источнике тока.

Используя закон Ома для замкнутой цепи [см. формулу (2.5)], выражения для полезной и полной тепловых мощностей можно записать в виде

$$P_{\text{п}} = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2} \quad (2.10)$$

и

$$P = \varepsilon I = \frac{\varepsilon^2}{(R + r)}. \quad (2.11)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) электрической цепи определяется как отношение полезной мощности $P_{\text{п}}$ к полной мощности P :

$$\eta = \frac{P_{\text{п}}}{P} = \frac{R}{R + r}. \quad (2.12)$$

Исследуем графически и аналитически выражения (2.10) и (2.12).

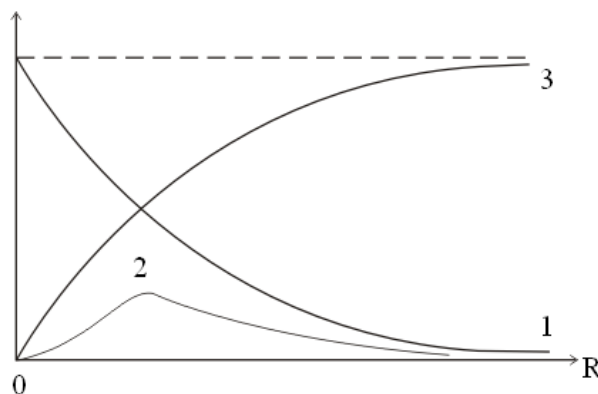


Рис. 2.1. Зависимости силы тока и полной мощности (1), полезной мощности (2) и КПД (3) от сопротивления нагрузки

Полная мощность P и сила тока в цепи I отличаются постоянным множителем [см. формулу (2.11)], поэтому их зависимости от сопротивления нагрузки R подобны (кривая 1 на рис. 2.1). Эти величины максимальны при $R=0$, т.е. при коротком замыкании источника. Как видно из формул (2.10) и (2.12), при этом равны нулю $P_{\text{п}}$ и η (кривые 2 и 3).

При $R=r$ полная мощность и сила тока равны половинам своих максимальных значений, КПД равен 0,5, а полезная мощность достигает своего максимального значения, равного половине полной мощности при этой нагрузке.

Можно убедиться, что при равенстве сопротивления нагрузки и внутреннего сопротивления источника тока полезная мощность максимальна.

При неограниченном увеличении сопротивления нагрузки как полная мощность, так и полезная мощность стремятся к нулю (кривые 1 и 2), а КПД – к единице (кривая 3).

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторный комплекс ЛКЭ-2П является универсальным стендом, представляющим собой плитовой каркас с размещенными на нем электроэлементами, узлами и измерительными приборами (рис. 2.2). Комплект соединительных проводов позволяет собирать из деталей и узлов комплекса лабораторные установки, ориентированные на проведение конкретных исследований цепей постоянного тока.

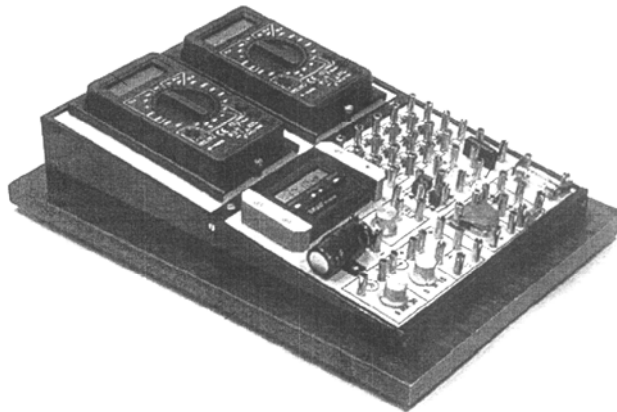


Рис. 2.2. Лабораторный комплекс ЛКЭ-2П

При выполнении данной лабораторной работы используется лишь часть электроэлементов стенда: щелочной аккумулятор, являющийся источником тока; портативный мультиметр в качестве амперметра и магазин сопротивлений. С помощью комплекта соединительных проводов из этих элементов собирается исследуемая электрическая цепь.

Аккумулятор подключается через клеммы «┘», «+12В». **Магазин сопротивлений** состоит из четырех рядов резисторов. В каждом ряду

также четыре резистора, которые внутренним монтажом соединены последовательно, а сами ряды между собой не соединены.

Мультиметр подключается через гнезда «com» и «10А» или «com» и «200mA», а поворотным переключателем мультиметра включается соответствующий диапазон измерений. Измерительная схема мультиметра, включающая гнездо «200mA», защищена плавким предохранителем, сгорающим, если измеряемый ток превышает 200mA даже на 10%. Поэтому если величина измеряемого тока неизвестна или предположительно может превышать 200 мА, то при сборке схемы используют гнездо «10А».

Порядок выполнения работы на реальной установке

1. Внешним осмотром убедитесь в исправности установки, отсутствии механических повреждений и нарушении изоляции проводов.

2. Включите мультиметр в режим измерения тока до 10 А.

3. Используя соединительные провода, соберите цепь из последовательно соединенных источника тока, мультиметра и крайнего слева резистора нижнего ряда магазина сопротивлений ($R_1 = 1 \text{ Ом}$). Измерьте значение силы тока I_1 в цепи и запишите его в первой строке третьей графы табл. 2.1.

4. Выбирая из магазина сопротивлений нужный резистор или используя последовательное соединение нескольких резисторов, наберите сопротивление нагрузки R_n , указанное в следующей строке табл. 2.1., измерьте значение силы тока I_n и внесите его в соответствующую графу табл. 2.1.

5. Повторяя пп. 4-6, заполните полностью третью графу табл. 2.1.

6. Для обработки результатов измерений перейдите к компьютеру.

7. На экране монитора в меню «Физическая лаборатория», подведя курсор и щелкнув левой кнопкой мыши, откройте раздел «Электричество и магнетизм». Затем, этой же кнопкой выберите лабораторную работу «Определение энергетических характеристик электрической цепи постоянного тока» и, подведя курсор, активируйте клавишу «Выполнить». При этом откроется окно с изображением передней панели и описанием лабораторной установки ЛКЭ-2П.

8. Наведите мышью курсор на клавишу «Реальной установке» и левой кнопкой активируйте ее.

9. В таблицу на экране монитора для каждого сопротивления нагрузки ввести значения силы тока, полученные на реальной установке и зафиксированные в табл. 2.1.

10. Наведите мышью курсор на клавишу «Далее» и нажмите левую кнопку мыши. Занесите значения ЭДС и внутреннего сопротивления в табл. 2.1.

11. Следуя указаниям на экране монитора для каждого значения сопротивления нагрузки, рассчитайте значения аппроксимирующей функции тока I , полной мощности P , полезной мощности $P_{\text{п}}$ и КПД η , используя соответственно формулы (2.5), (2.10)-(2.12). Результаты занесите в табл. 2.1.

12. Сравнивая значения тока в цепи, полученные экспериментально, с соответствующими значениями аппроксимирующей функции тока, убедитесь в корректности аппроксимации. Аппроксимацию считают корректной, если максимальное отклонение экспериментально измеренного тока от соответствующего значения аппроксимирующей функции не превышает 10-15%. Величину отклонения рассчитайте по формуле

$$\delta I = \frac{|I_n - I|}{I} \cdot 100\% . \quad (2.13)$$

Максимальное отклонение внести в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2.1

Номер измерения n	Сопротивление нагрузки R_n , Ом	Измеренное значение тока I_n , А	Значение аппроксимирующей функции тока I , А	Полная мощность P , Вт	Полезная мощность $P_{\text{п}}$, Вт	КПД η , %
1	1					
2	4					
3	10					
4	14					
5	40					
6	54					
7	84					
8	140					
9	184					
10	300					
11	440					
ЭДС ε , В		Внутреннее сопротивление r , Ом		Максимальное отклонение силы тока δI_{max} , %		

13. Постройте графики аппроксимирующей функции тока; зависимостей полной и полезной мощности, а также КПД от сопротивления нагрузки.

14. На график аппроксимирующей функции тока нанесите экспериментальные значения силы тока I_n .

Порядок выполнения лабораторной работы на компьютерном имитаторе

1. Выполните п. 7 раздела «Порядок выполнения лабораторной работы на реальной установке».
2. Наведите мышью курсор на клавишу «Компьютерном имитаторе» и левой кнопкой активируйте ее.
3. Выберите сопротивление «1 Ом» в таблице на экране монитора, щелкнув по нему левой кнопкой мыши. На изображении панели лабораторной установки цифрами будут обозначены клеммы, которые необходимо соединить.
4. Наведите мышью курсор последовательно на каждую из обозначенных клемм, активируя их левой кнопкой мыши.
5. Повторите п. 4 до образования замкнутой цепи. Установите предел измерения мультиметра «10А». Результат измерения появится в соответствующей графе таблицы экрана монитора. Этот результат занесите в третью графу табл. 2.1.
6. Разберите схему, наведите мышью курсор на кнопку следующего сопротивления, активируйте ее и повторите пп. 4-6 (выбирая соответствующий измеряемому току предел измерения мультиметра) до полного заполнения таблицы на экране монитора.
7. С помощью мыши активизируйте клавишу «Просмотр графиков» и занесите в табл. 2.1 появившиеся на экране монитора значения ЭДС и внутреннего сопротивления.
8. Выполните пп. 11-14 раздела «Порядок выполнения лабораторной работы на реальной установке».

Контрольные вопросы

1. Что такое электрический ток? Что принимают за направление электрического тока?
2. Что называется проводниками электрического тока? Типы проводников.
3. Что такое сила тока? В чем она измеряется? Формула.
4. Какой ток называют постоянным? Условия существования постоянного тока.
5. Что такое источники тока? Сторонние силы. Что такое электродвижущая сила? В чем она измеряется?
6. Разность потенциалов. Электрическое напряжение. Укажите единицы измерения разности потенциалов и напряжения.
7. Электрическое сопротивление. Единица измерения электрического сопротивления.

8. Закон Ома для участка цепи. Закон Ома для замкнутой цепи.
9. Работа и мощность тока, их единицы измерения.
10. Закон Джоуля – Ленца.
11. Коэффициент полезного действия электрической цепи. Единица измерения.
12. Запишите формулы для полной и полезной мощности. Зависимости полной и полезной тепловых мощностей, а также КПД от сопротивления нагрузки.

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА

Цель работы – исследование температурной зависимости энергетической светимости абсолютно черного тела.

Приборы и принадлежности: термоизолированная электропечь с отверстием в передней стенке, моделирующая абсолютно черное тело; термостолбик – приемник теплового излучения; термоэлектрический термометр; измерительное устройство, IBM-совместимый персональный компьютер и пакет компьютерных программ по моделированию процесса теплового излучения абсолютно черного тела.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Из всех видов излучения наиболее распространённым является температурное, или тепловое. **Тепловым излучением** называется электромагнитное излучение, возникающее за счет внутренней энергии излучающего тела и зависящее только от температуры и оптических свойств этого тела.

Количественной мерой энергии, излучаемой телом в единицу времени, является **поток (мощность) излучения** Φ_e , численно равный отношению энергии δQ_e , переносимой излучением за малый промежуток времени dt , к величине этого промежутка

$$\Phi_e = \frac{\delta Q_e}{dt}. \quad (3.1)$$

Поток теплового излучения, испускаемый с единицы площади поверхности излучателя в телесный угол 2π во всем интервале длин волн, называется **энергетической светимостью** M_e :

$$M_e = \frac{\delta \Phi_e}{dS}. \quad (3.2)$$

Для характеристики распределения излучения по длинам волн, т.е. для оценки энергетической светимости в единичном спектральном диапазоне, используют **спектральную плотность энергетической светимости** $M_{e,\lambda}$ – физическую величину, численно равную отношению энергетической светимости δM_e в малом спектральном интервале (от λ до $\lambda + d\lambda$) к ширине этого интервала:

$$M_{e,\lambda} = \frac{\delta M_e}{d\lambda}. \quad (3.3)$$

При падении на тело поток излучения в общем случае разделяется на три части: одна часть пропускается телом, другая отражается, а третья поглощается и, увеличивая внутреннюю энергию тела, повышает его температуру. С количественной стороны эти части характеризуются:

коэффициентом пропускания

$$\tau = \frac{\Phi_{\text{пр}}}{\Phi_{0e}}, \quad (3.4)$$

коэффициентом отражения

$$\rho = \frac{\Phi_{\text{отр}}}{\Phi_{0e}} \quad (3.5)$$

коэффициентом поглощения

$$\alpha = \frac{\Phi_{\text{погл}}}{\Phi_{0e}}, \quad (3.6)$$

где Φ_{0e} – поток (мощность) падающего излучения;

$\Phi_{\text{пр}}$ – поток прошедшего излучения;

$\Phi_{\text{отр}}$ – поток отражённого излучения;

$\Phi_{\text{погл}}$ – поток поглощённого излучения.

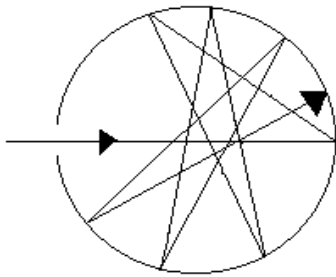


Рис. 3.1

Тело, для которого $\rho = 0$, $\tau = 0$, $\alpha = 1$ называется **абсолютно чёрным**.

Абсолютно черное тело при любой температуре полностью поглощает всю энергию падающего на него излучения любой длины волны. Наиболее совершенной моделью абсолютно чёрного тела может служить малое отверстие в замкнутой полости (рис. 3.1).

Спектральной характеристикой поглощения электромагнитных волн телом является **спектральный коэффициент поглощения** α_{λ} – величина, определяемая отношением поглощённого телом потока излучения в малом спектральном интервале (от λ до $\lambda + d\lambda$) к потоку падающего на него излучения в том же спектральном интервале:

$$\alpha_{\lambda,T} = \frac{\delta\Phi_{e\text{погл}}}{\delta\Phi_{e\text{пад}}}. \quad (3.7)$$

Поглощательная способность тел зависит от их химического состава, состояния поверхности и температуры. По определению не может быть больше единицы. Тело, для которого $\alpha_{\lambda,T} = \alpha_T = \text{const} < 1$, называют серым, его поглощательная способность одинакова для всех длин волн, зависит от температуры и химического состава тела и меньше единицы.

Излучательная и поглощательная способности непрозрачного тела взаимосвязаны. Отношение спектральной плотности энергетической

светимости равновесного излучения тела к его спектральному коэффициенту поглощения не зависит от природы тела; для всех тел оно является универсальной функцией длины волны и температуры (**закон Кирхгофа**):

$$\frac{M_{e,\lambda}}{\alpha_\lambda} = f(\lambda, T). \quad (3.8)$$

Для абсолютно чёрного тела $\alpha_\lambda = 1$. Поэтому из закона Кирхгофа следует, что $M_{e,\lambda} = f(\lambda, T)$, т.е. универсальная функция Кирхгофа $f(\lambda, T)$ представляет собой спектральную плотность энергетической светимости абсолютно чёрного тела.

$$\lambda_{\max} = \frac{b_1}{T}. \quad (3.9)$$

Таким образом, функция $M_{e,\lambda}^0$ достигает максимума при длине волны, обратно пропорциональной термодинамической температуре абсолютно черного тела (**первый закон Вина**).

Первый закон Вина называют так же **законом смещения**, подчёркивая тем самым, что с ростом температуры максимум спектральной плотности энергетической светимости сдвигается в сторону меньших длин волн.

Нетрудно показать, что максимальное значение функции $M_{e,\lambda}^0$ пропорционально пятой степени термодинамической температуры тела (**второй закон Вина**):

$$M_{e,\lambda(\max)}^0 = b_2 T^5,$$

где $b_2 = 1,29 \cdot 10^5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}^5}$.

$$M_e^0 = \sigma T^4, \quad (3.10)$$

Энергетическая светимость абсолютно чёрного тела пропорциональна четвёртой степени его термодинамической температуры. Это положение носит название **закона Стефана – Больцмана**, а коэффициент пропорциональности $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ – постоянной Стефана – Больцмана.

Абсолютно чёрное тело является идеализацией реальных тел. Реальные тела испускают излучение, спектр которого не описывается формулой Планка. Их энергетическая светимость, кроме температуры, зависит от природы тела и состояния его поверхности. Эти факторы можно учесть, если в формулу (3.10) ввести коэффициент k_T , показывающий, во сколько раз энергетическая светимость абсолютно чёрного тела при данной температуре больше энергетической светимости реального тела при той же температуре

$$k_T = \frac{M_e}{M_e^0}, \quad (3.11)$$

$$\text{откуда } M_e = k_T M_e^0, \text{ или } M_e = k_T \delta T^4. \quad (3.12)$$

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ

Измерение энергии излучения и температуры электропечи основано на эффекте Зеебека, заключающемся в возникновении электродвижущей силы в электрической цепи, состоящей из нескольких разнородных проводников, контакты которых имеют различную температуру.

Два разнородных проводника образуют термопару, а последовательно соединенные термопары – термостолбик. Если контакты (обычно спаи) проводников находятся при различных температурах, то в замкнутой цепи, включающей термопары, возникает термоЭДС, величина которой однозначно определяется разностью температур горячих и холодных контактов, количеством последовательно соединенных термопар и природой материалов проводников.

Величина термоЭДС, возникающей в цепи за счет энергии падающего на спаи термостолбика излучения, измеряется милливольтметром, размещенным на передней панели измерительного устройства.

Температура абсолютно черного тела (печи) измеряется с помощью термоэлектрического термометра, состоящего из одной термопары. Её ЭДС измеряется милливольтметром, также расположенным на передней панели измерительного устройства и проградуированным в °С.

В данной работе проводят измерение термоЭДС термостолбика, величина которой пропорциональна энергии, затраченной на нагревание одного из контактов каждой термопары столбика, и, следовательно, энергетической светимости (при равных интервалах времени между измерениями и неизменной площади излучателя):

$$M_e^0 = b \cdot \varepsilon, \quad (3.13)$$

где b – коэффициент пропорциональности.

Приравнивая правые части равенств (3.10) и (3.13), получаем:

$$\sigma \cdot T^4 = b \cdot \varepsilon,$$

$$\text{откуда } \frac{\varepsilon}{T^4} = \frac{\sigma}{b} = c,$$

где c – постоянная величина.

Используя экспериментально полученные значения температуры абсолютно черного тела (печи) и соответствующие им значения термоЭДС термостолбика, определяют значение коэффициента пропорциональности

$c \left(c = \frac{\varepsilon}{T^4} \right)$, которое во всех опытах должно быть одинаковым. Затем строят график зависимости $c = f(T)$, который должен иметь вид прямой, параллельной оси температур.

Таким образом, в лабораторной работе устанавливается характер зависимости энергетической светимости абсолютно черного тела от его температуры, т.е. проверяется закон Стефана–Больцмана.

Порядок выполнения работы на реальной установке

1. Установите термостолбик так, чтобы его отверстие находилось напротив отверстия на передней панели печи на расстоянии 3 см от него.

2. Включите измерительное устройство и дать ему прогреться в течение 5 мин. При этом на индикаторах термоЭДС приемника излучения и разности температур спаев термопары печи должны установиться значения не более 0,03 и 000 соответственно.

3. Включите печь, нажав синюю клавишу на передней панели печи (при этом выключатель вентилятора «ВЕНТ» должен быть в положении «ОТКЛЮЧЕНО»). По индикаторам измерительного устройства убедитесь, что температура печи увеличивается.

4. По мере нагрева печи, начиная с разности температур спаев от 100°C до 700°C , через каждые 50°C записывайте в табл. 3.1 показания температуры печи $\Delta t, ^{\circ}\text{C}$, и соответствующие им показания индикатора термоЭДС ε . После этого выключатель «СЕТЬ» переведите в положение «ОТКЛЮЧЕНО» и включите вентилятор.

5. После охлаждения печи до комнатной температуры отключите вентилятор и измерительное устройство.

6. Снимите показание настенного термометра лаборатории $t_0, ^{\circ}\text{C}$, и для получения подлинных температур печи $t, ^{\circ}\text{C}$, к снятым значениям температуры $\Delta t_i, ^{\circ}\text{C}$, прибавьте значение температуры в помещении ($t_i = t_0 + \Delta t_i$). Выразите полученные температуры в Кельвинах ($T_i = t_i + 273$).

Таблица 3.1

Номер измерения i	$\Delta t_i, ^{\circ}\text{C}$	T_i, K	$\varepsilon_i, \text{мВ}$	$c_i, \frac{\text{В}}{\text{K}^4}$	$\Delta c_i, \frac{\text{В}}{\text{K}^4}$	$\delta c, \%$
1	100					
...	...					
13	700					
				$\langle c \rangle, \frac{\text{В}}{\text{K}^4}$	$\langle \Delta c \rangle, \frac{\text{В}}{\text{K}^4}$	

7. По формуле $c = \frac{\varepsilon}{T^4}$ подсчитайте значение коэффициента c_i для каждого значения T_i и постройте график зависимости этого коэффициента от температуры печи $c = f(T)$.

8. Определите среднее значение $\langle c \rangle$ по всем измерениям и рассчитайте абсолютную Δc и относительную δc погрешности этой величины:

$$\langle c \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n}; \quad \langle \Delta c \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta c_i|}{n}; \quad \delta c = \frac{\langle \Delta c \rangle}{\langle c \rangle} \cdot 100\%,$$

где $\Delta c_i = |c_i - \langle c \rangle|$;

i – номер измерения,

n – число измерений.

Порядок выполнения работы на компьютерном имитаторе

1. Выберите лабораторную работу «Исследование теплового излучения абсолютно черного тела» и, подведя курсор, активируйте клавишу «Выполнить». При этом откроется окно с изображением и описанием имитируемого прибора. Ознакомьтесь с устройством прибора нажав кнопку «Далее».

2. Включите последовательно измерительное устройство и печь, нажав на соответствующие кнопки на панелях.

3. По мере нагрева печи, начиная с разности температур спаев от 100°C до 700°C , через каждые 50°C записать в табл. 3.1 показания температуры печи $\Delta t, ^\circ\text{C}$, и соответствующие им показания индикатора термоЭДС ε .

4. Выполните пп. 6-8 «Порядка выполнения работы на реальной установке».

Контрольные вопросы

1. Какое излучение называется тепловым?
2. Дайте определения основным величинам, характеризующим тепловое излучение. Запишите для них формулы. Каковы их единицы измерения?
3. Дайте определение абсолютно черного тела. Приведите примеры.
4. Что такое коэффициент пропускания, отражения, поглощения?
5. Сформулируйте закон Кирхгофа.
6. Сформулируйте закон Стефана – Больцмана для абсолютно черного и для серого тела.
7. Как изменяется кривая распределения энергии в спектре абсолютно черного тела с изменением температуры? Сформулируйте законы Вина.
8. Каковы цель и порядок выполнения работы?

Лабораторная работа №4
ПРОВЕРКА ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ
НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Цель работы – проверка первого начала термодинамики на основе компьютерного моделирования процессов взаимного превращения электрической, тепловой и механической энергии.

Приборы и принадлежности: IBM-совместимый персональный компьютер и пакет компьютерных программ по моделированию изотермического сжатия и изобарного расширения в термодинамической системе.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Термодинамика изучает взаимопревращение различных видов энергии, теплоты и работы. В ее основе лежат фундаментальные законы, называемые началами или принципами термодинамики, которые были установлены путем обобщения многочисленных опытных данных.

Первое начало представляет собой закон сохранения энергии для так называемых термодинамических систем, т.е. систем, в которых существенное значение имеют тепловые процессы. Более строго, под **термодинамической системой** понимается совокупность макроскопических объектов (тел), обладающих внутренней энергией и способных обмениваться энергией как друг с другом, так и с внешней средой, т.е. с телами, которые являются внешними по отношению к данной системе.

Внутренняя энергия системы складывается из кинетической энергии движения ее микрочастиц и потенциальной энергии их взаимодействия. Эта энергия может изменяться как за счет совершения над системой работы, так и путем сообщения ей определенного количества теплоты. Поэтому можно говорить о двух формах передачи энергии от одного тела другому: работе и теплоте.

Работа – мера передачи механической энергии, связанная с перемещением тела как целого или взаимным перемещением отдельных его макрочастей. **Теплота** – это энергия, передаваемая системе внешними телами путем теплообмена, т.е. процесса обмена внутренними энергиями при контакте тел с разными температурами.

В соответствии с первым началом термодинамики теплота Q , переданная системе, идет на изменение ее внутренней энергии U и на совершение работы против внешних сил A , т.е.

$$Q = \Delta U + A. \quad (4.1)$$

Используя первый закон термодинамики, рассмотрим различные процессы в газах, сопровождающиеся изменениями внутренней энергии. Начнём с процессов в идеальном газе.

Идеальным газом называют идеализированную модель реальных газов, удовлетворяющую следующим условиям:

- а) потенциальная энергия взаимодействия молекул пренебрежимо мала по сравнению с кинетической энергией их хаотического движения;
- б) удары молекул о стенки сосуда являются абсолютно упругими;
- в) собственный объем молекул пренебрежимо мал по сравнению с объемом сосуда, в котором находится газ;

В частном случае, когда исследуемой системой является идеальный газ, внутренняя энергия складывается только из кинетических энергий теплового движения молекул и вычисляется по формуле

$$U = \frac{i}{2} \nu RT, \quad (4.2)$$

где ν – количество вещества;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура газа;

i – число степеней свободы молекулы газа.

Процесс, при котором один из макроскопических параметров состояния данной массы газа остаётся постоянным, называется **изопроцессом**.

1) **Изотермическим** называется процесс, протекающий при постоянной температуре ($T = \text{const}$). Для изотермического процесса справедлив **закон Бойля-Мариотта**:

Давление данной массы газа ($m = \text{const}$) при постоянной температуре изменяется обратно пропорционально его объему

$$pV = \text{const} \quad (4.3)$$

Графически в координатах p , V изотермические процессы изображаются при различных значениях температур семейством гипербол $p \sim \frac{1}{V}$, которые называются изотермами. Так как коэффициент пропорциональности в этом соотношении увеличивается с ростом температуры, то изотерма, соответствующая большему значению температуры, располагается выше изотермы, соответствующей меньшему значению температуры (рис. 4.1).

Так как при изотермическом процессе постоянна температура ($\Delta T = 0$), то внутренняя энергия газа не изменяется ($\Delta U = 0$).

При изотермическом процессе количество теплоты, переданное газу от нагревателя, полностью расходуется на совершение работы:

$$Q = A$$

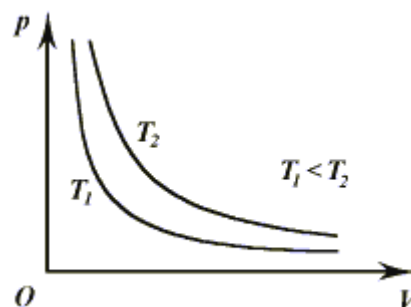


Рис. 4.1

2) **Изобарным** называется процесс, протекающий при постоянном давлении ($p = \text{const}$). Для изобарного процесса справедлив **закон Гей-Люссака**:

Для данной массы газа при постоянном давлении отношение объема газа к его термодинамической температуре постоянно:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \text{ или } \frac{V}{T} = \text{const}. \quad (4.4)$$

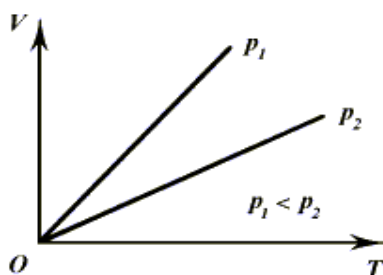


Рис. 4.2

В координатах V, T изобарные процессы при разных значениях давления изображаются семейством прямых линий (рис. 4.2), которые называются изобарами. При изобарном расширении газа подведенное количество теплоты расходуется на увеличение его внутренней энергии и на совершение газом работы:

$$Q = \Delta U + A.$$

3) **Изохорным** называется процесс изменения состояния данной массы газа при постоянном объеме ($V = \text{const}$). Для изохорного процесса справедлив **закон Шарля**:

Для данной массы газа отношение давление газа к его термодинамической температуре постоянно:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \text{ или } \frac{p}{T} = \text{const}. \quad (4.5)$$

В координатах p, T изохорные процессы для данной массы газа при различных значениях объема изображаются семейством прямых линий, которые называются изохорами. Большим значениям объема соответствуют изохоры с меньшим наклоном к оси температур (рис. 4.3).

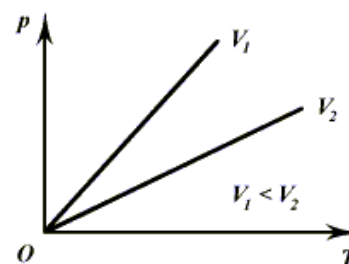


Рис.4.3

При изохорном процессе объём газа остаётся постоянным ($\Delta V = 0$), поэтому газ не совершает работу ($A = 0$).

Изменение внутренней энергии газа происходит за счет теплообмену с окружающими телами

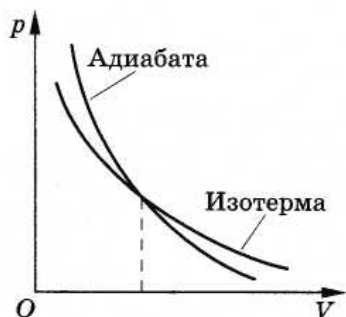
$$Q = \Delta U.$$

4) Адиабатный процесс

Для наиболее эффективного преобразования внутренней энергии газа в механическую работу необходимо предотвратить возможные потери внутренней энергии в результате теплопередачи окружающим телам. Для этого систему теплоизолируют. Теплоизолированной называют систему, не обменивающуюся энергией с окружающими телами ($Q = 0$).

Термодинамический процесс в теплоизолированной системе называют **адиабатным**.

Для адиабатного процесса первый закон термодинамики имеет вид $0 = \Delta U + A$ или $-\Delta U = A$ (4.6)



Зависимость давления газа от его объема при адиабатном процессе изображается кривой, называемой адиабатой (рис. 4.4). Адиабата идет круче изотермы. Это объясняется тем, что при адиабатном расширении давление газа уменьшается не только за счет увеличения объема, как при изотермическом процессе, но и за счет уменьшения его температуры.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Выбрав в качестве исследуемой термодинамической системы идеальный газ, его, как правило, заключают в цилиндр под поршень, что в принципе позволяет изолировать газ от внешней среды, оценить изменение объема и измерить механическую работу, совершенную газом против внешних сил при его расширении. Однако здесь возникают новые практические трудности. Во-первых, необходимо исключить утечку газа из подпоршневого пространства и при этом ограничить силу трения, чтобы позволить поршню легко перемещаться под небольшим давлением идеального (т.е. весьма разреженного) газа. Во-вторых, весьма непросто оценить количество теплоты, полученное собственно газом, при условии, что и цилиндр, и поршень теплопроводны, обладают конечной теплоемкостью и излучательной способностью. Наконец, совсем нелегко измерить с требуемой точностью работу расширяющегося газа против внешних сил, если в эти силы входит реальная сила трения, а поршень совершает колебания относительно точек равновесия.

Все экспериментальные трудности легко преодолеваются при переходе от физического к имитационному эксперименту. Имитационный эксперимент по проверке первого начала термодинамики сводится к следующему. Поршень под действием собственной силы тяжести опускается с высоты L_1 до L_2 (рис.4.5) и сжимает воздух в цилиндре. Воздух считается идеальным двухатомным газом (число степеней свободы $i = 5$). Перепад высот $L_1 - L_2$ зависит как от конструктивных параметров установки (массы поршня M и площади поперечного сечения цилиндра S), так и от характера процесса сжатия газа. В данной работе моделируется изотермический процесс сжатия.

Затем сжатый под поршнем газ нагревается электронагревателем и, расширяясь, совершает работу по подъему поршня (рис.4.6). Высота подъема $L_3 - L_2$ зависит от количества теплоты, получаемого газом. Если при расширении газ с находящимся в нем электронагревателем термоизолирован, то высота подъема поршня будет однозначно связана с количеством электрической энергии, потребленной электронагревателем и превращенной в теплоту. Сравнивая количество теплоты, рассчитанное с использованием экспериментально полученной высоты подъема поршня, с теплотой, выделенной электронагревателем, можно оценить точность, с которой выполняется первое начало термодинамики в данном имитационном эксперименте.

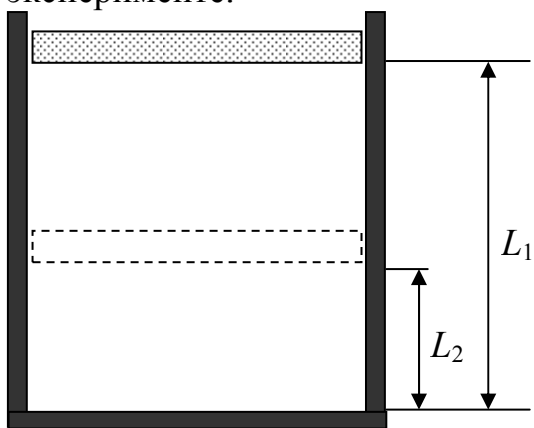


Рис.4.5. Изотермическое сжатие

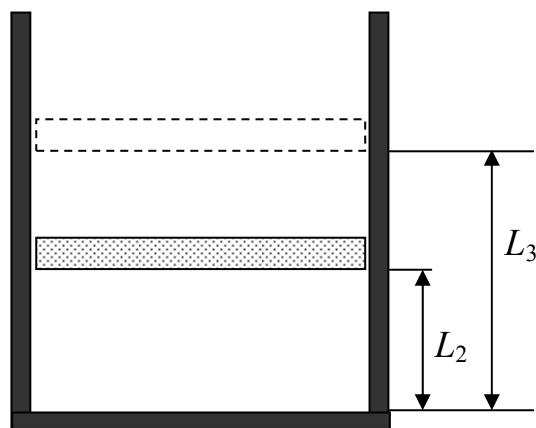


Рис.4.6. Изобарное расширение

Особую роль в эксперименте играет сила трения. Сжатый газ ("газовая пружина") и поршень образуют пружинный маятник, колебания которого в отсутствие трения оказались бы незатухающими. Только благодаря трению возможна после нескольких колебаний остановка поршня как при его опускании под действием силы тяжести, так и при его подъеме в результате нагревания и расширения газа.

Учитывая вышеизложенное, первое начало термодинамики для процесса расширения газа под поршнем можно, с достаточной степенью точности, записать в виде:

$$Q \approx \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R (T_2 - T_1) + Mg(L_3 - L_2) + F_{\text{тр}}(L_3 - L_2), \quad (4.7)$$

где Q – количество теплоты, полученное газом;
 m, μ – масса и молярная масса газа под поршнем, соответственно;
 M – масса поршня;
 $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ – ускорение свободного падения;
 $T_2 - T_1$ – приращение температуры газа при его расширении;
 $L_3 - L_2$ – высота подъема поршня в результате расширения газа;
 $F_{\text{тр}}$ – сила трения.

Учитывая изобарность процесса и используя уравнение Клапейрона-Менделеева, уравнение (4.7) можно переписать в виде

$$Q \approx \left(\frac{i}{2} p_0 S + \frac{i+2}{2} Mg + F_{\text{тр}} \right) (L_3 - L_2). \quad (4.8)$$

$$F_{\text{тр}} = M \left(g - \frac{2L_1}{t_n^2} \right), \quad (4.9)$$

где t_n – время падения поршня с высоты L_1 до основания цилиндра.

Итак, уравнение (4.8) позволяет на основе результатов трех последовательных имитационных экспериментов вычислить количество теплоты, получаемое газом от нагревателя. С другой стороны, количество электрической энергии, которую потребляет и превращает в теплоту нагреватель в ходе эксперимента, изначально задано (задаются напряжение, ток и время работы нагревателя) и определяется законом Джоуля-Ленца:

$$Q' = UIt. \quad (4.10)$$

Здесь необходимо напомнить, что отклонение точек остановки поршня от точек равновесия носит случайный характер. Следовательно, эксперименты по получению параметров L_2 и L_3 следует проводить многократно, вычисляя для каждой пары экспериментов по формуле (4.8) величину Q .

ОПИСАНИЕ ИМИТИРУЕМОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит из цилиндра с находящимся в нем идеальным газом под массивным поршнем. Установка имеет неизменяемые параметры, приведенные в таблице 4.1, в качестве идеального газа используется двухатомный газ с числом степеней свободы $i = 5$.

Параметрами, которыми варьируют в процессе проведения лабораторной работы, являются масса поршня M и время t протекания электрического тока через электронагреватель.

Т а б л и ц а 4.1

$L_1, \text{м}$	$S, \text{м}^2$	$p_0, \text{Па}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$
0,15	$1,37 \cdot 10^{-4}$	10^5	12	0,02

Т а б л и ц а 4.2

Номер опыта	Масса поршня $M, \text{кг}$	Рабочая высота цилиндра $L_1, \text{м}$	Время падения $t, \text{с}$	Сила трения	
				$F_{\text{тр}}, \text{Н}$	$\langle F_{\text{тр}} \rangle, \text{Н}$
1		0,15			
2					
...					

Т а б л и ц а 4.3

Номер опыта	$M, \text{кг}$	$t, \text{с}$	$L_2, \text{м}$	$L_3, \text{м}$	$Q, \text{Дж}$	$\langle Q \rangle, \text{Дж}$	$Q', \text{Дж}$	$\delta Q, \%$
1								
2								
3								

Порядок выполнения работы и обработки результатов моделирования

1. Выберите лабораторную работу «Проверка первого начала термодинамики», выберите первое задание «Определение силы трения».

2. Задайте массу поршня, выбрав любое значение из диапазона $1,5 \leq M \leq 2,7$ кг.

3. Продолжайте выполнение работы, пользуясь указаниями на экране компьютера.

4. Полученные значения массы поршня и времени внесите в табл. 4.2. Повторите пп.2-3, три-пять раз, задавая различные массы или одну и ту же массу поршня. Массу поршня, при которой выполнялся последний эксперимент по определению силы трения, занесите в табл. 4.3.

5. Выберите второе задание «Изотермическое сжатие». Продолжайте выполнение работы, пользуясь указаниями на экране компьютера.

6. Полученные данные занесите в табл. 4.3. Используя данные табл. 4.2 и формулу (4.9), рассчитайте силу трения по результатам каждого эксперимента, а затем найдите ее среднее значение.

7. По данным табл. 4.1 и с учетом среднего значения силы трения (табл.4.2) рассчитайте величину Q по формуле (4.8) для каждой пары значений L_2 и L_3 и внесите полученные результаты в табл. 4.3.

8. Определите среднее значение $\langle Q \rangle$ по формуле

$$\langle Q \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i,$$

где n – число пар экспериментов.

9. По формуле (4.10) рассчитайте величину Q' и внесите её в табл. 4.3.

10. Относительную погрешность эксперимента рассчитайте по формуле

$$\delta Q = \frac{|Q' - \langle Q \rangle|}{Q'} \cdot 100\%$$

и её величину внесите в табл. 4.3. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое работа, количество теплоты и внутренняя энергия?
2. Как найти внутреннюю энергию идеального газа?
3. Что такое число степеней свободы? Какие значения может принимать число степеней свободы?
4. Дайте характеристику изопроцессам в идеальном газе; сформулируйте соответствующие законы; запишите формулы; начертите графики $p(V)$, $p(T)$, $V(T)$ для каждого процесса. (Для адиабатного – $p(V)$ и $S(T)$.)
5. Сформулируйте и запишите первое начало термодинамики.
6. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимова, Т.И. Курс физики [Текст] / Т.И. Трофимова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014.
2. Детлаф, А.А. Курс физики [Текст] / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Высшая школа, 2006.
3. Савельев, И.В. Курс общей физики [Текст]: в 3 томах / И.В. Савельев. – М.: Наука, 2007.
4. Бондарев, Б.В. Курс общей физики [Текст]: учеб. пособие в 3 кн. / Б.В. Бондарев, Н.П. Калашников, Г.Г. Спирын. – М.: Высшая школа, 2005.
5. Ландсберг, Г.С. Элементарный учебник физики [Текст]: в 3 томах / Г.С. Ландсберг. – М.: Физматлит, 2012.
6. Зисман, Г.А. Курс общей физики [Текст] : в 3 томах: в 3 томах / Г.А. Зисман, О.М. Годес.– Киев: Днипро, 1994.
7. Стафеев, С.К. Основы оптики [Текст]: учебное пособие / С.К. Стафеев, К.К. Боярский, Г.Л. Башнина. – СПб.: Питер, 2006.
8. Фен, Дж. Машины, энергия, энтропия [Текст] / Дж. Фен. – М.: Мир, 1986.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Лабораторная работа №1 ПРОВЕРКА ФОРМУЛЫ ПУТИ ПРИ РАВНОУСКОРЕННОМ ДВИЖЕНИИ НА МАШИНЕ АТВУДА И ЕЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ	7
Лабораторная работа №2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА	13
Лабораторная работа №3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА	21
Лабораторная работа №4 ПРОВЕРКА ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	27
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	35

Учебное издание

Очкина Наталья Александровна
Сидякина Зоя Александровна
Шмарова Татьяна Сергеевна

ФИЗИКА

Методические указания к лабораторным работам
для направления подготовки
08.03.01 «Строительство»

В авторской редакции
Верстка Т.Ю. Симутина

Подписано в печать 18.05.15. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 2,09. Уч.-изд.л.2,25. Тираж 80 экз.
Заказ № 162.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28