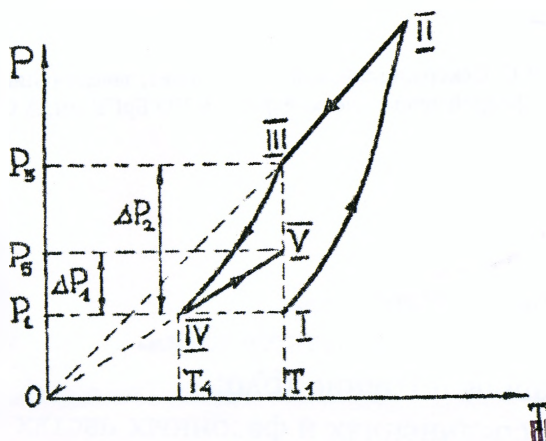


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
"БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"
КАФЕДРА ФИЗИКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторной работы М10
**"ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ И ПОЛИТРОПЫ"**



Брест 2013

Методические указания к выполнению лабораторной работы М10 "Изучение газовых законов. Определение показателей адиабаты и политропы". – Брест: БрГТУ, 2013.

Методические указания составлены в соответствии с типовой программой курса физики для инженерно-технических специальностей. В указаниях приведены необходимые для понимания сущности физических процессов теоретические сведения, объясняющие принцип действия используемых приборов и аппаратуры, излагается методика проведения экспериментов, приводятся задания для самостоятельной работы. Даны контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы.

Методические указания к выполнению лабораторной работы М10 предназначены для студентов БрГТУ всех технических специальностей и форм обучения.

Составители: В.И.Гладковский, к.ф.-м.н., доцент
В.Я. Хуснутдинова, к.ф.-м.н., доцент
Н.И. Чопчиц, доцент

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ И ПОЛИТРОПЫ

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение газовых законов.

ЗАДАЧИ:

- экспериментально определить показатель адиабаты;
- опытным путем определить значение политропы воздуха;
- изучить газовые законы и их связь с политропным процессом.

II. ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

баллон, манометр, насос Комовского.

III. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка Клемана и Дезорма (см. рис. 1) состоит из стеклянного сосуда 1 емкостью 20 литров, закрытого пробкой 2. Сосуд находится в защитном кожухе и сообщается с краном 3, выполненным в форме съемной резиновой пробки, манометром 4 и насосом 5.

Насос 5 служит для нагнетания воздуха в сосуд 1. Кран 3 предназначен для выпуска воздуха из сосуда. Манометр 4 измеряет избыточное давление.

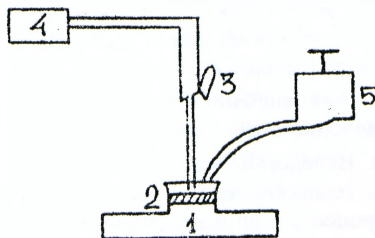


Рисунок 1

IV. ПРИНЦИП РАБОТЫ УСТАНОВКИ

Рассмотрим процессы, происходящие с газом при выполнении работы. Для наглядности эти процессы показаны на диаграмме состояний в координатах (P, T) на рис. 2.

Сначала кран 3 необходимо открыть и подождать, пока давление воздуха внутри сосуда не сравняется с атмосферным. Стрелка манометра при этом установится в нулевом положении. После закрытия крана 3, воздух окажется в состоянии I. В этом состоянии давление воздуха в сосуде равно $P_I = P_{\text{атм}}$. Температура воздуха в сосуде равна температуре окружающей среды T_I .

При энергичном нагнетании воздуха в сосуд с помощью насоса 5 происходит увеличение массы воздуха в сосуде, сопровождающееся достаточным его сжатием. За счет работы, совершаемой внешней силой, воздух в сос.

нагревается до температуры, большей температуры окружающей среды. После прекращения работы внешней силы воздух из состояния I переходит в состояние II. Температура воздуха в сосуде $T_2 > T_1$.

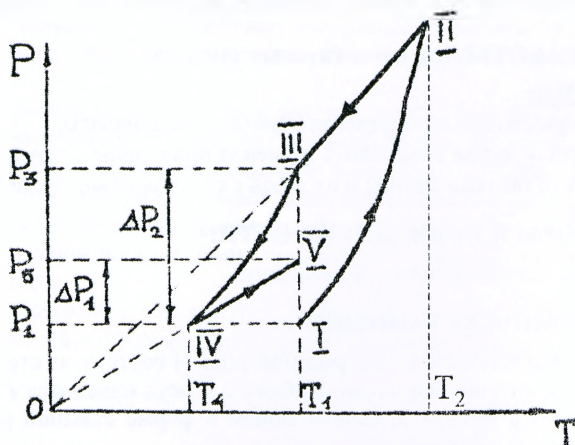


Рисунок 2

В результате теплообмена между сосудом и окружающей средой температура воздуха в сосуде уменьшается до температуры окружающей среды T_1 . Воздух изохорно (при постоянном объеме) переходит в состояние III. Давление воздуха в сосуде становится равным P_3 .

Если после установления давления открыть кран 3, то воздух будет выходить из сосуда, а его давление станет равным атмосферному: $P_4 = P_{ATM}$. В этот момент кран закрывают. Вследствие того, что время выпуска воздуха из сосуда сравнительно невелико, теплообменом между сосудом и окружающей средой можно пренебречь. Процессы, происходящие без теплообмена с внешней средой, называются адиабатическими. Воздух при расширении совершает работу против внешних сил, что в соответствии с законом сохранения энергии приводит к его охлаждению в сосуде до температуры $T_4 < T_1$.

Из состояния IV воздух при закрытом кране 3 с течением времени переходит в состояние V за счет изохорного нагрева от внешней среды, вызванного теплопроводностью стенок сосуда.

Запишем уравнение адиабатного процесса для перехода воздуха из состояния III в состояние IV:

$$P_3 T_3^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = P_4 T_4^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}, \quad (1)$$

где γ – показатель адиабаты. Переход из состояния IV в состояние V является изохорным, поэтому

$$\frac{P_4}{T_4} = \frac{P_5}{T_5}. \quad (2)$$

Из рис. 2 видно, что

$$P_3 = P_1 + \Delta P_2, \quad (3)$$

а

$$P_3 = P_1 + \Delta P_1. \quad (4)$$

Подставляя выражения (3) и (4) в уравнения (1) и (2), с учетом того, что $P_4 = P_1$, а $T_3 = T_2 = T_1$, находим

$$\frac{P_1 + \Delta P_2}{P_1} = \left(\frac{P_1}{P_1 + \Delta P_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}. \quad (5)$$

Логарифмируя (5) и используя приближения $\ln(1+x) \approx x$ для $x \ll 1$, получим:

$$\gamma = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_2 - \Delta P_1}. \quad (6)$$

V. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание 1.

1. Закрыв кран 3, нагнетать воздух в сосуд 1 насосом 5 до тех пор, пока стрелка манометра не покажет максимальное значение давления. Спустя 2-3 минуты, (примерное время, за которое происходит охлаждения сосуда), записать избыточное давление ΔP_2 , которое показывает манометр.

2. Быстро открыть кран 3. После того, как стрелка манометра укажет на нулевое деление шкалы, так же быстро закрыть кран.

3. Через 2-3 минуты записать избыточное давление ΔP_1 .

4. Определить показатель адиабаты по формуле

$$\gamma_{\text{исп}} = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_2 - \Delta P_1}.$$

5. Опыт повторить не менее 5-10 раз. Значения $\gamma_{\text{исп}}$ усреднить и записать результат.

6*. Студентам, умеющим работать самостоятельно и думать о будущем, предлагается рассчитать погрешность результата, а также сравнить полученное значение показателя адиабаты с теоретическим.

Задание 2*.

1. Провести измерение конечного давления в сосуде после K_1 ходов насоса при различных, но не слишком больших значениях скорости вращения (K_1 – по указанию преподавателя). Отметить угловую скорость вращения ω_0 такую, что при скоростях ниже этой, давление после K_1 ходов поршня не зависит от скорости. Дальнейшие измерения в пункте 1 проводить при скоростях вращения, не превышающих найденную скорость. Такую накачку будем называть изотермической. Задаваясь по указанию преподавателя рядом значений K_{1i} , найти

соответствующие значения $\Delta P_{к,т}$ избыточного давления при изотермической накачке. Затем по формуле

$$V_{oi} = \frac{V \cdot \Delta P_{к,т}}{K_{тп} \cdot P_0}$$

найти ряд значений рабочего объема насоса V_{oi} . Полученные результаты усреднить. Измерения для каждого значения $K_{тп}$ желательно проводить несколько раз.

2. Провести измерения избыточных давлений в сосуде ΔP_{2i} при тех же значениях $K_{тп}$ ходов поршня, но при скорости вращения в два раза большей, чем ω_0 . В соответствии с уравнением (22)

$$n = \frac{K_{тп} \cdot \Delta P_{2i}}{K_2 \cdot \Delta P_{к,т}}$$

при $K_{2i} = K_{тп}$ имеем

$$n = \frac{\Delta P_{2i}}{\Delta P_{тп}}$$

3. На координатной плоскости $(\Delta P_{тп}, \Delta P_{2i})$ нанести соответствующие экспериментальные точки. Проводя через них наилучшую прямую, найти её угловой коэффициент, который и будет равен значению показателя политропы n_i при данной скорости вращения.

4. Зная значение показателя политропы n , найти соответствующее значение теплоёмкости процесса.

5. Провести измерения пункта 2 при скорости вращения $3\omega_0$, $4\omega_0$ и т.д., находя для каждого значения угловой скорости значение n .

6. Построить график зависимости n от ω . Сделать выводы.

VI. ТЕОРИЯ МЕТОДА

Теория к заданию 1

Все процессы, которые будут рассмотрены ниже, являются частными случаями политропического процесса. Политропическим называется такой процесс, уравнение состояния для которого можно записать в виде:

$$pV^n = const, \tag{7}$$

где n – показатель политропы, который может принимать значения от 0 до ∞ .

На рис. 3 показаны графики зависимости давления от объема для четырёх основных процессов в газе.

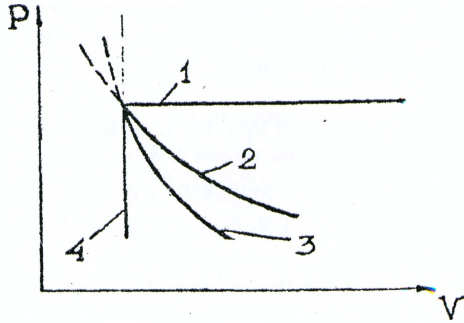
Действительно, при $n=0$ получим

$$pV^0 = p \cdot l = p = const, \tag{8}$$

что соответствует изобарному процессу.

Полагая $n=1$, получим уравнение изотермического процесса:

$$pV = const. \tag{9}$$



1 – изобара; 2 – изотерма; 3 – адиабата; 4 – изохора

Рисунок 3

Если $n = \gamma$, где γ – показатель адиабаты, то получим уравнение состояния для адиабатического процесса:

$$pV^\gamma = const. \quad (10)$$

Для изохоры $n = \infty$. Чтобы убедиться в этом, запишем уравнение (7) для политропического процесса в следующем виде:

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n, \quad (11)$$

где индексы 1 и 2 относятся к двум произвольно взятым состояниям. Извлечём из записанного выражения корень степени n :

$$P_1^{\frac{1}{n}} \cdot V_1 = P_2^{\frac{1}{n}} \cdot V_2. \quad (12)$$

Переходя к пределу при $n \rightarrow \infty$:

$$V_1 \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} P_1^{\frac{1}{n}} = V_2 \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} P_2^{\frac{1}{n}}, \quad (13)$$

получим

$$V_1 = V_2, \quad (14)$$

что соответствует изохорному процессу.

Теория к заданию 2

В этом задании предлагается определить показатель политропы воздуха в процессе I-II при различных скоростях работы насоса Комовского во время нагнетания воздуха в сосуд. Насос состоит из корпуса прямоугольной формы, цилиндра с поршнем, маховика с рукояткой и подставки. Пусть V – объём сосуда, а V_0 – объём рабочей камеры насоса, который фактически равен объёму воздуха, захватываемого насосом из атмосферы при давлении P_0 за один ход поршня.

Рассмотрим сначала изотермическую накачку. Предположим, что в начальный момент времени давление в сосуде равно атмосферному $P_0 = P_{ATM}$, а затем насос в процессе изотермической накачки сделал K_{IT} ходов поршня при не очень большой частоте оборотов маховика с рукояткой. Давление в сосуде возросло при этом до величины $P_{K,IT}$. Если процесс накачки происходит достаточно

медленно, то за счет теплообмена с окружающей средой температура воздуха в сосуде в процессе накачки равна температуре T_0 окружающей среды. Другими словами, накачка происходит настолько медленно, что ее можно считать изотермической.

Процесс, происходящий с газом при этом, можно представить следующим образом. В исходном состоянии мы имеем объем воздуха, равный $(V + K_{IT}V_0)$ при давлении P_0 , а в конечном состоянии весь этот воздух оказывается в сосуде объемом V при некотором давлении $P_{к,г}$. Тогда на основании закона Бойля-Мариотта имеем:

$$P_0(V + K_{IT}V_0) = P_{к,г}V. \quad (15)$$

Измеряя это давление $P_{к,г}$, найдем рабочий объем камеры насоса V_0 :

$$V_0 = \frac{V}{K_{IT}} \left(\frac{P_{к,г}}{P_0} - 1 \right). \quad (16)$$

Если процесс накачки происходит не очень медленно, то температура воздуха в сосуде будет больше температуры окружающей среды и, как указывалось выше, процесс, происходящий с газом, будет политропическим. Уравнение политропического процесса имеет вид:

$$P_0(V + K_2V_0)^n = P_2V^n, \quad (17)$$

где n – показатель политропы: $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$; K_2 – число ходов насоса в случае неизотермической накачки; P_2 – конечное давление в сосуде в этом случае. Из (16) и (17) находим

$$n = \frac{\ln\left(\frac{P_2}{P_0}\right)}{\ln\left[1 + \frac{K_2}{K_{IT}} \left(\frac{P_{к,г}}{P_0} - 1\right)\right]}. \quad (18)$$

Формулы (16) и (18) можно упростить, если учесть, что избыточное давление в сосуде обычно много меньше атмосферного:

$$P_{к,г} = P_0 + \Delta P_{к,г}, \quad (19)$$

и

$$P_2 = P_0 + \Delta P_2, \quad \frac{\Delta P_2}{P_0} \ll 1; \quad (20)$$

Подставляя выражение (19) в уравнение (16), получим

$$V_0 = \frac{V}{K_{IT}} \left(\frac{P_{к,г}}{P_0} - 1 \right) = \frac{V}{K_{IT}} \left(\frac{P_0 + \Delta P_{к,г}}{P_0} - 1 \right) = \frac{V \cdot \Delta P_{к,г}}{K_{IT} \cdot P_0}. \quad (21)$$

Подставляя выражения (19) и (20) в уравнение (18) и воспользовавшись разложением $\ln(1+x) \approx x$, получим

$$n = \frac{K_{IT}}{K_2} \cdot \frac{\Delta P_2}{\Delta P_{к,г}}. \quad (22)$$

VII. ПРИЛОЖЕНИЕ

Внутренняя энергия тела состоит из кинетической энергии теплового движения молекул этого тела и потенциальной энергии взаимодействия этих молекул. Изменение внутренней энергии происходит при совершении работы над телом внешними силами или в процессах теплопередачи.

Процессы, связанные с изменением внутренней энергии любого тела, совершением работы и теплопередачей, подчиняются закону сохранения энергии, который в термодинамике называется первым началом термодинамики и формулируется следующим образом: Внутренняя энергия может изменяться только под влиянием внешних воздействий, то есть в результате сообщения системе количества теплоты δQ и совершения над ней работы $(-\delta A)$. Для бесконечно малых изменений этот закон записывается так:

$$dU = \delta Q + (-\delta A). \quad (23)$$

Идеальный газ совершает работу только при изменении занимаемого им объёма. Работа, совершаемая при малом изменении объёма dV , равна

$$\delta A = P \cdot dV \quad (24)$$

При расширении газа $dV > 0$, следовательно $\delta A > 0$. Если работу по сжатию газа совершают внешние силы, то $dV < 0$ и эта работа отрицательна: $\delta A_{\text{внеш}} < 0$.

Из первого начала термодинамики следует, что количество теплоты, сообщаемое системе, идет на изменение её внутренней энергии dU и на совершение системой работы δA против внешних сил:

$$\delta Q = dU + \delta A \quad (25)$$

Различие в обозначениях δQ , δA и dU состоит в том, что в общем случае количество теплоты и работа не являются функциями состояния, а внутренняя энергия – является. Это означает, что при переходе системы из одного состояния в другое внутренняя энергия определяется только параметрами этих состояний и не зависит от способа или “пути” перехода, поэтому при любом круговом процессе в замкнутой системе полное изменение внутренней энергии равно нулю. Математически это записывается тождеством $\oint dU = 0$, которое является необходимым и достаточным условием для того, чтобы dU представляло собой полный дифференциал. Работа и теплота этим свойством не обладают, их величины определяются не только параметрами начального и конечного состояний, но также и формой пути перехода из одного состояния в другое; например, изотермическим, изобарическим, изохорическим или адиабатическим процессом. В замкнутой системе внутренняя энергия изменяется только с изменением температуры (поэтому температуру называют мерой внутренней энергии тела). Изменение внутренней энергии идеального газа вычисляется по формуле:

$$dU = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R dT, \quad (26)$$

где i – число степеней свободы молекул газа, т.е. число независимых переменных, определяющих положение молекулы в пространстве. Для одноатомного газа $i = 3$, для двухатомного $i = 5$ (если связь жёсткая), для трехатомного $i = 6$; m – масса газа; μ – его молярная масса; R – универсальная газовая постоянная; dT – изменение температуры.

Количество теплоты, необходимое для изменения температуры тела на 1°E , называется теплоёмкостью C тела и вычисляется по формуле:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}.$$

Различают удельную теплоёмкость c и молярную теплоёмкость C_μ . Количество теплоты, необходимое для изменения температуры единицы массы вещества на 1°E , называют удельной теплоёмкостью и вычисляют по формуле:

$$c = \frac{1}{m} \frac{\delta Q}{dT}. \quad (27)$$

Количество теплоты, необходимое для изменения температуры одного моля вещества на 1°E , называют молярной теплоёмкостью, которая вычисляется по формуле:

$$C_\mu = \frac{\mu}{m} \cdot \frac{\delta Q}{dT}. \quad (28)$$

Поскольку δQ не является полным дифференциалом, то теплоёмкость газов будет также зависеть от условий теплообмена при нагреве газа.

Рассмотрим работу, совершаемую идеальным газом при политропическом процессе. Работа, которая совершается газом над внешними телами при переходе из состояния 1 в состояние 2, равна:

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P dV. \quad (29)$$

Чтобы произвести интегрирование, нужно выразить P через V . Для этого воспользуемся связью между P и V при различных процессах.

Уравнение политропы идеального газа (1) можно написать следующим образом:

$$PV^n = P_1 V_1^n = P_2 V_2^n,$$

где P_1, V_1 и P_2, V_2 – значения давления и объёма газа соответственно в первом (начальном) и втором (конечном) состояниях, P и V – давление и объём в любом промежуточном состоянии.

Выразим в соответствии с этим соотношением давление газа через его объём и значения параметров в начальном состоянии:

$$P = \frac{P_1 V_1^n}{V^n}. \quad (30)$$

Подставляя (30) в (29), получаем:

$$A_{12} = P_1 V_1^n \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^n}. \quad (31)$$

Рассмотрим сначала случай $n \neq 1$; тогда интеграл в (29) равен

$$\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^n} = \frac{1}{n-1} \left(\frac{1}{V_1^{n-1}} - \frac{1}{V_2^{n-1}} \right).$$

Подставив это значение интеграла в (31) и произведя несложные преобразования, находим:

$$A_{12} = \frac{P_1 V_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right]. \quad (32)$$

Полученное выражение можно преобразовать, воспользовавшись тем, что, какой бы процесс ни происходил с идеальным газом, его параметры связаны уравнением состояния (уравнением Менделеева-Клапейрона):

$$PV = \frac{m}{\mu} RT. \quad (33)$$

В частности, это справедливо и для начального состояния:

$$P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT_1. \quad (34)$$

Подставляя (34) в (32), получаем:

$$A_{12} = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right]. \quad (35)$$

Выражения (32) и (35) дают работу, совершаемую идеальным газом при любом политропическом процессе, кроме изотермического, при котором показатель политропы $n = 1$.

Чтобы вычислить работу идеального газа при изотермическом процессе, заменим давление в формуле (29) его выражением через другие величины в соответствии с его уравнением состояния:

$$P = \frac{m}{\mu} R \frac{T}{V}.$$

В результате получим:

$$A_{12} = \frac{m}{\mu} RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Выражения для работы при изобарическом и адиабатическом процессах получаются из формулы (22). Эти выражения приводятся в таблице 1. В заключение отметим, что при изохорическом процессе работа равна нулю, что справедливо для любых тел.

Рассмотрим первое начало термодинамики применительно к рассматриваемым в работе процессам.

Изотермический процесс: $T = const$. Следовательно

$$dT = 0,$$

а значит, и dU в соответствии с формулой (26) равно 0.

Таблица 1

№ п/п	Процесс	Показатель политетропы	Уравнение состояния	Первое начало термодинамики	Работа	Молярная теплоёмкость
1	Политропный	n	$PV^n = const$	$\delta Q = dU + \delta A$	$A_{12} = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1} \right]$	$C_{\mu} = const$
2	Изобарный	0	$PV^0 = P = const$	$\delta Q = dU + \delta A$	$A_{12} = P(V_2 - V_1)$	$C_{\mu,P} = \frac{i}{2} R + R$
3	Изотермический	1	$PV^1 = PV = const$	$\begin{cases} dU = 0 \\ \delta Q = \delta A \end{cases}$	$A_{12} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$	$C_{\mu,T} = \infty$
4	Адиабатный	γ	$PV^{\gamma} = const$	$\begin{cases} \delta Q = 0 \\ \delta A = -dU \end{cases}$	$A_{12} = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1} \right]$	$C_{\mu,ad} = 0$
5	Изохорный	∞	$\lim_{n \rightarrow \infty} (PV^n)^{\frac{1}{n}} = V \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} P^{\frac{1}{n}} = V = const$	$\begin{cases} \delta A = 0 \\ \delta Q = dU \end{cases}$	$A_{12} = 0$	$C_{\mu,V} = \frac{i}{2} R$

Тогда теплоёмкость, при $\delta Q \neq 0$:

$$C_T = \frac{\delta Q}{dT} = \infty.$$

В этом случае всё тепло, получаемое всей системой извне, целиком превращается в работу, совершаемую против внешних сил:

$$\delta Q = \delta A.$$

Изохорический процесс: $V = const$. В этом случае работа $\delta A = 0$. Следовательно

$$\delta Q = dU,$$

т.е. всё подводимое тепло идёт на приращение внутренней энергии системы.

Молярная теплоёмкость при постоянном объёме находится следующим образом:

$$C_{\mu V} = \frac{\mu \delta Q}{m dT} = \frac{\mu}{m} \frac{\frac{i}{2} m R dT}{dT} = \frac{i}{2} R. \quad (36)$$

Изобарический процесс: $P = const$. Из уравнений (24), (25) и (26) следует, что

$$\delta Q = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R dT + P dV. \quad (37)$$

Продифференцировав уравнение (33), получим

$$P dV = \frac{m}{\mu} R dT \quad (38)$$

Подставляя (38) в (37), а полученное выражение подставляем в формулу (36) для определения молярной теплоёмкости, получим:

$$C_{\mu P} = \frac{i}{2} R + R = C_{\mu V} + R. \quad (39)$$

Последнее выражение называется уравнением Майера.

Адиабатический процесс: происходит при условии термодинамической изоляции системы (т. е. без теплообмена с внешней средой). Поэтому $\delta Q = 0$, и первое начало термодинамики примет вид:

$$\delta A = -dU. \quad (40)$$

Теплоёмкость адиабатного процесса $C_{ad} = 0$.

Адиабатическое расширение газа происходит за счёт уменьшения внутренней энергии, поэтому температура газа понижается. Подставляя в (40) формулы (24) и (26), а также используя выражения (33), (36) и (39), получим:

$$-\frac{dT}{T} = (\gamma - 1) \frac{dV}{V}, \quad (41)$$

где $\gamma = \frac{C_{\mu P}}{C_{\mu V}}$ – показатель адиабаты. После интегрирования (41) в пределах от V_1 при T_1 до V_2 при T_2 получим следующее выражение:

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1},$$

откуда

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}.$$

Последнюю формулу можно переписать в виде

$$T_2 V_2^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}.$$

Таким образом, мы получили уравнение состояния адиабатического процесса:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}. \quad (42)$$

Используя уравнение состояния идеального газа (33), можно получить уравнение состояния адиабатического процесса с другими параметрами:

$$PV^\gamma = \text{const}, \quad PT^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = \text{const}. \quad (43)$$

В таблице 1 указаны значения n , при которых политропический процесс оказывается тождественным с одним из известных нам процессов.

VIII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определения внутренней энергии, количества теплоты и работы, совершаемой рабочим телом при изменении объёма.

2. Запишите первое начало термодинамики применительно ко всем процессам, рассматриваемым в данной работе.

3. Почему величины, входящие в первое начало термодинамики: δQ , δA и dU , обозначаются по-разному?

4. Как определить работу, совершаемую идеальным газом при различных процессах? Представьте вывод соответствующих формул.

5. Какая физическая величина называется теплоемкостью, молярной и удельной теплоемкостью? Как эти величины связаны друг с другом?

6. Что происходит с внутренней энергией газа при адиабатическом расширении? Что происходит при этом с температурой?

7. Запишите уравнение Пуассона в различных представлениях.

8. Почему $C_p > C_v$?

9. Запишите уравнение Майера.

10. Нарисуйте на PT -диаграмме все последовательные процессы, происходящие с газом в опыте при выполнении задания I и прокомментируйте ход этих процессов.

IX. ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова, Т.И. Основы физики в пяти книгах: уч. пособие / Т.И. Трофимова. – М.: Высшая шк., 2007. – Кн. 2: Молекулярная физика. Термодинамика. – С. 38–74.
2. Детлаф, А.А. Курс физики: уч. пособ/ для студентов втузов / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский – 8-е изд. – М.: Академия, 2008. – С. 113–125.
3. Физика: уч. пособие / А.В. Ильющонок [и др.]. – М.: ИНФРА, 2013. – С. 155–170.

Составители:

Гладковский Виктор Иванович
Хуснутдинова Венера Ямалетдиновна
Чопчиц Николай Игнатьевич

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы М10

“ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ И ПОЛИТРОПЫ”

Ответственный за выпуск: Гладковский В.И.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная верстка: Кармаш Е.Л.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано к печати 17.03.2014 г. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага «Снегурочка».
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 0,93. Уч. изд. л. 1,0. Заказ № 1352.

Тираж 50 экз. Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».

224017, г. Брест, ул. Московская, 267.