

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ФИЗИКА НА ЗАОЧНОМ ФАКУЛЬТЕТЕ
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЧАСТЬ I. МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И
ТЕРМОДИНАМИКА**

ДГТУ
Ростов-на-Дону
2022

ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа по физике для студентов первого курса заочной формы обучения – это вид самостоятельной работы, предполагающий самостоятельное решение физических задач по темам лекционного материала.

Для обучающихся заочной формы обучения по дисциплине «Физика» во 2 семестре предусмотрена одна контрольная работа №1, соответствующая разделам: «Механика», «Молекулярная физика и термодинамика» и одна контрольная работа №2 в 3 семестре, соответствующая разделам «Электричество и магнетизм», «Волновая и квантовая оптика».

Условия задач для выполнения контрольной работы №1 содержатся в учебно-методическом пособии «Физика на заочном факультете. Контрольные задания и лабораторный практикум. Часть I. Механика. Молекулярная физика и термодинамика», а для выполнения контрольной работы № 2 – в учебно-методическом пособии «Физика на заочном факультете. Контрольные задания и лабораторный практикум. Часть II. Электричество и магнетизм. Волновая и квантовая оптика».

Правила оформления контрольной работы

Номер варианта контрольной работы определяется по последней цифре номера зачетной книжки. Контрольная работа должна быть оформлена в тетради, написана от руки разборчивым почерком, иметь нумерацию страниц и список использованных источников. К обложке тетради приклеивается титульный лист установленного образца (см. файл Титульный лист) с заполненными данными студента.

Задачи контрольной работы должны иметь те номера, под которыми они стоят в учебно-методическом пособии. Решения контрольных задач располагаются в порядке номеров, указанных в задании. Перед каждой задачей необходимо записать ее условие. Условия задач переписываются полностью, затем делается краткая запись условия задачи, где числовые

данные выписываются столбиком. Каждую задачу желательно начинать с новой страницы.

Решение задачи должно содержать:

- необходимый рисунок или схему, поясняющий решение задачи;
- названия формул, используемых при решении;
- словесные пояснения физических величин (как заданных, так и введенных во время решения);
- исчерпывающие пояснения хода решения задачи;
- вывод формул для искомых физических величин в «буквенном» виде;
- проверку размерности;
- получение числовых значений искомых физических величин.

Задание следует выполнять аккуратно, без пропуска задач. Если содержание контрольной работы отвечает предъявляемым требованиям, то она допускается к защите. При неудовлетворительном выполнении контрольной работы она возвращается на доработку.

ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 1

ВАРИАНТ 0.

Контрольная работа №1

- 0.1 Тело брошено с вышки в горизонтальном направлении со скоростью 8 м/с. Определить тангенциальную и нормальную составляющие ускорения тела в момент времени, когда скорость тела достигает 10 м/с. Сопротивление воздуха не учитывать.
- 0.2 Колесо, вращаясь равноускоренно, через время 60 с после начала движения стало вращаться с частотой 720 об/мин. Найти угловое ускорение колеса и полное число оборотов колеса, совершенных за это время.
- 0.3 Тело массой 0.5 кг движется прямолинейно, причем зависимость пройденного телом пути S от времени t задается уравнением $S = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 5 \text{ м/с}^2$ и $D = -1 \text{ м/с}^3$. Найти силу F , действующую на тело в конце первой секунды движения.
- 0.4 Однородный стержень длиной 1 м и массой 0.5 кг вращается в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через его середину. С каким угловым ускорением вращается стержень, если момент силы, вызывающий ускорение стержня, равен 100 Н/м?
- 0.5 С какой скоростью вылетит из пружинного пистолета шарик массой 10 г, если пружина была сжата на 5 см? Жесткость пружины равна 200 Н/м.
- 0.6 Момент импульса вала, вращающегося с частотой 10 об/с, равен 8 кгм/с. Найти кинетическую энергию вала.
- 0.7 Определить частоту гармонических колебаний диска радиусом 20 см около горизонтальной оси, проходящей через середину радиуса диска перпендикулярно его плоскости.
- 0.8 Найти смещение от положения равновесия точки, отстоящей от источника колебаний на расстоянии $\lambda/12$ (λ - длина волны), для момента времени $T/6$ (T - период колебаний). Амплитуда колебаний $A = 0.05 \text{ м}$.
- 0.9 Определить, сколько молекул водорода содержится в баллоне емкостью 50 л под давлением $1.5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ при температуре 18°C . Какова плотность водорода?
- 0.10 Газ массой 6 кг занимает объем 8 м^3 при давлении $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и температуре 250 К. Какой объем будет занимать тот же газ массой 5 кг при давлении $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и температуре 300 К.
- 0.11 Определить суммарную кинетическую энергию поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде объемом 3 л под давлением 540 кПа.
- 0.12 Вычислить удельную теплоемкость при постоянном объеме смеси кислорода и азота, если масса кислорода составляет 25% от массы смеси.
- 0.13 Кислород нагревается при постоянном давлении, равном 80 кПа. При этом его объем увеличивается от 1 м^3 до 3 м^3 . Определить изменение внутренней энергии кислорода и работу, совершенную им при расширении, а также количество тепла, сообщенное газу.
- 0.14 Объем водорода при изотермическом расширении при температуре 300 К. увеличился в три раза. Определить работу, совершенную газом, и теплоту, полученную им при этом. Масса водорода равна 200 г.
- 0.15 Определить плотность водорода, если средняя длина свободного пробега его молекул равна 0.1 см.
- 0.16 Найти вязкость азота при нормальных условиях, если коэффициент диффузии для него равен $1.42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

ВАРИАНТ 1.

Контрольная работа №1

- 1.1 Уравнение движения точки $x = A + Bt + Ct^3$, где $A = 1$ м; $B = 2$ м/с; $C = 4$ м/с³. Определить значения скорости и ускорения для моментов времени $t = 1$ с и $t = 2$ с и среднюю скорость в интервале времени от $t = 1$ с до $t = 2$ с.
- 1.2 Вал вращается с частотой 180 об/мин. С некоторого момента времени вал начал вращаться равнозамедленно с угловым ускорением -3 рад/с². Через какое время вал остановится и сколько оборотов он сделает до остановки?
- 1.3 Вагон массой 20 т, имея начальную скорость 54 км/час, начал двигаться равнозамедленно с ускорением $a = -0.3$ м/с². Какая сила торможения действует на вагон? Через какое время вагон остановится? Какое расстояние вагон пройдет до остановки?
- 1.4 На барабан радиусом 0.5 м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой 10 кг. Найти момент инерции барабана, если известно, что груз опускается с ускорением 2м/с².
- 1.5 Гиря, положенная на верхний конец спиральной пружины, сжимает ее на 2 мм. На сколько сожмет пружину та же гиря, упавшая на конец пружины с высоты 5 см?
- 1.6 Карандаш длиной 15 см, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую скорость и линейную скорость будет иметь верхний конец карандаша в конце падения?
- 1.7 За какую часть периода точка, совершающая гармоническое колебание, пройдет путь, равный: 1) половине амплитуды, если в начальный момент она находилась в положении равновесия; 2) одной трети амплитуды, если в начальный момент она была максимально удалена от положения равновесия?
- 1.8 Найти длину волны колебания, период которого 10^{-10} с. Скорость распространения колебаний равна $3 \cdot 10^8$ м/с.
- 1.9 В баллоне емкостью 3 м³ находится 1.4 кг азота и 2 кг гелия. Определить температуру газовой смеси и парциальное давление гелия, если парциальное давление азота равно $1.3 \cdot 10^5$ Па.
- 1.10 При температуре 727°C газ занимает объем 8 л и производит давление $2 \cdot 10^5$ Па на стенки сосуда. Определить давление этого газа при температуре 23°C, если он будет занимать объем 160 л.
- 1.11 Средняя кинетическая энергия молекул воздуха равна $5.5 \cdot 10^{-21}$ Дж, концентрация молекул $2.8 \cdot 10^{25}$ м⁻³. Определить давление воздуха.
- 1.12 Определить удельные теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме газообразной окиси углерода, считая этот газ идеальным.
- 1.13 Один килограмм углекислого газа изобарно нагрет от 268 до 400 К. Определить работу, совершаемую газом при увеличении его объема, и изменение внутренней энергии этого газа.
- 1.14 Водород занимает объем 10 м³ при давлении 0.1 Па. Газ нагрели при постоянном объеме до давления 0.3 МПа. Определить изменение внутренней энергии газа, работу, совершаемую газом, и количество тепла, сообщенное газу.
- 1.15 Найти среднее число столкновений молекул азота в единицу времени при давлении 50 кПа и температуре 27°C.
- 1.16 Найти коэффициент диффузии и вязкость воздуха при давлении 100 кПа и температуре 10°C. Диаметр молекул воздуха равен 0.3 нм.

ВАРИАНТ 2.

Контрольная работа №1

- 2.1 По прямой линии движутся две материальные точки согласно уравнениям:
 $x_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$; $x_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$,
 где $A_1 = 10 \text{ м}$; $B_1 = 1 \text{ м/с}$; $C_1 = -2 \text{ м/с}^2$;
 $A_2 = 3 \text{ м}$; $B_2 = 2 \text{ м/с}$; $C_2 = 0.2 \text{ м/с}^2$.
 В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковы? Найти ускорения a_1 и a_2 этих точек в момент времени $t = 3 \text{ с}$.
- 2.2 При равнозамедленном движении за 60 с частота вращения колеса уменьшилась от 300 об/мин до 180 об/мин . Найти угловое ускорение колеса и число оборотов N , совершенных колесом за это время.
- 2.3 Поезд массой 500 т после выключения тяги локомотива останавливается под действием силы трения 100 кН за 1 мин . С какой начальной скоростью двигался поезд?
- 2.4 К ободу колеса радиусом 0.5 м и массой 50 кг приложена касательная сила 100 Н . Найти угловое ускорение колеса. Через какое время после начала действия этой силы частота вращения колеса достигнет величины 100 об/с ? Колесо считать однородным диском. Трением пренебречь.
- 2.5 Вагон массой 20 т двигался со скоростью 1 м/с . Налетев на пружинный буфер, он остановился, сжав пружину буфера на 10 см . Определить жесткость пружины.
- 2.6 Определить полную кинетическую энергию обруча массой 1.6 кг , катящегося со скоростью $V = 1.5 \text{ м/с}$.
- 2.7 Определить амплитуду, частоту и начальную фазу колебания, уравнение которого, выраженное в системе СИ, имеет вид: $x = \cos \frac{\pi}{5} (4t + 3)$.
- 2.8 Период колебаний первого математического маятника 3 с , второго – 5 с . Определить период колебаний третьего математического маятника, длина которого равна сумме длин первого и второго маятников.
- 2.9 В баллоне объемом 10 л находится гелий под давлением 1 МПа и при температуре 300 К . После того, как из баллона было выпущено 10 г гелия, температура в баллоне понизилась до 290 К . Определить давление гелия, оставшегося в баллоне.
- 2.10 Газ, при температуре 300 К , находится под давлением $2.8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и занимает объем 0.8 м^3 . Определить изменение температуры этого газа, если при давлении $1.6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ он занял объем 1.4 м^3 .
- 2.11 Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул воздуха, при давлении 10^5 Па , равна $6.5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$. Определить концентрацию молекул воздуха.
- 2.12 Определить молярные теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме газа, состоящего по массе на 85% из кислорода и на 15% из озона.
- 2.13 Кислород массой 160 г нагрет изобарно на 100 К . Определить работу газа при его расширении, а также изменение внутренней энергии этого газа.
- 2.14 Баллон емкостью 20 л с кислородом при давлении 10^7 Па и температуре 7° С нагревают до температуры 27° С . Какое количество тепла при этом сообщено кислороду? Найти изменение внутренней энергии кислорода при нагревании.
- 2.15 Найти среднюю длину свободного пробега молекул углекислого газа при температуре 100° С и давлении 13 Па . Диаметр молекул углекислого газа 0.32 нм .
- 2.16 Во сколько раз вязкость кислорода больше вязкости азота? Температура газов одинакова.

ВАРИАНТ 3.

Контрольная работа №1

- 3.1 Уравнение движения материальной точки вдоль оси x имеет вид: $x = A + Bt + Ct^3$, где $A = 2 \text{ м}$; $B = 1 \text{ м/с}$; $C = -0.5 \text{ м/с}^3$. Найти координату x , скорость и ускорение точки в момент времени $t = 2 \text{ с}$.
- 3.2 По дуге окружности радиусом 10 м вращается точка. В некоторый момент времени нормальное ускорение точки $a_n = 4.9 \text{ м/с}^2$, а вектор полного ускорения \vec{a} образует с вектором нормального ускорения угол $\alpha = 60^\circ$. Найти линейную скорость и тангенциальное ускорение a_t точки в этот момент времени.
- 3.3 Поезд массой 500 т , двигаясь равнозамедленно, в течение 1 мин уменьшает свою скорость от 40 км/час до 28 км/час . Найти силу торможения.
- 3.4 К ободу однородного диска радиусом 0.2 м приложена касательная сила 100 Н . Кроме того, при вращении на диск действует момент сил трения 5 Нм . Найти массу диска, если известно, что диск вращается с угловым ускорением 100 рад/с^2 .
- 3.5 Снаряд, летящий со скоростью 500 м/с , разорвался на два осколка. Меньший осколок, масса которого составляет 0.2 части от общей массы снаряда, полетел в противоположном направлении со скоростью 200 м/с . Определить скорость большего осколка.
- 3.6 К ободу диска массой 5 кг приложена касательная сила 200 Н . Какую кинетическую энергию будет иметь диск через время 5 с после начала действия этой силы?
- 3.7 Материальная точка совершает колебание, уравнение которого, выраженное в системе СИ, имеет вид: $x = 2 \cos \frac{\pi}{3} (2t + 3)$. Определить скорость и ускорение колеблющейся точки через 3 с после начала колебаний.
- 3.8 Точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях: $x = a \sin t$ и $y = a \cos t$, где $a = 5 \text{ см}$. Получить уравнение траектории результирующего движения точки.
- 3.9 Баллон содержит 80 г кислорода и 320 г аргона. Давление смеси равно 1 МПа , температура смеси равна 300 К . Определить объем баллона.
- 3.10 В цилиндре двигателя температура воздуха в начале сжатия была 50° С . Найти температуру воздуха в конце сжатия, если его объем уменьшается в 17 раз, а давление возрастает в 50 раз.
- 3.11 В сосуде объемом 2 л находится 10 г кислорода под давлением 100 кПа . Найти плотность газа и среднюю кинетическую энергию поступательного движения его молекул.
- 3.12 Определить молярную теплоемкость при постоянном давлении и при постоянном объеме смеси, содержащей 3 кг азота и 1 кг водяного пара, считая эти газы идеальными.
- 3.13 Определить начальную температуру 0.56 кг азота, если при изобарном нагревании до 370 К совершена работа 16.62 кДж на увеличение его объема.
- 3.14 В цилиндре под поршнем находится кислород массой 2 кг . Поршень закреплен. Какое количество тепла нужно сообщить кислороду, чтобы его температура повысилась на 5 К . Найти увеличение внутренней энергии кислорода и работу газа.
- 3.15 Найти среднюю длину свободного пробега молекул воздуха при нормальных условиях. Диаметр молекул воздуха 0.3 нм .
- 3.16 Найти коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях, если средняя длина свободного пробега его молекул равна 0.16 мкм .

Контрольная работа №1

- 4.1 Свободно падающее тело в последнюю секунду движения проходит половину всего пути. С какой высоты падает тело и каково время его падения?
- 4.2 Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону: $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 10 \text{ рад}$; $B = 20 \text{ рад/с}$; $C = -2 \text{ рад/с}^3$. Найти полное ускорение точки, находящейся на расстоянии 0.1 м от оси вращения, для момента времени $t = 4 \text{ с}$.
- 4.3 Автомобиль массой 1000 кг , двигаясь равнозамедленно, остановился через 5 с , пройдя при этом путь 25 м . Найти начальную скорость и силу торможения.
- 4.4 Однородный стержень длиной 1.2 м и массой 0.3 кг вращается в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через один из концов стержня. Чему равен вращающий момент, если стержень вращается с угловым ускорением 100 с^{-2} .
- 4.5 Стальной шарик массой 100 г ударяется о массивную плиту, имея скорость 2 м/с , и отскакивает от нее с такой же по величине скоростью. Определить изменение импульса шарика, если 1) направление скорости шарика перпендикулярно плите; 2) угол между направлением скорости и плоскостью плиты 30° ?
- 4.6 Медный шар радиусом 10 см вращается с частотой 2 об/с вокруг оси, проходящей через его центр. Какую работу надо совершить, чтобы увеличить угловую скорость вращения шара вдвое?
- 4.7 Амплитуда затухающих колебаний за 1 минуту уменьшается в полтора раза. Во сколько раз уменьшается амплитуда за 4 минуты ?
- 4.8 Полная энергия тела, совершающего гармоническое колебание, равна 30 мкДж ; максимальная сила, действующая на тело, равна 1.5 мН . Написать уравнение движения этого тела, если период колебаний 2 с , а начальная фаза $\frac{\pi}{3}$.
- 4.9 Баллон объемом 20 л заполнен азотом. Температура азота равна 400 К . Когда часть азота израсходовали, давление в баллоне понизилось на 200 кПа . Определить массу израсходованного азота, если температура в баллоне осталась неизменной.
- 4.10 Тонкий резиновый шар радиусом 2 см заполнен воздухом при температуре 20° C и давлении 0.1 МПа . Каков будет радиус шара, если его опустить в воду с температурой 4° C на глубину 20 м ? Атмосферное давление нормальное.
- 4.11 При каком давлении внутренняя энергия всех молекул идеального газа в объеме 2 м^3 составит 450 кДж ?
- 4.12 На сколько увеличиться средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул одноатомного газа после его нагревания от 0° C до 100° C ?
- 4.13 Объем газа увеличился в 3 раза при давлении $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить первоначальный объем газа, если на его расширение потребовалось совершить работу в 12.9 кДж .
- 4.14 В теплоизолированном цилиндре с поршнем находится азот массой 0.2 кг при температуре 240 К . Азот, расширяясь, совершил работу, равную 4.5 кДж . Найти изменение внутренней энергии азота и его температуру после расширения.
- 4.15 При нормальных условиях средняя длина свободного пробега молекул водорода равна 0.16 мкм . Определить эффективный диаметр молекулы водорода.
- 4.16 Найти теплопроводность воздуха при давлении 100 кПа и температуре 10° C . Диаметр молекул воздуха равен 0.3 нм .

ВАРИАНТ 5.

Контрольная работа №1

- 5.1 Поезд, двигаясь равнозамедленно в течение 1 мин, уменьшает свою скорость от 40 км/час до 28 км/час. Найти ускорение поезда и путь, пройденный им за время торможения.
- 5.2 Найти радиус вращающегося колеса, если известно, что линейная скорость точки, лежащей на ободе, в 1.5 раза больше линейной скорости другой точки, лежащей на 5 см ближе к оси колеса, чем первая точка.
- 5.3 В вагоне, движущемся горизонтально с постоянным ускорением 3 м/с, висит на проволоке груз массой 2 кг. Определить силу натяжения проволоки и угол ее отклонения от вертикали, если груз неподвижен относительно вагона.
- 5.4 Диск радиусом 20 см и массой 7 кг вращается согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 3 \text{ рад}$; $B = -1 \text{ рад/с}$; $C = 0.1 \text{ рад/с}^3$. Найти уравнение, согласно которому меняется вращающий момент, действующий на диск. Определить момент сил для $t = 2 \text{ с}$.
- 5.5 Снаряд массой 50 кг, летящий со скоростью 300 м/с, попадает в мишень с песком массой 100 кг и застревает в ней. С какой скоростью и в каком направлении будет двигаться мишень после попадания снаряда в следующих случаях:
1) мишень была неподвижна; 2) мишень двигалась в одном направлении со снарядом со скоростью 72 км/час; 3) мишень двигалась навстречу снаряду со скоростью 72 км/час?
- 5.6 Кинетическая энергия вала, вращающегося с частотой 5 об/с, равна 60 Дж. Найти момент импульса вала.
- 5.7 Точка совершает гармонические колебания с частотой 10 Гц. В момент времени, принятый за начальный, точка имела максимальное смещение $A = 1 \text{ мм}$. Написать уравнение колебаний точки.
- 5.8 К пружине подвешен груз. Максимальная кинетическая энергия колебаний груза равна 1 Дж. Амплитуда колебаний $A = 5 \text{ см}$. Найти жесткость k пружины.
- 5.9 Найти плотность азота при температуре 400 К и давлении 2 МПа.
- 5.10 Открытую с обеих сторон узкую цилиндрическую трубку длиной 0.3 м до половины погрузили в ртуть. Затем закрыли верхнее отверстие трубки и вынули ее из ртути. При этом в трубке остался столбик ртути длиной 0.22 м. Чему равно атмосферное давление?
- 5.11 Определить среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газов воздуха при давлении 100 Па. Концентрация молекул воздуха при этих условиях $2.7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.
- 5.12 Разность удельных теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме трехатомного газа равна $0.2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$. Вычислить молярную и удельную теплоемкость газа.
- 5.13 При температуре 280 К и давлении $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ газ занимает объем 0.1 м^3 . Какая работа совершается газом по увеличению его объема, если он нагрет при постоянном давлении до 420 К?
- 5.14 На сколько увеличилась внутренняя энергия 10 молей одноатомного газа при его изобарном нагревании на 100 К? Какую работу совершил при этом газ и какое количество теплоты ему было сообщено?
- 5.15 Найти число столкновений, которые происходят в течение секунды между всеми молекулами, находящимися в объеме 1 мм^3 водорода при нормальных условиях.
- 5.16 Найти коэффициент диффузии гелия при нормальных условиях.

ВАРИАНТ 6.

Контрольная работа №1

- 6.1 Расстояние между двумя станциями метро 1.5 км. Первую половину этого расстояния поезд проходит равноускоренно, вторую - равнозамедленно с тем же по модулю ускорением. Максимальная скорость поезда 50 км/час.
Найти величину ускорения и время движения поезда между станциями.
- 6.2 Диск радиусом 0.3 м вращается согласно уравнению: $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 3 \text{ рад}$; $B = -1 \text{ рад/с}$; $C = 0.1 \text{ рад/с}^3$. Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорения наиболее удаленных от оси вращения точек диска в момент времени $t = 10 \text{ с}$.
- 6.3 Наклонная плоскость образует с горизонтом угол $\alpha = 25^\circ$. Тело за 2 с от начала скольжения прошло по наклонной плоскости 1.7 м. Определить коэффициент трения скольжения тела по плоскости.
- 6.4 Под действием момента силы 10 Нм тело через 10 с после начала вращения достигло скорости, соответствующей вращению с частотой 4 об/с. Определить момент инерции данного тела.
- 6.5 Определить изменение импульса тела массой 0.5 кг в результате его соскальзывания с наклонной плоскости высотой 3 м. Трением пренебречь.
- 6.6 Обруч и диск одинаковой массы катятся без скольжения с одинаковой скоростью. Кинетическая энергия обруча равна 40 Дж. Найти кинетическую энергию диска.
- 6.7 Определить максимальное ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания с амплитудой $A = 15 \text{ см}$, если наибольшая скорость точки 30 см/с, начальная фаза $\varphi_0 = 10^\circ$. Получить уравнение колебаний.
- 6.8 Поперечная волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью 15 м/с. Период колебаний точек шнура 1.2 с. Определить разность фаз двух точек, лежащих на луче и отстоящих от источника волн на расстояния 20 м и 30 м соответственно.
- 6.9 В сосуде объемом 10 л при температуре 450 К находится смесь азота массой 5 г и водорода массой 2 г. Определить давление смеси.
- 6.10 Какое давление устанавливается в цилиндре двигателя, если к концу такта сжатия температура рабочей смеси повышается от 50° C до 250° C , а объем уменьшается от 0.75 л до 0.12 л? Первоначальное давление равно 80 кПа.
- 6.11 Определить плотность кислорода, находящегося под давлением $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, если средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы кислорода равна $1.2 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$.
- 6.12 Вычислить удельные теплоемкости неона и водорода при постоянном объеме и при постоянном давлении, считая эти газы идеальными.
- 6.13 При изобарном расширении двухатомного газа при давлении 10^5 Па его объем увеличился на 5 м^3 . Определить работу расширения газа, изменение его внутренней энергии и количество теплоты, сообщенной этому газу.
- 6.14 Во сколько раз увеличится объем 0.4 моля водорода при изотермическом расширении, если при этом газ получит количество тепла, равное 800 Дж? Температура водорода равна 300 К.
- 6.15 Найти среднюю длину свободного пробега молекул водорода при давлении 133 мПа и температуре -173° C .
- 6.16 Найти теплопроводность водорода, вязкость которого равна $8.6 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$.

ВАРИАНТ 7.

Контрольная работа №1

- 7.1 Тело падает с высоты 20 м с начальной скоростью $V_0 = 0$. Какой путь пройдет тело за первую и последнюю секунду своего движения?
- 7.2 Точка вращается по окружности радиусом 1.2 м. Уравнение движения точки: $\varphi = At + Bt^3$, где $A = 0.5 \text{ рад/с}$; $B = 0.2 \text{ рад/с}^3$. Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорения точки в момент времени $t = 4 \text{ с}$.
- 7.3 Груз массой 12 кг поднимают равноускоренно на шнуре. За 5 с подъема груза его скорость изменяется от 2 м/с до 5 м/с. Найти силу натяжения шнура.
- 7.4 Через блок, выполненный в виде колеса, перекинута нить, к концам которой привязаны грузы массой 100 г и 300 г. Массу колеса, величиной 600 г, считать равномерно распределенной по ободу, а массой спиц пренебречь. Определить ускорение, с которым будут двигаться грузы и силы натяжения нити по обе стороны блока.
- 7.5 Камень массой 200 г брошен вертикально вверх с начальной скоростью 7.5 м/с. Определить величины кинетической и потенциальной энергии через 0.5 с после броска. Сопротивление воздуха не учитывать.
- 7.6 Тонкий однородный стержень длиной 1.2 м может вращаться в вертикальной плоскости вокруг оси, проходящей через конец стержня. Стержень отклонили на 90° от положения равновесия и отпустили. Определить линейную скорость нижнего конца стержня в момент прохождения им положения равновесия.
- 7.7 Определить период гармонических колебаний диска радиусом 40 см около горизонтальной оси, проходящей через образующую диска.
- 7.8 Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выраженных в системе СИ уравнениями: $x = 2 \sin \pi t$; $y = -\cos \pi t$. Найти уравнение траектории точки. Определить скорость точки в момент $t = 0.5 \text{ с}$.
- 7.9 Смесь водорода и азота общей массой 290 г при температуре 600 К и давлении 3 МПа занимает объем 30 л. Определить массу водорода и массу азота.
- 7.10 Газ при давлении 0.2 МПа и температуре 15°C имеет объем 5 л. Чему равен объем этой массы газа при нормальных условиях?
- 7.11 Определить внутреннюю энергию одного моля идеального газа при нормальных условиях.
- 7.12 Найти среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы кислорода при температуре 350 К, а также кинетическую энергию поступательного движения всех молекул, содержащихся в 4 г кислорода при этой температуре.
- 7.13 Двухатомному газу при его изобарном расширении сообщено 14 кДж теплоты. Определить работу расширения и изменение внутренней энергии газа.
- 7.14 10 г азота изотермически расширяется при температуре -23°C , причем его давление меняется от 250 кПа до 100 кПа. Найти работу, совершенную газом при расширении.
- 7.15 Молекулы аргона при нормальных условиях испытывают $6 \cdot 10^9$ столкновений в секунду при средней длине свободного пробега $6.35 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. Определить среднюю скорость поступательного движения молекул газа.
- 7.16 В сосуде объемом 2 л находится $4 \cdot 10^{22}$ молекул двухатомного газа. Теплопроводность газа равна $14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$. Найти коэффициент диффузии газа.

Контрольная работа №1

- 8.1 Дано уравнение прямолинейного движения материальной точки $S = A + Bt + Ct^3$, где $A = 6 \text{ м}$; $B = 1 \text{ м/с}$; $C = 3 \text{ м/с}^3$. Найти скорость и ускорение точки в момент времени $t = 3 \text{ с}$, а так же среднюю скорость за первые 3 секунды движения.
- 8.2 Колесо, вращаясь равноускоренно, достигло угловой скорости 20 рад/с через 10 оборотов после начала движения. Найти угловое ускорение колеса.
- 8.3 На концах тонкой нерастяжимой нити, перекинутой через блок, подвешены грузы массой 3 кг и 4 кг . Пренебрегая массой блока и трением при его вращении, определить ускорение, с которым будут двигаться грузы, и силу натяжения нити.
- 8.4 Цилиндр, расположенный горизонтально, может вращаться около оси, совпадающей с осью цилиндра. Масса цилиндра 12 кг . На цилиндр намотан шнур, к которому привязана гиря массой 1 кг . С каким ускорением будет опускаться гиря? Какова сила натяжения шнура во время движения груза?
- 8.5 Какую работу надо совершить, чтобы заставить движущееся тело массой 2 кг :
1) увеличить свою скорость от 2 м/с до 5 м/с ; 2) остановиться при начальной скорости 8 м/с .
- 8.6 Обруч, имеющий скорость 2.8 м/с , начинает вкатываться вверх по наклонной плоскости. Определить максимальную высоту подъема обруча. Расходом энергии на преодоление сил трения пренебречь.
- 8.7 Тело, неподвижно висящее на цилиндрической пружине, растягивает ее на 5 см . Затем тело было смещено из положения равновесия по вертикали и отпущено, в результате чего оно стало совершать колебания. Найти период колебаний.
- 8.8 Частица массой 0.1 кг совершает гармонические колебания с периодом 2 с . Полная энергия колебаний частицы 0.1 мДж . Определить амплитуду колебаний и наибольшее значение силы, действующей на частицу.
- 8.9 Какое количество кислорода выпустили из баллона емкостью 10 л , если давление при этом изменилось от $1.4 \cdot 10^6 \text{ Па}$ до $7 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а температура понизилась от 27° C до 7° C ?
- 8.10 В цилиндре под поршнем массой 1 кг с площадью основания 36 см^2 находится газ, занимающий объем 3.8 л при температуре 20° C . После того, как на поршень поставили гирю и нагрели газ на 5° C , поршень поднялся на высоту 1 см . Найти массу гири. Давление атмосферы нормальное.
- 8.11 Определить среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы кислорода, если кислород находится под давлением $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и имеет плотность 2 кг/м^3 .
- 8.12 Найти энергию поступательного движения молекул, содержащихся в 1 кг азота при температуре 10° C .
- 8.13 Четыре моля углекислого газа нагреты при постоянном давлении на 100 К . Определить работу расширения, изменение внутренней энергии газа и количество теплоты, сообщенной газу.
- 8.14 При изотермическом расширении газа, первоначальный объем которого 2 м^3 , давление газа уменьшается от 0.5 МПа до 0.4 МПа . Найти работу, совершенную газом.
- 8.15 Молекулы углекислого газа при нормальных условиях имеют среднюю длину свободного пробега $4 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ и движутся со средней скоростью 362 м/с . Сколько столкновений в секунду испытывает каждая молекула?
- 8.16 Найти эффективный диаметр молекулы кислорода, если при температуре 0° C его вязкость равна $19 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$.

ВАРИАНТ 9.

Контрольная работа №1

- 9.1 Камень, брошенный горизонтально с начальной скоростью V , через 0.5 с после начала движения имел скорость в 1.5 раза больше начальной скорости. С какой скоростью был брошен камень?
- 9.2 Тело вращается вокруг оси в соответствии с уравнением: $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$, где $A = 10\text{ рад}$; $B = -2\text{ рад/с}^2$; $C = 1\text{ рад/с}^3$. В какой момент времени угловая скорость вращения тела будет равна 4 рад/с ? Чему равно угловое ускорение в этот момент времени?
- 9.3 Кабина лифта с пассажирами имеет массу 700 кг . Определить натяжение троса, на котором подвешена кабина, если лифт движется с ускорением 0.7 м/с^2 для случаев: 1) вектор ускорения направлен вниз; 2) вектор ускорения направлен вверх. Чему равно натяжение троса при равномерном движении лифта?
- 9.4 Маховик в виде сплошного диска радиусом 0.2 м и массой 50 кг раскручен до частоты вращения 480 об/мин и предоставлен самому себе. Под действием силы трения маховик останавливается через 50 с . Найти момент сил трения.
- 9.5 При подъеме груза массой 2 кг на высоту 1 м совершается работа 78.5 Дж . С каким ускорением поднимается груз?
- 9.6 Найти кинетическую энергию велосипедиста (вместе с велосипедом), движущегося со скоростью 9 км/час . Масса велосипедиста вместе с велосипедом 78 кг , причем на колеса приходится масса 3 кг . Колеса велосипеда считать обручами.
- 9.7 Материальная точка совершает гармонические колебания с частотой 500 Гц и амплитудой 0.02 см . Определить средние значения скорости и ускорения точки на пути от ее крайнего положения до положения равновесия, а также найти максимальные значения скорости и ускорения.
- 9.8 Определить скорость распространения волн в упругой среде, если разность фаз колебаний двух точек, отстоящих друг от друга на расстоянии 15 см , равна $\pi/2$. Частота колебаний 2 Гц .
- 9.9 Найти молярную массу воздуха, считая, что он состоит по массе из одной части кислорода и трех частей азота.
- 9.10 При увеличении абсолютной температуры идеального газа вдвое. Его давление увеличилось на 25% . Во сколько раз при этом изменился объем газа?
- 9.11 Какой объем занимает идеальный газ, находящийся под давлением $1.5 \cdot 10^5\text{ Па}$, если его внутренняя энергия равна 400 кДж .
- 9.12 Найти среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы, а также суммарную кинетическую энергию всех молекул, содержащихся в одном килограмме гелия при температуре 70 К .
- 9.13 При изобарном расширении 20 г водорода его объем увеличился в 2 раза. Начальная температура газа 300 К . Определить работу расширения газа, изменение внутренней энергии и количество теплоты, переданной газу.
- 9.14 Гелий, находящийся при нормальных условиях, изотермически расширяется от объема 1 л до объема 2 л . Найти работу, совершенную газом при расширении, и количество теплоты, сообщенное газу.
- 9.15 В сосуде объемом 200 см^3 находится 1 г азота. Найти среднюю длину свободного пробега молекул азота.
- 9.16 Коэффициент диффузии и вязкость кислорода при некоторых условиях равны, соответственно, $1.22 \cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$ и $19.5\text{ мкПа} \cdot \text{с}$. Найти плотность кислорода и среднюю арифметическую скорость его молекул.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ (лабораторные работы №4, №9, №24)

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИЗУЧЕНИЕ ВТОРОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА С ПОМОЩЬЮ МАШИНЫ АТВУДА

Цель работы: на опыте изучить действие основного закона динамики поступательного движения.

Приборы и принадлежности: установка «машина Атвуда», набор грузов, секундомер, линейка.

Краткая теория эксперимента

Основной закон динамики поступательного движения (второй закон Ньютона): если на тело массой m действует сила \vec{F} , то это тело приобретает ускорение \vec{a} , величина которого прямо пропорциональна величине действующей силы и обратно пропорциональна массе данного тела:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Согласно этому закону, для какого-либо тела с неизменной массой ($m = \text{const}$) величина ускорения a линейно зависит от величины действующей силы F , то есть $a = kF$ $\left(k = \frac{1}{m}\right)$. Линейная зависимость величины ускорения от величины действующей силы может быть проверена экспериментально с помощью «машины Атвуда» (рис. 1).

Через легкий блок перекинута тонкая нить, на концах которой подвешены грузы массой M каждый. На левый и правый грузы помещают перегрузки массами m_1 и m_2 , причем $m_1 \neq m_2$ (например, $m_1 < m_2$). В этом случае система грузов массой $(2M + m_1 + m_2)$ придет в движение. Результирующая сила, вызывающая ускорение движения этой системы грузов, равна разности сил тяжести перегрузков m_1 и m_2 , лежащих на правом и левом грузах одинаковой массы M :

$$F = m_2 g - m_1 g.$$

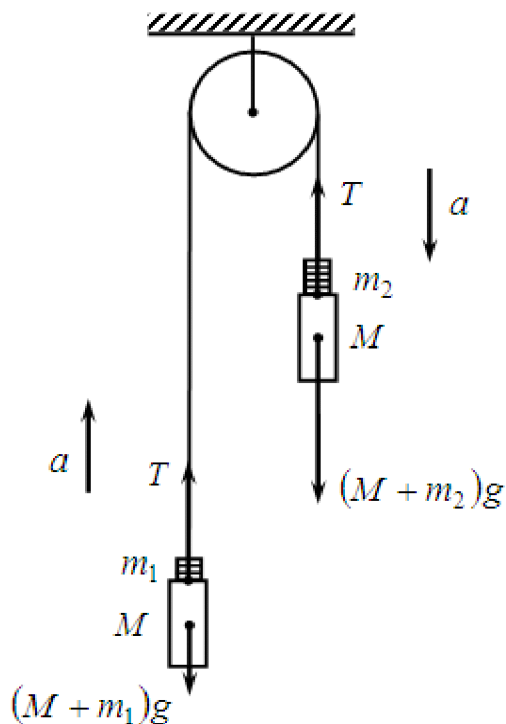


Рис. 1. Принципиальная схема «машины Атвуда»

Это выражение справедливо, если пренебречь массой блока и трением в оси блока (в этом случае силы натяжения T нитей слева и справа одинаковы по величине). Изменяя массы перегрузков m_1 и m_2 так, чтобы их сумма $(m_1 + m_2)$ сохранялась и, соответственно, сохранялась общая масса всей системы грузов $(2M + m_1 + m_2)$, получим несколько значений силы $F = (m_2 - m_1)g$, вызывающей ускорение системы. Для каждого значения силы F определим ускорение движения a и найдем зависимость величины a от величины F . Величину ускорения грузов можно определить опытным путем с помощью выражения $a = \frac{2h}{t^2}$, полученного из

формулы $h = \frac{at^2}{2}$, где h – путь, пройденный телом за время t после начала равноускоренного движения с ускорением a .

По зависимости величины ускорения a для системы грузов общей массой $(2M + m_1 + m_2)$ от величины результирующей силы $F = (m_2 - m_1)g$ проверим справедливость второго закона Ньютона.

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицы для результатов измерений (табл. 1, 2).

Таблица 1

№	F	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_4, \text{с}$	$t_5, \text{с}$	$t_{\text{ср}}, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$	δt
1.	$2mg$								
2.	$4mg$								
3.	$6mg$								
4.	$8mg$								

Таблица 2

№	F	$h, \text{м}$	$t_{\text{ср}}, \text{с}$	$a_{\text{ср}}, \text{м/с}^2$	δa	$\Delta a, \text{м/с}^2$	$a_{\text{ср}} \pm \Delta a, \text{м/с}^2$
1.	$2mg$						
2.	$4mg$						
3.	$6mg$						
4.	$8mg$						

2. Расположите сначала из восьми одинаковых перегрузков массой m пять перегрузков на правом грузе M , а три перегрузка – на левом грузе M . Тогда результирующая сила, действующая на систему грузов: $F_1 = 5mg - 3mg = 2mg$, где m – масса одного перегрузка.

3. С помощью линейки измерьте h – расстояние, которое проходят грузы. Время движения грузов t измерьте с помощью секундомера, причем для уменьшения погрешности измерения времени t повторите эксперимент пять раз. Результаты измерений занесите в табл. 1.

4. Перекладывая по одному перегрузку с правого груза на левый, последовательно получайте значения результирующей силы $F_2 = 4mg$, $F_3 = 6mg$, $F_4 = 8mg$. Измерьте по пять раз время движения грузов под действием каждой силы F_2 , F_3 , F_4 . Результаты измерений занесите в табл. 1.

5. Вычислите в каждом опыте среднее значение времени $t_{\text{ср1}}$, $t_{\text{ср2}}$, $t_{\text{ср3}}$, $t_{\text{ср4}}$ движения грузов как среднее арифметическое значение пяти последовательных измерений:

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (n=5).$$

Результаты вычислений $t_{\text{ср}}$ для каждого опыта занесите в табл. 1 и 2.

6. Вычислите соответствующие значения ускорения $a_{\text{ср1}}$, $a_{\text{ср2}}$, $a_{\text{ср3}}$, $a_{\text{ср4}}$, используя формулу:

$$a_{\text{ср}} = \frac{2h}{(t_{\text{ср}})^2}.$$

Результаты вычислений $a_{\text{ср}}$ для каждого опыта занесите в табл. 2.

7. Оцените абсолютные погрешности измерения расстояния Δh и времени Δt движения грузов. Абсолютную погрешность измерения расстояния примите равной половине цены наименьшего деления линейки. Определите абсолютную погрешность измерения времени Δt в каждом опыте по формуле:

$$\Delta t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |t_i - t_{\text{ср}}| \quad (n = 5).$$

Значения Δh и Δt занесите в табл. 1.

8. Оцените относительные погрешности измерения высоты δh и времени δt для каждого из четырех опытов по формулам:

$$\delta h = \frac{\Delta h}{h}, \quad \delta t = \frac{\Delta t}{t_{\text{ср}}}.$$

Результаты вычислений занесите в табл. 1.

9. Оцените относительную погрешность определения ускорения в каждом опыте по формуле:

$$\delta a = \delta h + 2 \delta t.$$

Результаты вычислений занесите в табл. 2.

Вычислите абсолютную погрешность определения ускорения в каждом опыте по формуле: $\Delta a = \delta a \cdot a_{\text{ср}}$.

Результаты вычислений занесите в табл. 2.

10. По результатам четырех опытов с учетом погрешностей экспериментального определения ускорения постройте график зависимости $a = f(F)$ (общий вид зависимости приведен на рис. 2). Проанализируйте построенный график зависимости.

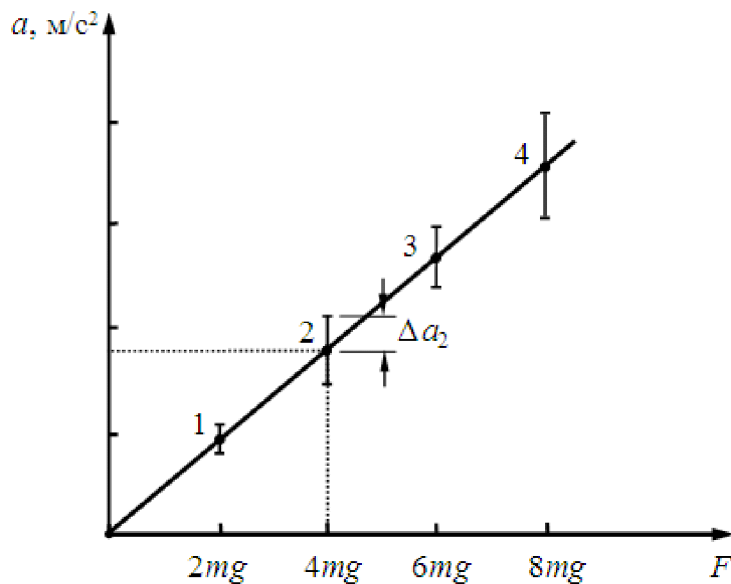


Рис. 2. График экспериментальной зависимости $a = f(F)$ (общий вид)

Контрольные вопросы

1. Дайте определения радиуса-вектора, пути, перемещения материальной точки.
2. Дайте определения векторов средней и мгновенной скорости, среднего и мгновенного ускорения материальной точки. Каковы их направления?
3. Сформулируйте первый, второй и третий законы Ньютона.
4. Сформулируйте основной закон динамики поступательного движения в дифференциальной форме.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9. ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНОГО ЗАКОНА ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА ОБЕРБЕКА

Цель работы: на опыте изучить действие основного закона динамики вращательного движения.

Приборы и принадлежности: прибор Обербека, секундомер, набор грузов, штангенциркуль, метровая линейка.

Краткая теория эксперимента

Основной закон динамики вращательного движения твердого тела: если на тело, имеющее ось вращения (совпадающую с осью симметрии данного тела), действует сила, то это тело приобретает угловое ускорение $\vec{\varepsilon}$, величина которого прямо пропорциональна величине момента \vec{M} действующей силы относительно данной оси вращения и обратно пропорциональна моменту инерции I этого тела относительно той же оси вращения:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{\vec{M}}{I}.$$

Согласно этому закону, для какого-либо тела с неизменным моментом инерции ($I = \text{const}$) относительно выбранной оси вращения (оси симметрии данного тела) величина углового ускорения ε линейно зависит от величины момента M действующей силы относительно данной оси вращения, то есть $\varepsilon = kM$ $\left(k = \frac{1}{I}\right)$.

Линейная зависимость углового ускорения от величины момента действующей силы может быть проверена экспериментально с помощью «прибора Обербека» (рис. 3).

Прибор Обербека представляет собой крестовину, состоящую из шкива и четырех металлических стержней, закрепленных на горизонтальной оси. На стержнях на равных расстояниях от оси вращения закреплены четыре одинаковых груза массой m_0 каждый. Если не менять положения грузов на стержнях, то момент инерции крестовины при проведении эксперимента изменяться не будет. Крестовина может быть приведена во вращательное движение вокруг неподвижной оси под действием силы натяжения T разматывающейся нити, на которой подвешен груз массой m .

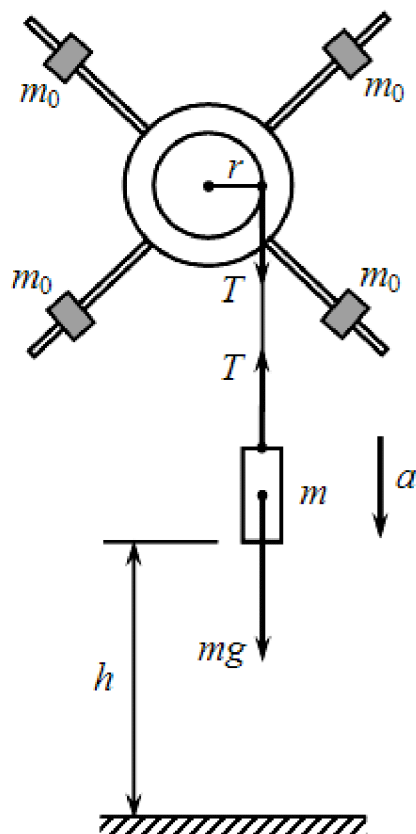


Рис. 3. Принципиальная схема «прибора Обербека»

Сила натяжения T нити может быть получена из второго закона Ньютона для поступательного движения груза массой m :

$$a = \frac{F}{m},$$

где a – ускорение, с которым движется груз, F – равнодействующая сил, приложенных к телу, вызывающая это ускорение.

Из рис. 3 следует: $F = mg - T$.

Тогда
$$a = \frac{mg - T}{m},$$

откуда
$$T = m(g - a).$$

Следовательно, момент силы натяжения нити относительно оси вращения:

$$M = Tr = m(g - a)r,$$

где r – плечо силы натяжения T нити относительно оси вращения (радиус шкива).

Угловое ускорение ε крестовины связано с тангенциальным ускорением a_τ точек на поверхности (обода) шкива соотношением:

$$\varepsilon = \frac{a_\tau}{r},$$

где r – радиус шкива.

Если нить нерастяжима и при своем перемещении не проскальзывает по поверхности шкива, то тангенциальное ускорение a_τ точек на поверхности шкива совпадает с линейным ускорением a опускающегося груза: $a_\tau = a$, и тогда связь между угловым ускорением крестовины и линейным ускорением груза выражается следующим соотношением:

$$\varepsilon = \frac{a}{r}.$$

Следовательно, экспериментальная часть данной работы состоит в определении радиуса r шкива и линейного ускорения a движения груза массой m .

Радиус r шкива определяется с помощью штангенциркуля. Величину ускорения a движения груза можно определить опытным путем с помощью выражения $a = \frac{2h}{t^2}$, полученного из формулы

$h = \frac{at^2}{2}$, где h – путь, пройденный грузом за время t после начала равноускоренного движения с ускорением a .

Таким образом, для определения величины ускорения a необходимо провести измерения пути h и времени t движения груза массой m .

Используя набор грузов с разными массами m_1, m_2, m_3, m_4 , с помощью прибора Обербека можно определить в результате косвенных измерений моменты сил натяжения нити: M_1, M_2, M_3, M_4 и соответствующие им величины углового ускорения $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$.

По точкам $(M_1, \varepsilon_1), (M_2, \varepsilon_2), (M_3, \varepsilon_3), (M_4, \varepsilon_4)$ можно построить экспериментальную графическую зависимость $\varepsilon = f(M)$ и проверить ее соответствие линейной зависимости.

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицы для результатов измерений (табл. 3, 4, 5).

Таблица 3

r , м	Δr , м	δr	h , м	Δh , м	δh

Таблица 4

№	m	m , кг	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_4 , с	t_5 , с	$t_{\text{ср}}$, с	Δt , с	δt
1.	m_1	0,1								
2.	m_2	0,2								
3.	m_3	0,3								
4.	m_4	0,4								

Таблица 5

№	m	$a_{\text{ср}}$, м/с ²	$M_{\text{ср}}$, Н·м	δM	ΔM , Н·м	$\varepsilon_{\text{ср}}$, рад/с ²	$\delta \varepsilon$	$\Delta \varepsilon$, рад/с ²
1.	m_1							
2.	m_2							
3.	m_3							
4.	m_4							

2. Установите все четыре груза массой m_0 на стержнях в крайнем дальнем от оси вращения положении и закрепите их винтами (см. рис. 3).

3. Измерьте с помощью штангенциркуля диаметр шкива и определите радиус r шкива. Занесите полученное значение в табл. 3.

4. Намотайте нить на шкив и к свободному концу нити прикрепите груз массой m . Измерьте расстояние от верхнего положения груза массой m до уровня пола. (Для проведения измерений и расчетов удобно, чтобы груз массой m в каждом опыте проходил одно и то же расстояние h от верхнего выбираемого нами уровня до нижнего уровня – уровня пола.)

5. Оцените абсолютную погрешность измерения радиуса r шкива и высоты h . Абсолютные погрешности Δr и Δh примите равными половине цены наименьшего деления измерительного

инструмента (штангенциркуля и линейки соответственно). Занесите полученные значения Δr и Δh в табл. 3.

6. Рассчитайте относительные погрешности измерения радиуса шкива δr и высоты δh по формулам:

$$\delta r = \frac{\Delta r}{r}, \quad \delta h = \frac{\Delta h}{h}.$$

Результаты вычислений занесите в табл. 3.

7. Используя последовательно грузы массой $m = m_1, m_2, m_3, m_4$, измерьте с помощью секундомера время прохождения ими пути h . С целью уменьшения погрешности измерения времени в каждом опыте ($m = m_1, m_2, m_3, m_4$) проведите по пять измерений времени t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 . Результаты измерений занесите в табл. 4.

8. Вычислите в каждом опыте среднее значение времени $t_{cp1}, t_{cp2}, t_{cp3}, t_{cp4}$ движения груза как среднее арифметическое значение пяти последовательных измерений:

$$t_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (n=5).$$

Результаты вычислений t_{cp} для каждого опыта занесите в табл. 4.

9. Определите абсолютную погрешность измерения времени Δt в каждом опыте по формуле:

$$\Delta t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |t_i - t_{cp}| \quad (n=5).$$

Значения Δt занесите в табл. 4.

10. Оцените относительную погрешность измерения времени δt движения груза для каждого из четырех опытов по формуле:

$$\delta t = \frac{\Delta t}{t_{cp}}.$$

Результаты вычислений для каждого опыта занесите в табл. 4.

11. По найденным значениям $t_{cp1}, t_{cp2}, t_{cp3}, t_{cp4}$ для каждого груза массой $m = m_1, m_2, m_3, m_4$ вычислите соответствующие им значения a_1, a_2, a_3, a_4 , используя формулу:

$$a_{cp} = \frac{2h}{(t_{cp})^2}.$$

Результаты вычислений занесите в табл. 5.

12. По полученным значениям a_{cp1} , a_{cp2} , a_{cp3} , a_{cp4} рассчитайте соответствующие значения момента силы M_{cp1} , M_{cp2} , M_{cp3} , M_{cp4} :

$$M_{cp} = m(g - a_{cp})r,$$

а также значения углового ускорения ε_{cp1} , ε_{cp2} , ε_{cp3} , ε_{cp4} :

$$\varepsilon_{cp} = \frac{a_{cp}}{r}.$$

Результаты вычислений занесите в табл. 5.

13. Оцените относительные погрешности экспериментального определения значений момента силы натяжения нити и углового ускорения крестовины в каждом из четырех опытов. Поскольку определение величин момента M силы натяжения нити и углового ускорения ε следует из косвенных измерений, то используйте зависимости относительных погрешностей δM и $\delta \varepsilon$ от относительных погрешностей δr , δh , δt :

$$\delta M = \frac{a}{g - a} \delta a + \delta r,$$

$$\delta \varepsilon = \delta a + \delta r, \text{ где } \delta a = \delta h + 2\delta t.$$

Полученные значения δM и $\delta \varepsilon$ занесите в табл. 5.

14. Получите абсолютные погрешности измерения момента силы натяжения нити и углового ускорения крестовины в каждом из четырех опытов, используя формулы:

$$\Delta M = \delta M \cdot M_{cp} \quad \text{и} \quad \Delta \varepsilon = \delta \varepsilon \cdot \varepsilon_{cp}.$$

15. По результатам четырех опытов с учетом погрешностей экспериментального определения момента силы натяжения нити и углового ускорения крестовины постройте график зависимости $\varepsilon = f(M)$ (общий вид зависимости приведен на рис. 4). Проанализируйте построенный график зависимости.

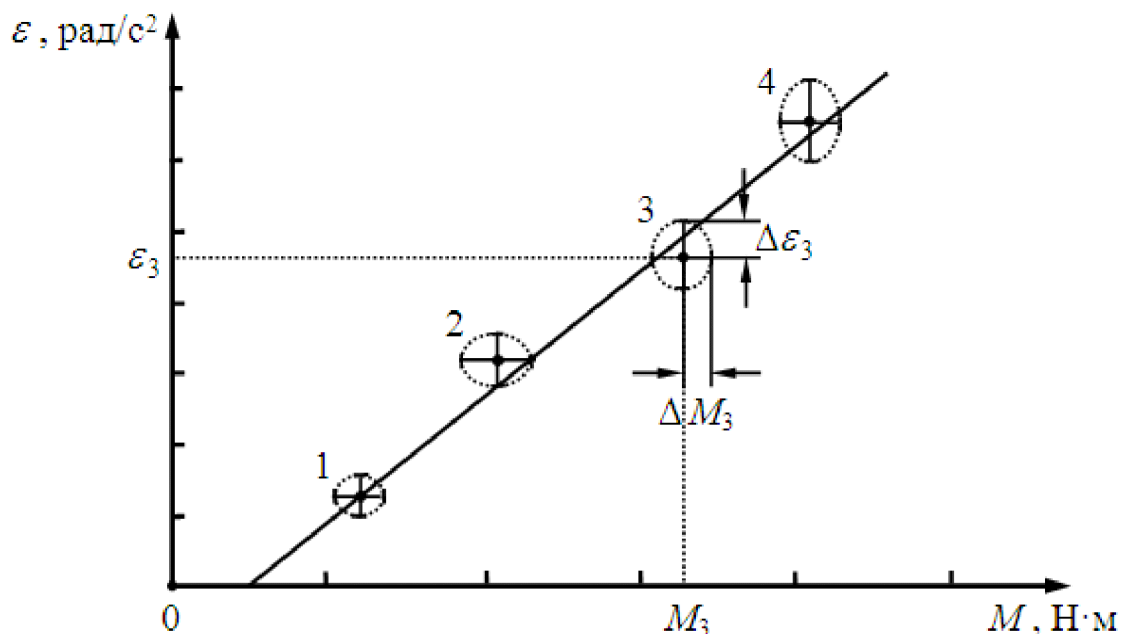


Рис. 4. График экспериментальной зависимости $\varepsilon = f(M)$

Контрольные вопросы

1. Дайте определения угла поворота, угловой скорости и углового ускорения материальной точки. Поясните, как определить их направления.
2. Дайте определения момента инерции материальной точки и твердого тела.
3. Дайте определения момента силы в векторной и скалярной формах. Сформулируйте физический смысл всех величин, входящих в формулы. Поясните, как определить направление вектора момента силы.
4. Сформулируйте и запишите основной закон динамики вращательного движения в интегральной и дифференциальной формах.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МОЛЯРНЫХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ C_p/C_v ВОЗДУХА МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ

Приборы и принадлежности: лабораторная установка, поршневой насос.

Цель работы: экспериментальное определение показателя адиабаты для воздуха.

Краткая теория

Молярной теплоёмкостью вещества называется физическая величина C , численно равная количеству тепла, которое необходимо сообщить одному молю вещества для повышения его температуры на 1 К в некотором термодинамическом процессе:

$$C = \frac{Q}{\nu \Delta T},$$

где ν – число молей газа.

Для данного вещества величина C зависит от условий, при которых происходит передача тепла. Различают молярные теплоемкости при постоянном объеме C_v и постоянном давлении C_p , если в процессе нагревания вещества его объем или давление поддерживается постоянным.

Если газ нагревается при постоянном объеме (изохорный процесс), то работа, совершаемая газом против внешних сил, равна нулю, и тогда, согласно первому началу термодинамики ($Q = \Delta U + A$), сообщаемая газу извне теплота идет только на увеличение его внутренней энергии:

$$Q_v = \Delta U.$$

Следовательно, молярная теплоемкость газа при постоянном объеме:

$$C_v = \frac{\Delta U}{\nu \Delta T},$$

т. е. молярная теплоемкость газа при постоянном объеме C_v равна изменению внутренней энергии 1 моль газа при повышении его температуры на 1 К.

Изменение внутренней энергии ν моль идеального газа:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T,$$

где i – число степеней свободы молекулы газа.

Тогда
$$C_V = \frac{i}{2} R.$$

Если нагревание газа происходит при постоянном давлении (изобарный процесс), то газ будет расширяться, совершая работу против внешних сил, и тогда первое начало термодинамики ($Q = \Delta U + A$) для изобарного процесса можно записать в виде:

$$Q_p = \Delta U + p \Delta V.$$

Следовательно, молярная теплоемкость газа при постоянном давлении:

$$C_p = \frac{\Delta U}{\nu \Delta T} + \frac{p \Delta V}{\nu \Delta T}$$

или

$$C_p = C_V + \frac{p \Delta V}{\nu \Delta T}.$$

Из уравнения Клапейрона–Менделеева, $pV = \nu RT$ для изобарного процесса ($p = \text{const}$) следует: $p \Delta V = \nu R \Delta T$,

откуда
$$\frac{p \Delta V}{\nu \Delta T} = R,$$

тогда
$$C_p = C_V + R.$$

Полученное выражение называется уравнением Майера. Это уравнение показывает, что C_p больше, чем C_V на величину универсальной газовой постоянной R . Это объясняется тем, что при изобарном нагревании газа, в отличие от изохорного нагревания, требуется дополнительное количество теплоты на совершение работы расширения газа, так как постоянство давления обеспечивается увеличением объема газа.

Так как $C_V = \frac{i}{2} R$, то из уравнения Майера следует:

$$C_p = \frac{i+2}{2} R.$$

Отношение молярных теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i + 2}{i}$$

представляет собой характерную для каждого газа величину и определяется только числом степеней свободы молекулы.

В данной лабораторной работе величину γ для воздуха оценивают, используя метод адиабатического расширения.

Адиабатическим называется процесс, при котором отсутствует теплообмен между системой и окружающей средой. На практике идеальный адиабатический процесс невыполним, так как невозможно обеспечить абсолютную теплоизоляцию системы. Но если реальный процесс сжатия или расширения газа осуществить достаточно быстро, так чтобы заметного теплообмена не успело произойти, то процесс будет близок к адиабатическому.

При адиабатическом процессе изменяются все термодинамические параметры (p , V , T) в соответствии с уравнением Пуассона:

$$pV^\gamma = \text{const},$$

где $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ – коэффициент Пуассона (показатель адиабаты).

Поскольку воздух состоит в основном из смеси двухатомных газов (азота, кислорода, водорода) и каждой молекуле приписывают пять степеней свободы, то отношение молярных теплоемкостей для воздуха будет равно $\gamma = 1,40$. Это довольно хорошо согласуется по порядку величины с экспериментальными данными, полученными для чистого воздуха, свободного от CO_2 и паров воды при нормальных условиях.

Краткая теория эксперимента

Установка для определения отношения молярных теплоемкостей C_p/C_V представляет собой стеклянный сосуд 1 объемом V_c , закрытый пробкой 2, через которую пропущены три трубки (рис. 5).

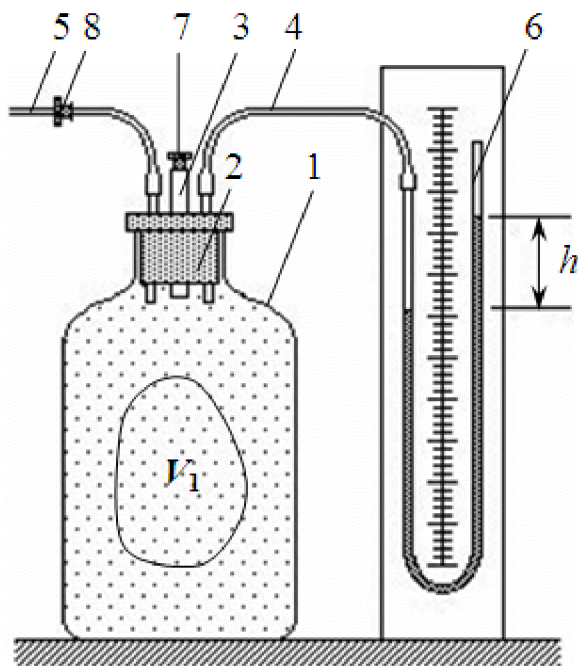


Рис. 5. Установка для определения показателя адиабаты для воздуха

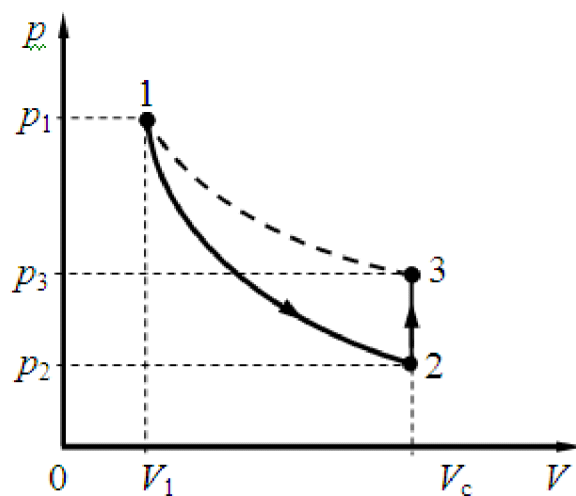


Рис. 6. Диаграмма процессов в координатах (p, V)

Через трубку 3, которая тоже закрыта пробкой 7, сосуд может сообщаться с атмосферой. Трубка 4 соединена с жидкостным манометром 6, а трубка 5 – с поршневым насосом (на рисунке не показан).

Первоначально масса m воздуха в сосуде находится при атмосферном давлении p_a и комнатной температуре T_k , занимая объем V_c . Открыв кран 8, в сосуде с помощью насоса создают повышенное давление p' , затем кран перекрывают. При этом начальная масса m воздуха сжимается до некоторого объема $V_1 < V_c$ и нагревается до некоторой температуры $T' > T_k$. Далее воздух в сосуде изохорно остывает за счет теплообмена с окружающей средой до температуры $T_1 = T_k$, приобретая некоторое избыточное давление p_1 . После того, как уровень воды в коленах манометра перестанет меняться, величину установившегося давления p_1 косвенно оценивают по разности уровней воды в коленах манометра.

Если быстро вынуть пробку 7, то часть воздуха вследствие расширения выйдет из сосуда, а первоначальная масса m воздуха в сосуде адиабатически расширится до объема $V_2 = V_c$, и давление воздуха упадет до давления $p_2 = p_a$, при этом температура воздуха в

сосуде понизится до некоторой температуры $T_2 < T_k$. Описанный процесс происходит достаточно быстро и на термодинамической диаграмме (рис. 6) изображается в виде отрезка адиабаты $1 \rightarrow 2$ (точка 2 соответствует моменту закрытия пробки в сосуде).

После закрытия трубки 3 масса m воздуха в сосуде начнет изохорно нагреваться ($V_3 = V_c$) за счет теплообмена с окружающей средой до температуры $T_3 = T_k$, при этом давление воздуха в сосуде возрастет до величины $p_3 > p_a$ (данный процесс изображается отрезком $2 \rightarrow 3$ на диаграмме). После того, как уровень воды в коленях манометра перестанет меняться, величину установившегося давления p_3 отсчитывают по разности уровней воды в коленях манометра.

При адиабатическом расширении воздуха $1 \rightarrow 2$, согласно уравнению Пуассона:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma.$$

Учитывая, что в состояниях 1 и 3 воздух в сосуде имеет одинаковую температуру ($T_1 = T_3 = T_k$), переход массы m воздуха из состояния 1 в состояние 3 можно осуществить изотермически:

$$p_1 V_1 = p_3 V_3.$$

Так как $V_2 = V_3 = V_c$, а $p_2 = p_a$, то данные уравнения примут вид:

$$p_1 V_1^\gamma = p_a V_c^\gamma,$$

$$p_1 V_1 = p_3 V_c.$$

Или

$$p_1 V_1^\gamma = p_a V_c^\gamma,$$

$$(p_1 V_1)^\gamma = (p_3 V_c)^\gamma.$$

Разделив второе уравнение на первое, можно получить:

$$\frac{p_1^\gamma}{p_1} = \frac{p_3^\gamma}{p_a}.$$

После логарифмирования уравнение примет вид:

$$\gamma \lg p_1 - \lg p_1 = \gamma \lg p_3 - \lg p_a$$

или

$$\gamma (\lg p_1 - \lg p_3) = \lg p_1 - \lg p_a,$$

откуда

$$\gamma = \frac{\lg p_1 - \lg p_a}{\lg p_1 - \lg p_3}.$$

Так как в условиях опыта давления p_1 и p_3 мало отличаются от p_a , то с достаточной степенью точности можно заменить отношение

разностей логарифмов давлений отношением разностей самих давлений:

$$\gamma = \frac{p_1 - p_a}{p_1 - p_3}.$$

Поскольку второе колено манометра открыто, то $p_1 = \rho gh + p_a$ и $p_3 = \rho gh' + p_a$,

поэтому

$$\gamma = \frac{h}{h - h'}.$$

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицу для результатов измерений (табл. 6).

Таблица 6

№	h , см	h' , см	γ	$\gamma_{\text{ср}}$	$\Delta\gamma$	$\delta\gamma$, %
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

2. Трубку 3 плотно закройте пробкой, откройте кран 8, к трубке 5 подсоедините поршневой насос.

3. С помощью насоса создайте в сосуде избыточное давление в 20–30 см водяного столба, затем перекройте кран.

4. Выждав 1-2 минуты, произведите отсчет h (разности уровней воды в коленях манометра в см). Результат измерения занесите в табл. 6.

5. На короткое время откройте трубку 3 и вновь быстро закройте ее пробкой в тот момент, когда давление в сосуде уравнивается с атмосферным (после прекращения характерного шипения выходящего воздуха). Эта операция является наиболее важной во всей работе: если трубку закрыть слишком рано, то давление в сосуде не успеет уравниваться с атмосферным; если закрыть с опозданием, то расширение воздуха в сосуде произойдет с притоком тепла от окружающего воздуха и процесс не будет адиабатическим.

6. Через 1-2 минуты произведите отчет h' (разности уровней воды в коленях манометра в см). Результат измерения занесите в табл. 6.

7. Повторите действия в пунктах 2–6 для последующих четырех опытов.

8. Рассчитайте величину показателя адиабаты для воздуха в каждом опыте по формуле:

$$\gamma = \frac{h}{h - h'}.$$

Результаты вычислений занесите в табл. 6.

9. Вычислите среднее значение показателя адиабаты $\gamma_{\text{ср}}$ для воздуха как среднее арифметическое значение пяти последовательных измерений:

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_i \quad (n = 5).$$

Результат вычисления занесите в табл. 6.

10. Определите абсолютную погрешность измерения показателя адиабаты $\Delta\gamma$ для воздуха по формуле:

$$\Delta\gamma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\gamma_i - \gamma_{\text{ср}}| \quad (n = 5).$$

Значение $\Delta\gamma$ занесите в табл. 6.

11. Оцените относительную погрешность измерения показателя адиабаты $\delta\gamma$ для воздуха по формуле:

$$\delta\gamma = \frac{\Delta\gamma}{\gamma_{\text{ср}}} \cdot 100\%.$$

Результат вычисления занесите в табл. 6.

12. Окончательный результат работы запишите в виде:

$$\gamma = \gamma_{\text{ср}} \pm \Delta\gamma$$

с относительной погрешностью $\delta\gamma = \dots\%$.

13. Сравните измеренное значение γ для воздуха со значением, полученным из теории теплоемкости идеального газа. Сделайте заключение о строении молекул основных газов, входящих в состав воздуха.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение удельной и молярной теплоемкостей газа. Запишите формулу связи между ними.

2. Запишите формулы связи теплоемкостей C_V и C_p идеального газа с числом степеней свободы его молекул.

3. Запишите уравнение Майера. Поясните, почему C_p всегда больше C_V .

4. Дайте определение адиабатического процесса. Запишите уравнение Пуассона. Чему равен показатель адиабаты в уравнении Пуассона? Каково его численное значение для одноатомных и многоатомных газов?

УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Внимание! Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к проведению лабораторной работы не допускаются.

2. При работе с механическими установками будьте внимательны и находитесь от движущихся частей на безопасном расстоянии.

3. Не останавливайте руками вращающиеся и движущиеся части установок.

4. При обнаружении неисправного оборудования немедленно сообщите об этом лаборанту или преподавателю. На неисправном оборудовании работать запрещается.