

Н.Ю. Истомина,  
М.Д. Носков



# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ ВОЗДУХА МЕТОДОМ КЛЕМАНА И ДЕЗОРМА**

Северск, 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Северский технологический институт –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(СТИ НИЯУ МИФИ)**

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой физики  
профессор

 М.Д. Носков  
«12» 02 2024 г.

Н.Ю. Истомина, М.Д. Носков

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ  
ВОЗДУХА МЕТОДОМ КЛЕМАНА И ДЕЗОРМА**

Методические указания

по курсу «Физика»  
для студентов, обучающихся по направлению  
подготовки 13.03.02, 14.03.02, 14.05.04, 15.03.04, 18.05.02.

Северск 2024

УДК 536 (076)  
ББК 22.317я73  
И 896

**Авторы:**

*Носков М. Д.* – доктор физико-математических наук, профессор кафедры Физика СТИ НИЯУ МИФИ;

*Истомина Н. Ю.* – кандидат технических наук, доцент кафедры Физика СТИ НИЯУ МИФИ.

**Рецензент:**

*Кеслер А. Г.* – кандидат физико-математических наук, доцент СТИ НИЯУ МИФИ.

**Истомина Н.Ю., Носков М.Д.**

И 896      Определение показателя адиабаты воздуха методом Клемана и Дезорма: методические указания/ Н.Ю. Истомина, М.Д. Носков; Северский технологический институт НИЯУ МИФИ – Северск: Издательство СТИ НИЯУ МИФИ, 2024. – 14 с. – Текст: электронный.

В методических указаниях к лабораторной работе рассматриваются основные положения теории идеального газа и термодинамики. Рассмотрены: уравнение состояния идеального газа, первое начало термодинамики, уравнение Майера, уравнение Пуассона. Описаны установка и методика экспериментального определения показателя адиабаты воздуха Клемана-Дезорма.

Методические указания написаны в соответствии с программой и планом физического лабораторного практикума и могут быть использованы в курсе «Физика» преподавателями кафедры физики и студентами следующих направлений подготовки: 13.03.02, 14.03.02, 14.05.04, 15.03.04, 18.05.02.

Руководство рассмотрено и одобрено на заседании методического семинара кафедры физики (протокол № 1 от «15» января 2024 г.).

Издается в соответствии с планом выпуска учебно-методической литературы на 2024г., утвержденным Ученым Советом СТИ НИЯУ МИФИ.

Рег. № 2/24 от 12.02.2024 г.

Редактор М. В. Ворожейкина

© Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Северский технологический институт- филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (СТИ НИЯУ МИФИ), 2024

## 1 Цель работы

Целью работы является изучение адиабатического процесса и определение отношения удельных теплоемкостей воздуха  $C_p/C_v$  методом Клемана и Дезорма.

## 2 Теоретическое введение

Идеальный газ – совокупность огромного числа молекул. Модель идеального газа основана на следующих приближениях [1, 2]:

1) Среднее расстояние между молекулами намного больше их линейных размеров и собственным объёмом молекул можно пренебречь по сравнению с объёмом, занимаемым газом.

2) Молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении.

3) Молекулы взаимодействуют между собой и со стенками сосуда абсолютно упруго. Между соударениями молекулы не взаимодействуют.

Состояние идеального газа массой  $m$  описывается макропараметрами: объёмом  $V$ , давлением  $p$  и температурой  $T$ . **Уравнение состояния газа** – соотношение, связывающее макропараметры  $p, V, T$ :

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (1)$$

где  $R = 8,31$  Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная;  $\mu$  – молярная масса газа;  $\frac{m}{\mu} = \nu$  – число молей газа. Выражение (1) – **уравнение Менделеева-Клапейрона**.

Идеальный газ является термодинамической системой. Одной из функций, описывающей состояние термодинамической системы, является ее **внутренняя энергия**  $U$ . Согласно определению функции состояния [1], приращение внутренней энергии  $dU$  термодинамической системы не зависит от способа перехода системы из одного состояния в другое, а определяется только начальным и конечным состояниями системы. Приращение внутренней энергии идеального газа пропорционально приращению  $dT$  его температуры:

$$dU = \frac{i}{2} \nu R dT. \quad (2)$$

где  $i$  – **число степеней свободы молекул газа** – наименьшее число независимых координат, с помощью которых определяется положение системы в пространстве. Для одноатомного газа число степеней свободы  $i = 3$ ; для двухатомного –  $i = 5$ ; для многоатомного –  $i = 6$ .

Работа газа является характеристикой термодинамического процесса и зависит от способа перехода системы из начального в конечное состояние. Элементарная работа  $dA$ , совершаемая газом в ходе термодинамического процесса, определяется как произведение давления газа  $p$  на приращение объема газа  $dV$ :

$$dA = p \cdot dV. \quad (3)$$

Все тепловые процессы подчиняются закону сохранения энергии. Этот фундаментальный закон для идеального газа был установлен опытным путем и называется **первым началом термодинамики**: количество теплоты  $\delta Q^1$ , подведенное к системе, расходуется на увеличение внутренней энергии  $dU$  газа и на совершение газом работы  $dA$ :

$$\delta Q = dU + dA. \quad (4)$$

**Количество теплоты (теплота)** – характеристика термодинамического процесса – энергия, передаваемая термодинамической системе без совершения работы. В Международной системе единиц (СИ) теплота, работа и энергия измеряются в джоулях (для теплоты иногда используется внесистемная единица – калория:  $1 \text{ кал} = 4,2 \text{ Дж}$ ).

**Теплоемкостью  $C$**  какого-либо тела называют физическую величину, численно равную количеству теплоты  $\delta Q$ , которое необходимо сообщить данному телу, чтобы повысить его температуру на один градус:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}, \quad [C] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}. \quad (5)$$

**Удельная теплоемкость  $c$**  тела – количество теплоты, которое необходимо сообщить единице массы  $m$  тела, чтобы повысить его температуру на один градус:

$$c = \frac{\delta Q}{m \cdot dT}, \quad [c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}. \quad (6)$$

**Молярная теплоёмкость** – теплоемкость одного моля вещества:

$$C = \frac{\delta Q}{\nu \cdot dT}, \quad [C] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}. \quad (7)$$

Молярная  $C$  и удельная  $c$  теплоёмкости связаны соотношением:

---

<sup>1</sup>  $\delta Q$  – здесь и далее обозначает не приращение физической величины, а малую порцию количества теплоты, сообщенного газу.

$$C = c \cdot \mu. \quad (8)$$

Значения молярных и удельных теплоёмкостей одного и того же вещества от термодинамического процесса, в котором участвует газ. Молярная теплоемкость при изохорном процессе обозначается  $C_V$ , при изобарном процессе –  $C_p$ . Найдем взаимосвязь между молярными теплоемкостями газа  $C_V$  и  $C_p$ . Для этого в формуле (7), записанной для  $\frac{m}{\mu} = 1$  моль,  $\delta Q$  распишем с помощью первого начала термодинамики (4):

$$C = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{dA}{dT}. \quad (9)$$

**Изохорным** называется процесс, протекающий при постоянном объеме с неизменным количеством вещества ( $v = const, V = const, dV = 0$ ). Газ в изохорном процессе не совершает работы  $dA = p \cdot dV = 0$  (см. формулу (3)). Значит все количество теплоты, подведенное к газу, идет на увеличение его внутренней энергии. С учетом формулы (9) молярная теплоёмкость газа  $C_V$  при постоянном объеме определяется первой производной от внутренней энергии по температуре:

$$C_V = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dU}{dT}. \quad (10)$$

С помощью формулы (2), выражение (10) можно привести к виду:

$$C_V = \frac{i}{2} R. \quad (11)$$

**Изобарным** называется процесс, протекающий при постоянном давлении с неизменным количеством вещества ( $v = const, p = const, dp = 0$ ). В изобарном процессе количество теплоты  $\delta Q$ , подводимое к газу, расходуется и на увеличение его внутренней энергии  $dU$  и на работу  $dA$  по расширению газа. Таким образом, молярная теплоёмкость при постоянном давлении  $C_p$  равна:

$$C_p = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{dA}{dT} = C_V + p \frac{dV}{dT}. \quad (12)$$

Определим физический смысл второго слагаемого в правой части уравнения (12). Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона (1) для одного моля газа, а затем продифференцируем, получим:

$$Vdp + pdV = RdT. \quad (13)$$

При постоянном давлении ( $dp = 0$ ), выражение (13) принимает вид

$$pdV = RdT.$$

или

$$\frac{pdV}{dT} = R = \frac{dA}{dT}. \quad (14)$$

Таким образом, физический смысл второго слагаемого в правой части уравнения (12) – это приращение работы газа  $dA$  при изменении его температуры на величину  $dT$ . Подставив формулу (14) в выражение (12), получим **уравнение Майера**:

$$C_p = C_v + R. \quad (15)$$

Молярную теплоемкость при постоянном давлении  $C_p$  можно рассчитывать, зная число степеней свободы газа. Для этого формулу (15), учитывая (11), перепишем в виде:

$$C_p = C_v + R = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R. \quad (16)$$

**Адиабатическим процессом** называется процесс, протекающий в газе, без теплообмена с окружающей средой. Адиабатическим можно считать процесс, протекающий достаточно быстро так, что теплообмен с окружающей средой не успевает происходить. Для адиабатического процесса  $\delta Q = 0$  и, следовательно, первое начало термодинамики (4) преобразуется к виду:

$$dU + dA = 0$$

или

$$dA = -dU = -C_v dT. \quad (17)$$

Таким образом, при адиабатическом процессе, газом совершается работа только за счёт изменения внутренней энергии.

Выведем уравнение адиабатического процесса. Для этого выражение (13) разделим на  $pdV$ :

$$\frac{Vdp}{pdV} + 1 = \frac{RdT}{pdV}.$$

или, с учетом (3), (15) и (17)

$$\frac{Vdp}{pdV} + 1 = -\frac{R}{C_V} = -\frac{C_p - C_V}{C_V} = -(\gamma - 1) = 1 - \gamma, \quad (18)$$

где  $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$  – **показатель адиабаты**. Перепишем (18), проводя простейшие математические преобразования:

$$\frac{Vdp}{pdV} = -\gamma. \quad (19)$$

Получили обыкновенное дифференциальное уравнение, которое решается методом разделения переменных [3]. Приведем (19) приводится к виду:

$$\frac{dp}{p} = -\gamma \frac{dV}{V}. \quad (20)$$

Интегрируя (20), получаем уравнение состояния газа для адиабатного процесса или **уравнение Пуассона**:

$$pV^\gamma = \text{const.} \quad (21)$$

Таким образом, значение показателя адиабаты газа  $\gamma$  можно выразить с помощью формул (11) и (16) через число степеней свободы:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{(i+2)R}{2} \cdot \frac{2}{i \cdot R} = \frac{i+2}{i}. \quad (22)$$

### 3 Метод Клемана и Дезорма для определения показателя адиабаты газа

Экспериментальный метод для определения показателя адиабаты, предложенный в 1819 г. Клеманом и Дезормом, основан на адиабатическом расширении газа [4]. Установка для измерения показателя адиабаты, показанная на рисунке 1, состоит из стеклянного баллона 1, соединенного с помощью трубок с водяным манометром 2 и насосом 3. Кран 4 соединяет баллон с атмосферой. С помощью крана 5 насос может отсоединиться от баллона.

Рассмотрим теорию метода Клемана и Дезорма. В процессе измерения параметры газа изменяются. Процессы, в которых участвует газ в ходе эксперимента, показаны на диаграмме состояния газа в баллоне (рисунок 2). В начале опыта в баллоне воздух находится при температуре  $T$ , равной температуре окружающей среды, и атмосферном давлении  $p_0$ . Далее, при закрытом кране 4, насосом 3 нагнетается воздух. Затем, через некоторое время газ в баллоне приходит в температурное равновесие с окружающей средой  $T_1 = T$  – состояние 1. При этом, в манометре 2 (рисунок 1) уровень

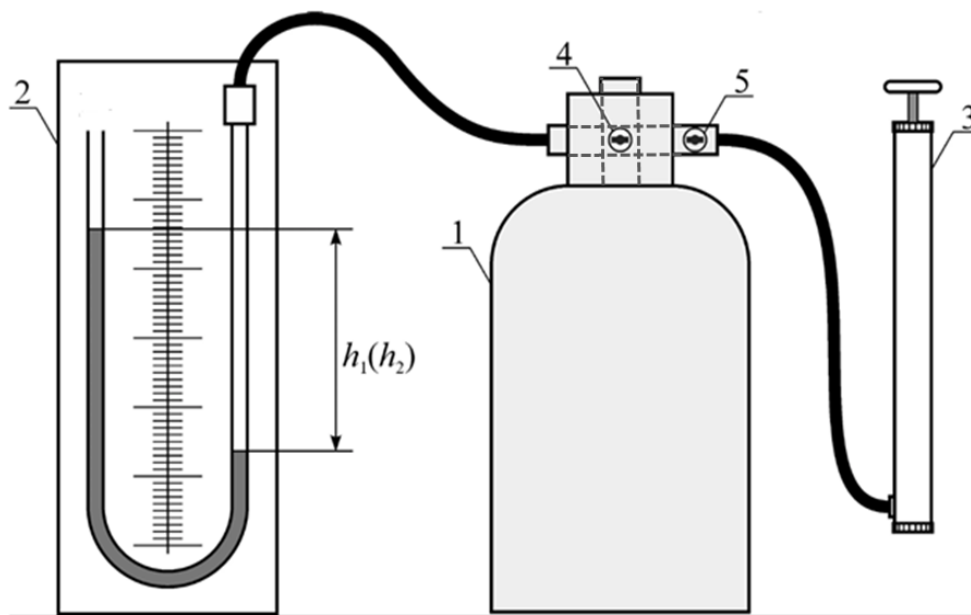
жидкости в левой трубке равен  $n_1$ , в правой –  $n_2$ . Разность уровней жидкости  $h_1 = n_1 - n_2$  создает избыточное над атмосферным давление

$$\Delta p_1 = \rho g h_1, \quad (23)$$

где

$\rho$  – плотность воды;

$g$  – ускорение свободного падения.



1 – баллон; 2 – водяной манометр; 3 – насос; 4, 5 – краны

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

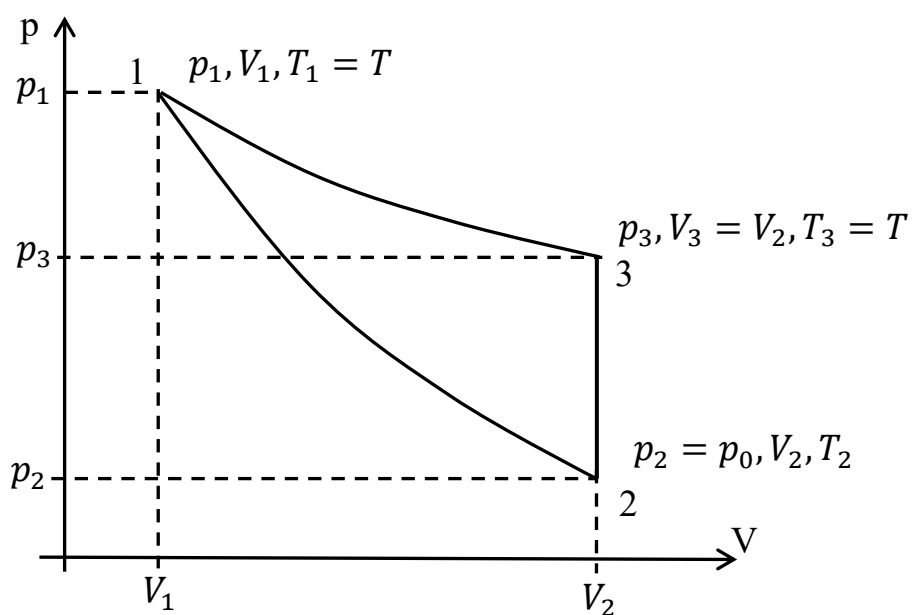


Рисунок 2 – Диаграмма изменения состояния газа в баллоне

Давление  $p_1$  газа в состоянии 1 равно сумме атмосферного давления  $p_0$  и избыточного давления  $\Delta p_1$

$$p_1 = p_0 + \Delta p_1. \quad (24)$$

Затем газ переводят в состояние 2. Для этого кран 4 открывают на 2 – 4 секунды так, чтобы давление в баллоне  $p_2$  стало равно атмосферному давлению  $p_2 = p_0$ . Объем газа в баллоне увеличивается от  $V_1$  до  $V_2$ . Расширение газа происходит быстро, поэтому процесс перехода газа из состояния 1 в состояние 2 можно считать адиабатическим. В результате адиабатического расширения температура воздуха в баллоне понижается до температуры  $T_2$  ( $T_2 < T$ ). Уравнение Пуассона (21) для процесса 1 – 2, имеет вид:

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

или

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma \quad (25)$$

Вследствие теплообмена с окружающей средой, газ переходит в состояние 3. Температура газа станет равной температуре воздуха в помещении  $T_3 = T$  через 1 – 2 минуты. В манометре 2 (рисунок 1) уровень жидкости в левой трубке станет равен  $n'_1$ , в правой –  $n'_2$ . Разность уровней жидкости

$$h_2 = n'_1 - n'_2$$

создаст избыточное над атмосферным давление

$$\Delta p_2 = \rho g h_2. \quad (26)$$

Нагревание газа в процессе 2 – 3 при неизменном объеме  $V_3 = V_2$  приведет к увеличению давления до величины равной

$$p_3 = p_0 + \Delta p_2. \quad (27)$$

Таким образом, в результате изохорного процесса 2 – 3 газ перейдет в состояние 3. Далее газ изотермически из состояния 3 переходит в состояние 1. Для изотермического процесса 3 – 1, уравнение состояния имеет вид:

$$p_3 V_3 = p_1 V_1. \quad (28)$$

Теперь, используя соотношения (25) и (28), найдем показатель адиабаты (22). Для этого выразим из уравнения (28) отношение объемов  $V_3$  к  $V_1$ :

$$\frac{V_3}{V_1} = \frac{p_1}{p_3}$$

или, учитывая, что  $V_2 = V_3$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_3} \quad (29)$$

Подставим соотношение (29) в выражение (25) и получим

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{p_1}{p_3} \right)^\gamma \quad (30)$$

Прологарифмировав обе части (30), выразим  $\gamma$ :

$$\ln \left( \frac{p_1}{p_2} \right) = \gamma \ln \left( \frac{p_1}{p_3} \right).$$

Учитывая, что  $p_2 = p_0$ , показатель адиабаты равен

$$\gamma = \frac{\ln \left( \frac{p_1}{p_0} \right)}{\ln \left( \frac{p_1}{p_3} \right)} = \frac{\ln p_1 - \ln p_0}{\ln p_1 - \ln p_3}. \quad (31)$$

Выразим  $p_1$  и  $p_3$  через непосредственно измеряемые величины  $h_1$  и  $h_2$ . Найдем разности натуральных логарифмов в числителе и знаменателе выражения (31). Для этого  $\ln p_1$  и  $\ln p_3$  разложим в ряд Тейлора [3], пренебрегая всеми, кроме первого, членами ряда по причине их малого порядка. Тогда с учетом формул (24) и (27) получим для  $\ln p_1$  и  $\ln p_3$  выражения

$$\ln p_1 = \ln(p_0 + \Delta p_1) = \ln p_0 + \frac{\Delta p_1}{p_0} \quad (32)$$

И

$$\ln p_3 = \ln(p_0 + \Delta p_2) = \ln p_0 + \frac{\Delta p_2}{p_0} \quad (33)$$

Подставляя выражения (32) и (33) в формулу (31), находим, что

$$\gamma = \frac{\ln p_0 + \frac{\Delta p_1}{p_0} - \ln p_0}{\ln p_0 + \frac{\Delta p_1}{p_0} - \ln p_0 + \frac{\Delta p_2}{p_0}} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_1 - \Delta p_2}. \quad (34)$$

С учетом формул (23) и (26) для избыточных давлений  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$ , формула (34) метода Клемана и Дезорма для определения показателя адиабаты воздуха, принимает вид:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (35)$$

## 4 Порядок работы

4.1 Насосом накачивать в баллон воздух до тех пор, пока разность уровней жидкости в коленях манометра не станет равной 25 – 30 см.

4.2 Закрывать кран 5, соединяющий насос с баллоном.

4.3 Подождать не менее 1 – 2 минуты пока, благодаря теплообмену, температура газа в баллоне не станет равной комнатной.

4.4 Измерить уровни жидкости в левом  $n_1$  и правом  $n_2$  коленях манометра 2. Вычислить разность уровней  $h_1 = n_1 - n_2$ . Данные занести в таблицу 1.

4.5 На короткое время (2 – 4 с) открыть кран 4, соединяющий баллон с атмосферой, и снова закрыть его, как только уровни жидкости в коленях манометра 2 сравняются.

4.6 Выждать 1 – 2 минуты, чтобы охладившийся при адиабатическом расширении воздух нагрелся до комнатной температуры.

4.7 Измерить уровни жидкости в левом  $n'_1$  и правом  $n'_2$  коленях манометра 2. Вычислить разность уровней  $h_2 = n'_1 - n'_2$ . Данные занести в таблицу 1.

4.8 Рассчитать по формуле (35) экспериментально измеренный показатель адиабаты воздуха  $\gamma_{i, \text{эксп.}}$ . Результат занести в таблицу 1.

4.9 С помощью формулы (22) рассчитайте теоретическое значение показателя адиабаты воздуха  $\gamma_{\text{теор.}}$ .

4.10 Оцените относительную погрешность косвенных измерений показателя адиабаты воздуха  $\gamma_{i, \text{эксп.}}$  по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{|\gamma_{\text{теор.}} - \gamma_{i, \text{эксп.}}|}{\gamma_{\text{теор.}}} \cdot 100\%.$$

4.10 Повторить эксперимент, выполняя п.п. 4.1 – 4.10. Количество экспериментов, в которых  $\varepsilon_i \leq 20\%$  должно быть не меньше пяти (точное количество успешных экспериментов задает преподаватель).

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

| номер<br>опыта | Уровни до расширения            |                                  |                                  | Уровни после расширения          |                                   |                                  | Показатель<br>адиабаты<br>$\gamma_{i, \text{эксп.}}$ | $\varepsilon_i, \%$ |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------|
|                | левое<br>колесо<br>$n_1,$<br>см | правое<br>колесо<br>$n_2,$<br>см | разность<br>уровней<br>$h_1,$ см | левое<br>колесо<br>$n'_1,$<br>см | правое<br>колесо<br>$n'_2,$<br>см | разность<br>уровней<br>$h_2,$ см |                                                      |                     |
|                |                                 |                                  |                                  |                                  |                                   |                                  |                                                      |                     |

## 5 Обработка результатов и оценка погрешности измерений

5.1 Проанализируйте значения  $\gamma_{i, \text{эксп.}}$ . Занесите в таблицу 2 только те значения  $\gamma_{i, \text{эксп.}}$ , относительная погрешность вычисления которых удовлетворяет условию  $\varepsilon_i \leq 20\%$ .

5.2 Найти среднее значение  $\langle \gamma \rangle$ :

$$\langle \gamma \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma_{i, \text{эксп.}}$$

5.3 Вычислить отклонения от среднего значения для каждого опыта:

$$\Delta \gamma_i = \gamma_{i, \text{эксп.}} - \langle \gamma \rangle.$$

5.4 Вычислить квадраты отклонений  $(\Delta \gamma_i)^2$ .

5.5 Найти среднеквадратичную ошибку  $\sigma_\gamma$  измерений по формуле:

$$\sigma_\gamma = \sqrt{\frac{\sum_i (\Delta \gamma_i)^2}{N(N-1)}}.$$

5.6 Найти доверительный интервал  $\Delta \gamma$ , соответствующий доверительной вероятности  $p = 0,95$ :

$$\Delta \gamma = t_{p, N} \sigma_\gamma.$$

Коэффициент Стьюдента  $t_{p, N}$  для  $N$  измерений взять из таблицы 3, [3].

5.7 Написать вывод. Результат работы привести в форме:  
 $\gamma = \langle \gamma \rangle \pm \Delta \gamma.$

Таблица 2 – Расчёт погрешностей

| Номер опыта | $\gamma_{i,\text{эксп.}}$ | $\langle \gamma \rangle$ | $\Delta \gamma_i$ | $(\Delta \gamma_i)^2$ | $\sigma_\gamma$ | $t_{p,N}$ | $\Delta \gamma$ |
|-------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|-----------|-----------------|
|             |                           |                          |                   |                       |                 |           |                 |

Таблица 3 – Коэффициенты Стьюдента  $t_{p,N}$  для доверительной вероятности  $p = 0,95$ , [3]

| Число измерений, N | Коэффициент Стьюдента, $t_{p,N}$ | Число измерений, N | Коэффициент Стьюдента, $t_{p,N}$ |
|--------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 3                  | 4,30                             | 12                 | 2,20                             |
| 4                  | 3,18                             | 13                 | 2,18                             |
| 5                  | 2,78                             | 14                 | 2,16                             |
| 6                  | 2,57                             | 15                 | 2,15                             |
| 7                  | 2,45                             | 16                 | 2,13                             |
| 8                  | 2,37                             | 17                 | 2,12                             |
| 9                  | 2,31                             | 18                 | 2,11                             |
| 10                 | 2,26                             | 19                 | 2,10                             |
| 11                 | 2,23                             | 20                 | 2,093                            |

## 6 Контрольные вопросы

- 6.1 Какой газ называется идеальным?
- 6.2 Написать уравнение состояния идеального газа.
- 6.3 Сформулировать первое начало термодинамики.
- 6.4 Дать определение удельной и молярной теплоемкостей.
- 6.5 Записать формулы для молярных теплоемкостей газа при постоянном объеме и давлении
- 6.6 Вывести уравнение Роберта Майера.
- 6.7 Объяснить, почему  $C_p > C_v$ .
- 6.8 Какой процесс называется адиабатическим?
- 6.9 Вывести уравнение Пуассона.
- 6.10 Вывести формулу (35) метода Клемана и Дезорма для определения показателя адиабаты воздуха.
- 6.11 Объяснить на диаграмме изменения состояния газа в процессе измерения.
- 6.12 Что следует делать, чтобы не выплеснуть рабочую жидкость из

манометра?

6.13 Зачем выждать 1 – 2 минуты после накачки баллона?

6.14 Какие эксперименты считаются успешными? Сколько раз необходимо провести эксперимент?

### **Литература**

- 1) Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1.– М.: Наука, 1982. – 432 с.
- 2) Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т2. – М.: Наука, 1979. – 552 с.
- 3) Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1977. – 720 с.
- 4) Руководство к лабораторным занятиям по физике/Под ред. Л.Л. Гольдиш. – М.: ГРФМЛ, 1973. – 688 с.