

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МОЛЯРНЫХ
ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗОВ ПРИ ПОСТОЯННОМ
ДАВЛЕНИИ И ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ
МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ**

*Методические указания к выполнению лабораторной работы 4
для студентов всех технических направлений подготовки
всех форм обучения*

Красноярск 2014

УДК 537.2(075.5)

Рецензент

кандидат физико-математических наук, доцент И. В. УВАЕВ
(Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева)

Печатается по решению методической комиссии ИКТ

Определение отношения молярных теплоемкостей газов при постоянном давлении и постоянном объеме методом адиабатического расширения : метод. указания к выполнению лаб. работы 4 для студентов технических направлений подготовки всех форм обучения / сост. П. П. Машков ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2014. – 24 с.

© Сибирский государственный аэрокосмический
университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2014

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Лабораторная работа 4 «Определение отношения молярных теплоемкостей газов при постоянном давлении и постоянном объеме методом адиабатического расширения» выполняется студентами первого курса технических направлений подготовки очной и заочной формы обучения, изучающими раздел «Механика, молекулярная физика и термодинамика» дисциплин «Физика», «Физика и естествознание».

Данная лабораторная работа выполняется после лабораторной работы 1 «Обработка результатов эксперимента при выполнении лабораторного практикума по разделу «Механика, молекулярная физика и термодинамика».

В данных методических указаниях приведены краткие теоретические сведения по темам «Изопроцессы», «Адиабатический процесс», «Первое начало термодинамики и его применение к различным процессам», описание лабораторной установки, приведены задания и порядок выполнения работы, контрольные вопросы и задания, а также библиографический список с рекомендуемой для изучения литературой.

Лабораторная работа выполняется в течение двух академических часов. По полученным результатам оформляется отчет установленного образца (см. приложение). Уровень освоения материала определяется в ходе защиты студентами лабораторной работы.

По содержанию и объему работа соответствует программе курса общей физики для высших технических учебных заведений.

Лабораторная работа 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МОЛЯРНЫХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗОВ ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ

Цель работы: определить коэффициент Пуассона γ для воздуха, используя метод адиабатического расширения.

Оборудование: закрытый стеклянный баллон с краном, U-образный водяной манометр и насос (или установка ФПТ1-6).

Краткие теоретические сведения

Рассмотрим процессы, происходящие в идеальных газах при изменении термодинамических параметров T , p , V , описывающих систему. Наибольший интерес представляют *изопроцессы*, т. е. процессы, при которых один из термодинамических параметров остается постоянным.

Изотермический процесс – это термодинамический процесс, при котором для данной массы газа m при постоянной температуре T произведение давления p на объем V есть величина постоянная:

$$p \cdot V = \text{const} \text{ при } T = \text{const} \text{ и } m = \text{const},$$
$$\text{или } \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}. \quad (1)$$

Это *закон Бойля–Мариотта*, или *уравнение изотермического процесса*. Кривая, изображающая зависимость p от V (рис. 1), называется *изотермой*. Изотермы являются гиперболами.

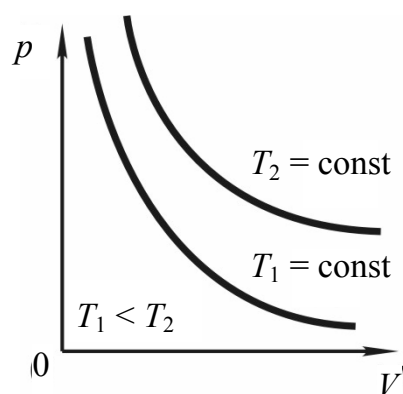


Рис. 1

Изобарный процесс характеризуется тем, что для данной массы m газа при постоянном давлении p объем V изменяется линейно с температурой T (рис. 2):

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ при } p = \text{const}, m = \text{const}. \quad (2)$$

Это закон Гей–Люссака.

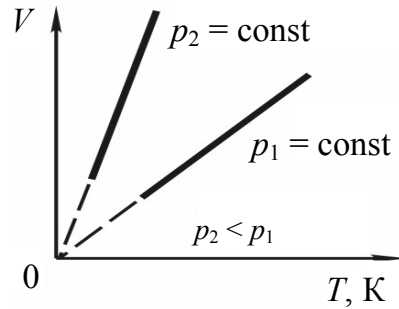


Рис. 2

При *изохорном (изохорическом)* процессе при постоянном объеме V для данной массы газа m давление p изменяется линейно с температурой T (рис. 3):

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ при } V = \text{const}, m = \text{const}. \quad (3)$$

Это закон Шарля.

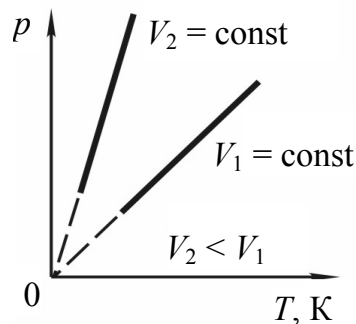


Рис. 3

Если только масса газа остается неизменной, то для данной массы газа величина $\frac{pV}{T}$ остается постоянной:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \text{ или } \frac{pV}{T} = B = \text{const}, \quad (4)$$

где B – газовая постоянная, различная для разных газов. Выражение (4) является *уравнением Клапейрона*

Русский ученый Д. И. Менделеев доработал уравнение (4), сделав возможным подсчет постоянной B :

$$\frac{pV}{T} = \nu R,$$

где $\nu = \frac{m}{\mu}$ – количество вещества; $R = 8,31$ Дж/(моль · К) – молярная газовая постоянная.

Перепишем уравнение Менделеева–Клапейрона в традиционной форме записи:

$$pV = \nu RT, \quad pV = \frac{m}{M} RT. \quad (5)$$

Уравнение Менделеева–Клапейрона является *уравнением состояния идеального газа*, связывающим между собой термодинамические параметры, описывающие термодинамическую систему. Для описания процессов передачи энергии при термодинамических процессах используют первое начало термодинамики.

Первое начало термодинамики: количество теплоты, сообщаемое системе, расходуется на изменение внутренней энергии системы и совершение системой работы против внешних сил:

$$dQ = dU + dA, \quad (6)$$

или в более правильной с математической точки зрения форме:

$$\delta Q = dU + \delta A, \quad (7)$$

где δQ – бесконечно малое количество теплоты; dU – бесконечно малое изменение внутренней энергии системы; δA – элементарная работа. В выражении (7) dU является полным дифференциалом, а δA и δQ таковыми не являются. В дальнейшем мы будем использовать запись первого начала термодинамики в форме (7).

Рассмотрим слагаемые, входящие в первое начало термодинамики.

Работа газа против внешних сил при его расширении δA равна произведению $P \cdot dV$, где dV – изменение объема газа.

Внутренняя энергия U – это энергия хаотического (теплового) движения микрочастиц системы и энергия взаимодействия этих частиц.

К внутренней энергии не относится кинетическая энергия движения системы как целого и потенциальная энергия системы во

внешних полях. Внутренняя энергия является однозначной функцией термодинамической системы: в каждом состоянии система обладает вполне определенной внутренней энергией. Поэтому внутренняя энергия не зависит от того, каким образом система пришла в данное состояние.

В классической статистической физике выводится закон Больцмана о равномерном распределении энергии по степеням свободы молекул: для статистической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия, на каждую поступательную и вращательную степени свободы в среднем приходится кинетическая энергия, равная $kT/2$, а на каждую колебательную степень свободы – энергия, равная kT . Таким образом, средняя энергия молекулы

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT, \quad (8)$$

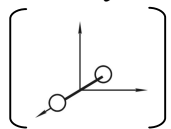
где k – постоянная Больцмана; i – сумма числа поступательных ($i_{\text{п}}$), числа вращательных ($i_{\text{вр}}$) и удвоенного числа колебательных степеней свободы ($i_{\text{к}}$) молекулы:

$$i = i_{\text{п}} + i_{\text{вр}} + 2i_{\text{к}}. \quad (9)$$

Число степеней свободы – это число независимых переменных, определяющих положение системы в пространстве. В классической теории рассматриваются молекулы с жесткой связью между атомами, для которых i совпадает с числом степеней свободы молекулы (табл. 1).

Таблица 1

Число степеней свободы молекул идеального газа с жесткой связью

Число степеней свободы	Одноатомная молекула 	Двухатомная молекула 	Многоатомная молекула 
Поступательных	3	3	3
Вращательных	–	2	3
Всего	3	5	6

Поскольку в идеальном газе взаимная потенциальная энергия молекул равна нулю, то внутренняя энергия 1 моля газа равна сумме кинетических энергий N_A молекул:

$$U_m = \frac{i}{2} k N_A T = \frac{i}{2} RT, \quad (10)$$

где U_m – внутренняя энергия 1 моля; k – постоянная Больцмана. Внутренняя энергия для произвольной массы m газа

$$U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT = \nu \frac{i}{2} RT, \quad (11)$$

где ν – количество вещества.

Передача теплоты системе может приводить к ее нагреванию. Следовательно, мы можем ввести понятие теплоемкости.

Удельная теплоемкость вещества $c_{уд}$ – это скалярная величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг этого вещества, чтобы увеличить его температуру на 1 К (или 1 °С):

$$c_{уд} = \frac{\delta Q}{m \cdot dT}. \quad (12)$$

Единица удельной теплоемкости – джоуль на килограмм-кельвин (Дж/(кг · К)).

Для газов удобно пользоваться *молярной теплоемкостью* C – скалярной величиной, численно равной количеству теплоты, необходимому для нагревания 1 моля вещества на 1 К:

$$C = \frac{\delta Q}{\frac{m}{\mu} dT}. \quad (13)$$

Единица молярной теплоемкости – джоуль на моль-кельвин (Дж/(моль · К)).

Очевидна связь между молярной и удельной теплоемкостями:

$$C = \mu c_{уд}, \quad (14)$$

где μ – молярная масса данного вещества.

Величина теплоемкости газа при различных термодинамических процессах будет различной. Выясним эту зависимость с помощью уравнения состояния идеального газа и первого начала термодинамики.

Применим первое начало термодинамики к изохорному процессу. При этом процессе нагревание газа происходит без изменения его объема: $V = \text{const}$.

Диаграмма этого процесса – *изохора* – в координатах (p, V) изображается прямой (рис. 4), параллельной оси ординат (оси p)

(процесс 2–1 – изохорный нагрев, процесс 2–3 – изохорное охлаждение). При изохорном процессе газ не совершает работу над внешними телами ($\delta A = p \cdot dV = 0$), следовательно, согласно первому началу термодинамики (7), вся теплота, сообщаемая газу, идет на увеличение внутренней энергии ($\delta Q = dU$):

$$\delta Q = \frac{im}{2\mu} R dT. \quad (15)$$

Тогда, исходя из уравнения (13), молярная теплоемкость газа при постоянном объеме

$$C_V = \frac{dQ}{\nu dT} = \frac{i}{2} R. \quad (16)$$

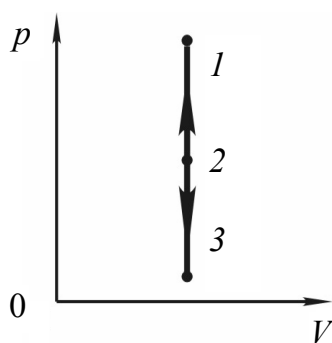


Рис. 4

Применим первое начало термодинамики к изобарному процессу. При этом процессе $p = \text{const}$. При нагревании газа при постоянном давлении его объем возрастает, а сообщаемое газу тепло идет не только на увеличение его внутренней энергии dU , но и на совершение работы против внешних сил δA .

Диаграмма этого процесса – *изобара* – в координатах (p, V) изображается прямой, параллельной оси абсцисс (оси V) (рис. 5). При изобарном процессе работа газа при увеличении объема от V_1 до V_2

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = p(V_2 - V_1), \quad (17)$$

определяется площадью заштрихованного прямоугольника. Используя уравнение Менделеева–Клапейрона, получаем:

$$V_2 - V_1 = \frac{mR}{\mu \cdot p} (T_2 - T_1),$$

откуда

$$A = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1).$$

Тогда молярная теплоемкость газа при постоянном давлении

$$C_p = \frac{dQ}{\nu dT} = \left(\frac{i}{2} + 1\right) R. \quad (18)$$

С учетом формулы для теплоемкости при изохорном процессе (16) получим

$$C_p = C_V + R. \quad (19)$$

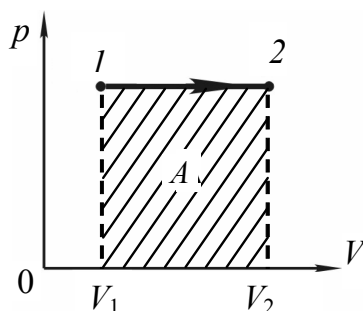


Рис. 5

Выражение (19) называется *уравнением Майера*. Оно показывает, что C_p всегда больше C_V на величину молярной газовой постоянной. Это объясняется тем, что при нагревании газа при постоянном давлении требуется дополнительное количество теплоты на совершение работы расширения газа, так как постоянство давления обеспечивается увеличением объема газа.

Адиабатический процесс – это процесс, при котором система не получает теплоту извне и не отдает ее, т. е. процесс, протекающий без теплообмена с окружающей средой: $\delta Q = 0$ (рис. 6).

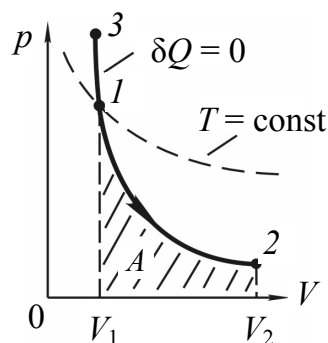


Рис. 6

Для протекания адиабатического процесса система должна быть окружена теплоизолирующей оболочкой. Практически близкими к адиабатическому процессу можно считать процессы, протекающие настолько быстро, что теплообмен с окружающей средой не успевает произойти.

Так как $\delta Q = 0$, то из первого начала термодинамики следует, что в адиабатическом процессе работа может производиться лишь за счет изменения внутренней энергии системы: $\delta A = -dU$.

Используя обозначения

$$\delta A = p \cdot dV \text{ и } dU = \frac{m}{\mu} C_V \cdot dT,$$

получим

$$p \cdot dV = -\frac{m}{\mu} C_V dT. \quad (20)$$

Продифференцируем уравнение состояния идеального газа (5):

$$pdV + Vdp = \frac{m}{\mu} R dT. \quad (21)$$

Исключим из (20) и (21) температуру T :

$$\frac{pdV + Vdp}{pdV} = -\frac{R}{C_V} = -\frac{C_p - C_V}{C_V}.$$

Разделив переменные и обозначив $\frac{C_p}{C_V} = \gamma$, найдем

$$\frac{dp}{p} = -\gamma \frac{dV}{V}.$$

Интегрируя это уравнение в пределах от p_1 до p_2 и соответственно от V_1 до V_2 , а затем потенцируя, придем к выражению

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

или

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

Состояния 1 и 2 выбраны нами произвольно, поэтому можно записать

$$pV^\gamma = \text{const}. \quad (22)$$

Полученное выражение есть уравнение адиабатического процесса, называемое также *уравнением Пуассона*:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i + 2}{i}, \quad (23)$$

где безразмерная величина γ – показатель адиабаты (*коэффициент Пуассона*).

Атмосферный воздух содержит 78 % азота (N_2) и 21 % кислорода (O_2). Следовательно, воздух можно считать смесью двухатомных газов. Число степеней свободы для воздуха в этом случае равно пяти.

Непосредственное экспериментальное определение коэффициента γ через отношения теплоемкостей газа C_p и C_V затруднительно, так как они составят ничтожную долю теплоемкостей сосуда, заключающего газ, и поэтому измерение будет неточным. Обычно измеряют коэффициент γ , входящий в уравнение Пуассона (22). Поэтому в данной лабораторной работе для определения γ предлагается метод адиабатического расширения газа. Этот метод носит название *метода Клемана–Дезорма* в честь ученых, впервые предложивших его.

Описание лабораторной установки

Используемая в данной лабораторной работе установка (рис. 7) состоит из стеклянного баллона А, соединенного с манометром М, клапаном С для сообщения с атмосферой и насосом В. Если при помощи насоса накачать в баллон некоторое количество воздуха, то его давление и температура повысятся. Вследствие теплообмена с окружающей средой температура воздуха в баллоне через некоторое время сравняется с температурой окружающей среды. Давление p , установившееся в баллоне, больше атмосферного на величину давления столба h_1 , определяемую разностью уровней жидкостей в коленях манометра.

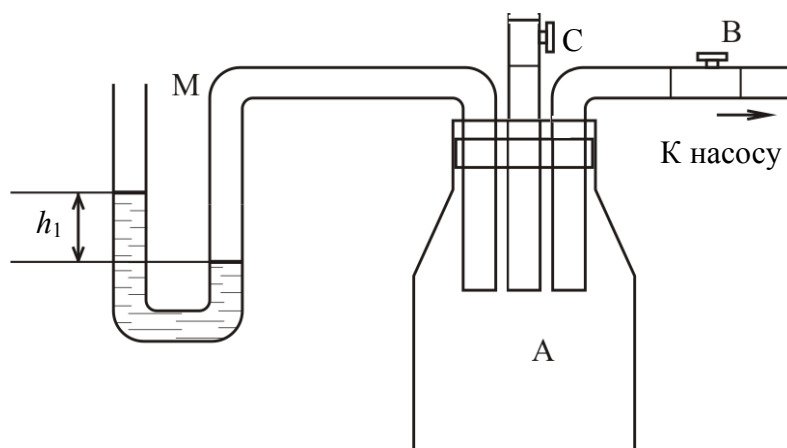


Рис. 7

Установка ФПТ1-6 (рис. 8) также содержит баллон с воздухом и жидкостный манометр. А отличие от установки с отдельным стеклянным баллоном заключается лишь в том, что открытие крана и накачивание воздуха производятся не в ручном режиме, а с помощью кнопок и тумблеров с передней панели установки.

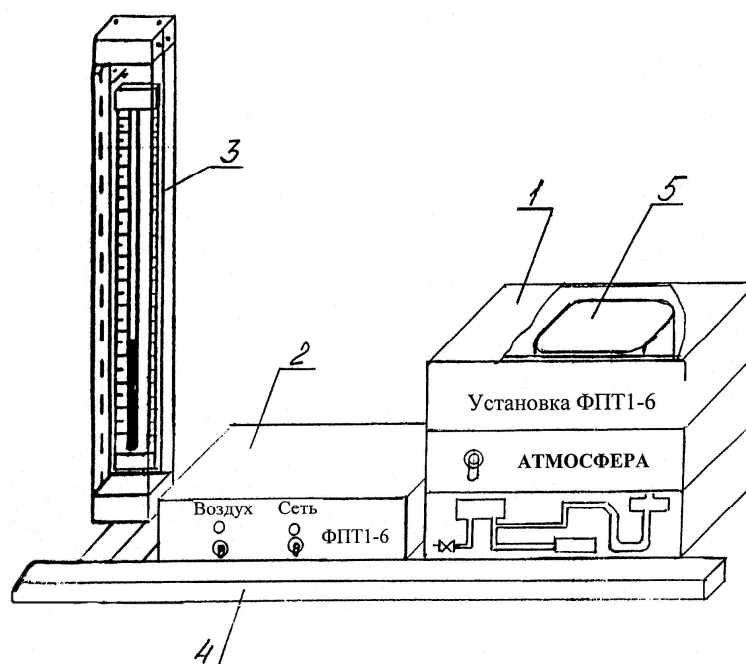


Рис. 8

На рис. 8 использованы следующие обозначения: 1 – блок манометра; 2 – блок приборный БП-6; 3 – блок рабочего элемента; 4 – стеклянная колба, находящаяся внутри установки; 5 – стойка.

Если обозначить массу воздуха в баллоне при атмосферном давлении через m , то при давлении p_1 воздух займет меньший объем, чем объем сосуда. Обозначим этот объем через V_1 . Тогда состояние воздуха массой m внутри баллона будет характеризоваться параметрами $p_1, V_1, T_1 = T_{\text{ком}}$ (рис. 9).

На рис. 9 данному состоянию соответствует точка M_1 . Если открыть на короткое время кран С, то воздух будет выходить из баллона, т. е. воздух, находящийся в баллоне, расширится. Давление внутри баллона в конце расширения равно атмосферному давлению p_0 , а объем рассматриваемой массы воздуха равен объему сосуда V .

Процесс быстрого расширения воздуха можно считать адиабатическим, в связи с чем температура T_2 станет ниже комнатной. Следовательно, в конце адиабатического расширения (точка M_2 на рис. 9) состояние воздуха будет иметь параметры p_0, V_2, T_2 .

Применяя к этим состояниям уравнение Пуассона, получим:

$$p_1 V_1^\gamma = p_0 V_2^\gamma. \quad (24)$$

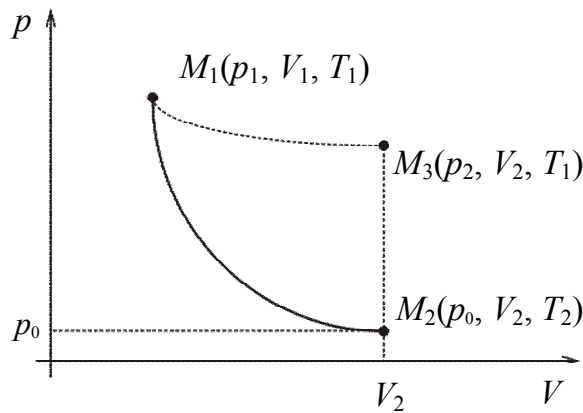


Рис. 9

Закроем кран С. Охладившийся при расширении воздух в баллоне через некоторое время вследствие теплообмена нагреется до комнатной температуры. Процесс нагревания M_2-M_3 будет изохорическим. Это приведет к возрастанию давления воздуха до некоторой величины p_2 . Поэтому давление будет больше атмосферного на величину давления столба h_2 , определяемую разностью уровней жидкости в коленах манометра. Параметры этого состояния (точка M_3) – $p_2, V_2, T_1 = T_{\text{ком}}$.

Начальное и конечное состояния газа наблюдаются при одинаковой температуре, поэтому на основании закона Бойля–Мариотта (1) можно записать

$$p_1 V_1 = p_2 V_2. \quad (25)$$

На графике (см. рис. 9) показаны процессы перехода газа из одного состояния в другое: линия $M_1 M_2$ – адиабата; $M_2 M_3$ – изохора; $M_1 M_3$ – изотерма.

Найдем значение γ . Для этого обе части уравнения (24) возведем в степень γ :

$$p_1^\gamma V_1^\gamma = p_2^\gamma V_2^\gamma. \quad (26)$$

Затем разделим уравнение (26) на уравнение (24) и полученное выражение прологарифмируем:

$$\gamma = \frac{\lg p_1 - \lg p_0}{\lg p_1 - \lg p_2}. \quad (27)$$

С учетом того, что давления p_0, p_1, p_2 отличаются друг от друга незначительно, в формуле (27) разности логарифмов заменим разностями самих чисел:

$$\gamma = \frac{p_1 - p_0}{p_1 - p_2}. \quad (28)$$

Зная, что p_0 – атмосферное давление, а давления p_1 и p_2 превышают атмосферное на величину давления столбов жидкости в манометре высотой h_1 и h_2 соответственно:

$$p_1 = p_0 + \rho g h_1, \quad p_2 = p_0 + \rho g h_2,$$

где ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения, получим:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (29)$$

Формула (29) является расчетной для определения коэффициента Пуассона γ . Разности уровней жидкости h_1 и h_2 измеряются непосредственно из опыта.

Порядок выполнения работы

Для установки с отдельным стеклянным баллоном

1. Ознакомиться с устройством стеклянного баллона с краном, U-образного водяного манометра, зажима и насоса. Подключить насос.

2. Убедившись в том, что кран С закрыт, с помощью насоса осторожно накачать воздух в баллон до тех пор, пока разность уровней жидкости в трубках манометра не достигнет 15–20 см.

3. Закрыть зажим В и, выждав 2–5 мин, пока уровни в трубках манометра не перестанут изменяться, произвести измерение разности высот жидкости в трубках манометра h_1 . Отсчет вести по нижнему краю мениска.

4. Быстро открыть кран С и тотчас же, как только прекратится шипение выходящего из баллона воздуха и уровни жидкости в трубках манометра сравняются, закрыть его. Через 2–5 мин, когда положение уровней жидкости в манометре перестанет изменяться, измерить разность высот жидкости в трубках манометра h_2 . Результаты измерений записать в табл. 2.

5. Опыт повторить пять раз.

Таблица 2

n	Высота уровней до расширения		h_1	Высота уровней после расширения		h_2	γ	γ
	слева	справа		слева	справа			
1								
2								
3								
4								
5								

6. По формуле (29) вычислить коэффициент Пуассона γ для каждого опыта:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}.$$

7. Найти среднеарифметическое значение $\bar{\gamma}$.

8. Определить теоретическое значение коэффициента Пуассона для воздуха как для смеси двухатомных газов по формуле (23):

$$\gamma_{\text{теор}} = \frac{i + 2}{i}.$$

9. Сравнить найденное значение $\bar{\gamma}$ с теоретическим значением и найти относительную погрешность δ :

$$\delta = \frac{|\bar{\gamma} - \gamma_{\text{теор}}|}{\gamma_{\text{теор}}}.$$

10. Вычислить погрешность $\Delta\gamma$ по формуле $\Delta\gamma = \delta \cdot \bar{\gamma}$.

11. Результат записать в виде $\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta\gamma$.

Для установки ФПТ1-6

1. Подать на установку питание, включив тумблер в модуль «Сеть» (см. рис. 8).

2. Убедиться, что пневмотумблер «АТМОСФЕРА» находится в закрытом положении. Включить подачу воздуха в рабочий элемент тумблером «Вкл» в модуле «Воздух». По манометру контролировать рост давления в рабочем элементе, пока разность уровней жидкости в трубках манометра не станет равной 15–20 см. После достижения заданного уровня рабочего давления отключить подачу воздуха.

3. Выждав 2–5 мин, пока уровни в трубках манометра не перестанут изменяться, произвести измерение разности высот жидкости в трубках манометра h_1 . Отсчет вести по нижнему краю мениска.

4. Переключить пневмотумблер «АТМОСФЕРА» в блоке РЭ-6 и оставить в таком положении до тех пор, пока не прекратится шипение выходящего из баллона воздуха и уровни жидкости в трубках манометра сравняются, после чего закрыть пневмотумблер. Через 2–5 мин, когда положение уровней жидкости в манометре перестанет изменяться, измерить разность высот жидкости в трубках манометра h_2 . Результаты измерений записать в табл. 3.

Таблица 3

n	Высота уровней до расширения		h_1	Высота уровней после расширения		h_2	γ	γ
	слева	справа		слева	справа			
1								
2								
3								
4								
5								

5. Опыт повторить пять раз.

6. По формуле (29) вычислить коэффициент Пуассона γ для каждого опыта:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}.$$

7. Найти среднеарифметическое значение $\bar{\gamma}$.

8. Определить теоретическое значение коэффициента Пуассона для воздуха как для смеси двухатомных газов по формуле (23):

$$\gamma_{\text{теор}} = \frac{i + 2}{i}.$$

9. Сравнить полученное значение $\bar{\gamma}$ с теоретическим и найти относительную погрешность δ :

$$\delta = \frac{|\bar{\gamma} - \gamma_{\text{теор}}|}{\gamma_{\text{теор}}}.$$

10. Рассчитать погрешность $\Delta\gamma$ по формуле $\Delta\gamma = \delta \cdot \bar{\gamma}$.

11. Результат записать в виде $\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta\gamma$.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятия «моль». Как связаны это понятие и число Авогадро?

2. Какой газ называют идеальным? При каких условиях для реальных газов можно применять формулы, полученные для идеального газа?

3. Определите понятие «степень свободы». Каким образом можно подсчитать число степеней свободы?

4. Чем отличаются удельная и молярная теплоемкости? Укажите их размерности и связь друг с другом.

5. Почему теплоемкость газа зависит от условий нагревания? Какая из теплоемкостей: C_V и C_p – больше и по какой причине?

6. Как будет выглядеть уравнение Майера для удельных теплоемкостей?

7. Объясните физический смысл постоянной R в уравнении Майера и укажите ее размерность.

8. Запишите уравнение состояния идеального газа. Получите из него уравнения изопроцессов.

9. Примените первое начало термодинамики к изопроцессам.

10. Какой процесс называют адиабатическим? При каких условиях реальные процессы можно считать адиабатическими? Выполняются ли эти условия в данной лабораторной работе?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарев, Б. В. Курс общей физики : учеб. пособие. В 3 т. Т. 1 : Механика / Б. В. Бондарев, Н. П. Калашников, Г. Г. Спирин. – 2-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2005. – 352 с.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики : учеб. пособие. В 4 т. Т. 1 : Механика. Молекулярная физика и термодинамика / И. В. Савельев. – М. : КноРус, 2009. – 528 с.
3. Свистунова, Б. Л. Физические основы механики. Сборник текстовых заданий : учеб. пособие / Б. Л. Свистунова. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 285 с.
4. Слинкина, Т. А. Семестровые задания по механике, молекулярной физике и термодинамике : учеб. пособие / Т. А. Слинкина, Л. И. Чернышева ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – 3-е изд., перераб. и доп. – Красноярск, 2009. – 112 с.
5. Трофимова, Т. И. Курс физики : учебник / Т. И. Трофимова. – 10-е изд., стер. – М. : Академия, 2005. – 560 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Образец оформления отчета о лабораторной работе

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева
Кафедра физики

Лабораторная работа 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МОЛЯРНЫХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗОВ ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ

Выполнил студент гр. _____

Принял преподаватель _____

Красноярск 2014

1. Оборудование:

2. Цель работы:

3. Метод измерения:

Расчетная формула: $\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$.

Результаты измерений:

n	Высота уровней до расширения		h_1	Высота уровней после расширения		h_2	γ	γ
	слева	справа		слева	справа			
1								
2								
3								
4								
5								

5. Найти теоретическое значение коэффициента Пуассона для воздуха по формуле (23) как для смеси двухатомных газов:

$$\gamma_{\text{теор}} = \frac{i + 2}{i} = \dots$$

6. Сравнить найденное значение $\bar{\gamma}$ с теоретическим значением и найти относительную погрешность δ по формуле

$$\delta = \frac{\bar{\gamma} - \gamma_{\text{теор}}}{\gamma_{\text{теор}}} = \dots$$

7. Найти погрешность $\Delta\gamma$ по формуле

$$\Delta\gamma = \delta \cdot \bar{\gamma}$$

8. Результат записать в виде $\Delta\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta\gamma$:

$$\gamma = \dots$$

9. Сделать вывод.

Учебно-методическое издание

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МОЛЯРНЫХ
ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗОВ ПРИ ПОСТОЯННОМ
ДАВЛЕНИИ И ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ
МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ**

Методические указания

Составитель
Машков Павел Павлович

Редактор *Е. Г. Некрасова*
Оригинал-макет и верстка *А. А. Ловчиковой*

Подписано в печать 5.11.2014. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 50 экз.

Заказ С 407.

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 24.49.04.953.П.000032.01.03 от 29.01.2003 г.

Редакционно-издательский отдел Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.

Отпечатано в отделе копировально-множительной техники

Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.

660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.