

**Министерство образования Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ГАЗА
МЕТОДОМ КЛЕМАНА - ДЕЗОРМА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к лабораторной работе № 24
по курсу общей физики**

Уфа 2003

Министерство образования Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра общей физики

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ГАЗА
МЕТОДОМ КЛЕМАНА – ДЕЗОРМА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 24
по курсу общей физики

Уфа 2003

Составитель В.С. Осипов

УДК 533.1 (07)

ББК 22.365 (Я7)

Изучение газовых законов и определение коэффициента Пуассона газа методом Клемана – Дезорма: Методические указания к лабораторной работы № 24 по курсу общей физики/ Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.С. Осипов. – Уфа, 2003. – 14 с.

В лабораторной работе определяется коэффициент Пуассона воздуха методом Клемана – Дезорма, экспериментальной основой которого является измерение давления газа в резервуаре после адиабатного и изохорного процессов. Дана краткая теория метода, изложен принцип работы приборного комплекта, указана последовательность выполнения работы.

Предназначены для студентов технических вузов, изучающих курс общей физики.

Табл.1. Ил. 2. Библиогр.: 3

Рецензенты: Г.П. Михайлов
В.Н. Филатов

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2003

Составитель ОСИПОВ Валерий Сергеевич

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ГАЗА
МЕТОДОМ КЛЕМАНА – ДЕЗОРМА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 24
по курсу общей физики

Редактор Соколова О.А.

Подписано в печать 08.10. 2003 Формат 60x84 1/16
Бумага оберточная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr
Усл. печт. л. 0,9. Усл. кр.- отт. 0.9. Уч. –изд.л. 0,8.
Тираж 300 экз. заказ №
Уфимский государственный авиационный технический университет
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12.

Содержание

| | |
|--|----|
| 1. Цель работы..... | 4 |
| 2. Теоретическая часть..... | 4 |
| 2.1. Теплоемкость и коэффициент Пуассона газа..... | 4 |
| 2.2. Метод Клемана-Дезорма..... | 6 |
| 3. Экспериментальная установка..... | 9 |
| 4. Порядок выполнения работы..... | 11 |
| 5. Требования к отчету..... | 12 |
| 6. Контрольные вопросы..... | 13 |
| Список литературы..... | 14 |

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24
ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ГАЗА
МЕТОДОМ КЛЕМАНА – ДЕЗОРМА

1. Цель работы

Изучение различных процессов изменения состояния газа и определение коэффициента Пуассона воздуха.

2. Теоретическая часть

2.1. Теплоемкость и коэффициент Пуассона газа

Удельной теплоемкостью вещества называется величина, равная количеству теплоты, которую надо передать единице массы этого вещества для увеличения его температуры на 1К, а молярной теплоемкостью – количество теплоты, которое необходимо сообщить одному молю вещества для нагревания его на 1К. Если при сообщении телу количества теплоты δQ его температура увеличится на dT градусов, то по определению удельная теплоемкость C будет равна:

$$C = \frac{\delta Q}{m dT}, \quad (2.1)$$

где m – масса тела, а молярная теплоемкость –

$$C = \frac{\delta Q}{\nu dT}, \quad (2.2)$$

где ν – количество молей вещества.

Удельная и молярная теплоемкости газов зависят как от природы газа, так и от условий его нагревания. Это непосредственно следует из первого закона термодинамики, согласно которому количество теплоты, переданное системе, равно сумме изменения ее внутренней энергии dU и совершенной ею работы δA над внешними телами:

$$\delta Q = dU + \delta A. \quad (2.3)$$

Изменение внутренней энергии идеального газа однозначно определяется его начальным и конечным состояниями, тогда как совершаемая газом работа зависит от характера происходящего с ним процесса и может быть любой по величине и по знаку. Поэтому и теплоемкость газа в зависимости от вида процесса может иметь любое значение. Однако для конкретного процесса как молярная, так и удельная теплоемкость газа имеет строго определенное значение и является однозначной характеристикой газа.

Нагревание газа при постоянном объеме не сопровождается совершением работы ($\delta A = 0$), и вся сообщенная теплота идет на изменение его внутренней энергии, которая в соответствии с законом равномерного распределения энергии теплового движения по степеням свободы молекул газа при изменении его температуры на dT равно:

$$dU = \frac{i}{2} \nu R dT, \quad (2.4)$$

где R – газовая постоянная; а i – сумма числа поступательных, числа вращательных и удвоенного числа колебательных степеней свободы молекул газа. В условиях, с которыми сталкиваются на практике, последнее можно исключить, поскольку колебательное тепловое движение в молекулах возбуждается только при достаточно высоких (больше 1000 К) температурах и полагать $i = 3$ для одноатомных молекул, $i = 5$ – для линейных молекул и $i = 6$ – для остальных.

Следуя (2.2), (2.3) и (2.4), получаем, что молярная теплоемкость газа при постоянном объеме равна:

$$C_v = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \frac{du}{\nu dT} = \frac{i}{2} R. \quad (2.5)$$

При нагревании газа на dT градусов при постоянном давлении им будет совершаться работа

$$\delta A = p dV = \nu R dT, \quad (2.6)$$

и его молярная теплоемкость при постоянном давлении оказывается равной

$$c_p = \frac{du + \delta A}{\nu dT} = \frac{du}{\nu dT} + \frac{\delta A}{\nu dT} = c_v + R = \frac{i+2}{2} R. \quad (2.7)$$

Отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме называют коэффициентом Пуассона газа или показателем адиабаты газа и обозначают как правило буквой γ :

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}. \quad (2.8)$$

Из (2.5) и (2.7) следует, что коэффициент Пуассона газа определяется только числом степеней свободы его молекул:

$$\gamma = \frac{i+2}{i}. \quad (2.9)$$

2.2. Метод Клемана – Дезорма

Метод определения коэффициента Пуассона газа, предложенный Клеманом и Дезормом, основывается на измерении параметров состояния газа после происходящих с ним адиабатного и изохорного процессов, которые на диаграмме $P - V$ рис.2.1 представлены соответственно участками 1 – 2 и 2 – 3.

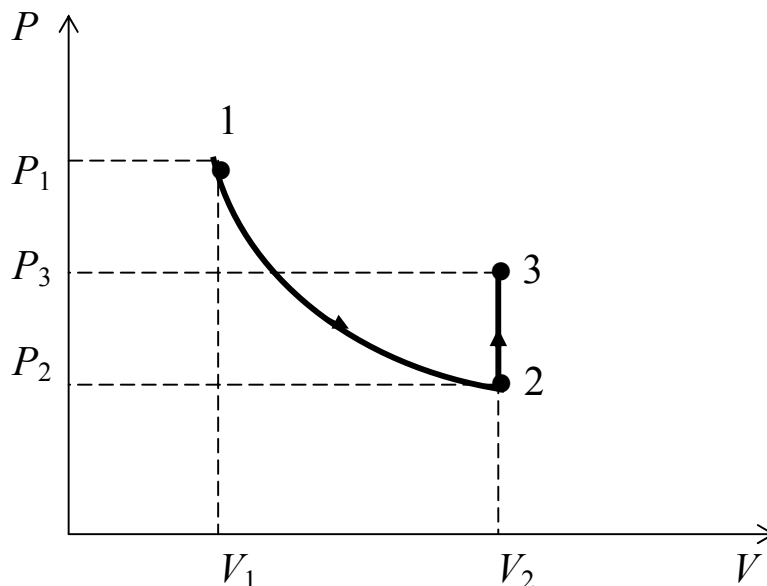


Рис. 2.1

Если в сосуд, который может через кран сообщаться с атмосферой, подкачать воздух и подождать до установления теплового равновесия с окружением, то после этого воздух в сосуде будет иметь некоторое давление P_1 , превышающее атмосферное давление P_0 на некоторую величину ΔP_1 , и температуру T_1 , равную температуре окружающей среды T_0 . Если теперь на короткое время открыть кран, то давление в сосуде упадет до атмосферного, а температура понизится до некоторой T_2 . При этом какая-то масса воздуха из сосуда быстро выйдет, а оставшийся воздух, занимавший часть сосуда объемом V_1 , займет весь объем сосуда V_2 , т.е. этот воздух из состояния 1 с параметрами $P_1 = P_0 + \Delta P_1$, V_1 и $T_1 = T_0$ перейдет в состояние 2 с параметрами $P_2 = P_0$, V_2 и T_2 . Этот переход происходит настолько кратковременно, что воздух в сосуде не успевает получить тепло от окружающей среды, поэтому его можно считать адиабатным процессом, подчиняющимся закону Пуассона:

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \quad \text{или} \quad P_1^{1-\gamma} T_1^\gamma = P_2^{1-\gamma} T_2^\gamma, \quad (2.10)$$

согласно которому

$$\left(\frac{P_0 + \Delta P_1}{P_2} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_0}{T_2} \right). \quad (2.11)$$

После закрытия крана охлажденный вследствие адиабатного расширения воздух в сосуде начнет нагреваться при постоянном объеме (процесс 2 – 3) за счет притока тепла извне. В итоге он займет состояние 3 с температурой, равной температуре окружающей среды ($T_3 = T_0$). При этом давление его повысится до $P_3 = P_0 + \Delta P_3$. Для изохорного процесса можно применить закон Шарля:

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3}. \quad (2.12)$$

Учитывая, что $T_1 = T_3 = T_0$, а $P_2 = P_0$, из уравнений (2.11) и (2.12) имеем:

$$\left(\frac{P_0 + \Delta P_1}{P_0} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{P_0 + \Delta P_3}{P_0} \right)^\gamma. \quad (2.13)$$

Логарифмируя это равенство, получаем:

$$(\gamma^{-1}) \ln \left(1 + \frac{\Delta P_1}{P_0} \right) = \gamma \ln \left(1 + \frac{\Delta P_3}{P_0} \right), \quad (2.14)$$

откуда

$$\gamma = \frac{\ln \left(1 + \frac{\Delta P_1}{P_0} \right)}{\ln \left(1 + \frac{\Delta P_1}{P_0} \right) - \ln \left(1 + \frac{\Delta P_3}{P_0} \right)}. \quad (2.15)$$

Если избыточные давления ΔP_1 и ΔP_3 значительно меньше атмосферного P_0 , то $\frac{\Delta P_1}{P_0} \ll 1$ и $\frac{\Delta P_3}{P_0} \ll 1$. В этом случае можно воспользоваться тем, что при $x \ll 1$ $\ln(1+x) \simeq x$ и представить уравнение (2.15) в более простом виде:

$$\gamma = \frac{\Delta P_1}{\Delta P_1 - \Delta P_3}. \quad (2.16)$$

При измерении избыточных давлений с помощью жидкостного U – образного манометра:

$$\Delta P_1 = \rho g H \quad \text{и} \quad \Delta P_3 = \rho g h, \quad (2.17)$$

где ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения, а H и h – соответствующие ΔP_1 и ΔP_3 разности высот уровней жидкости в коленах манометра. Подставляя (2.17) в (2.16), получаем следующую расчетную формулу для γ при малых избыточных давлениях:

$$\gamma = \frac{H}{H - h}. \quad (2.18)$$

3. Экспериментальная установка

Все элементы установки размещены в каркасе, состоящем из передней панели и двух боковин. Органы управления вынесены на переднюю панель, на лицевой стороне нанесена мнемосхема соединений элементов рис. 3.1.

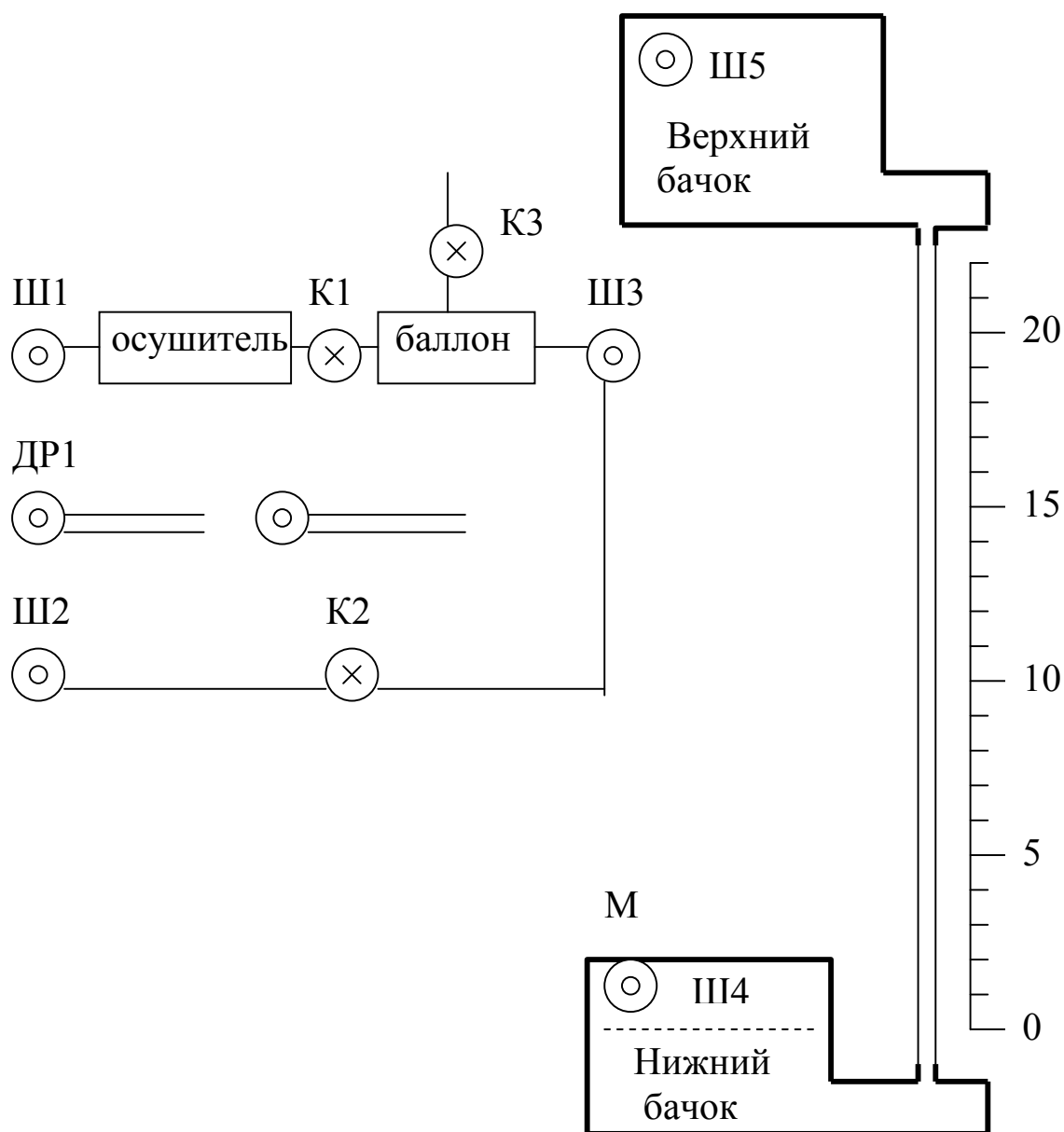


Рис.3.1

За панелью установлены сосуд (обозначенный на мнемосхеме знаком Б) с внутренним объемом 3,25 л., осушитель (баллончик с силикогелем) и бачки дифференциального водяного манометра (внизу и сверху). Бачки манометра соединены прозрачной трубкой, закрепленной на передней панели, вблизи которой расположена шкала, позволяющая измерять уровень жидкости от 0 до 22 см. с разрешением 1 мм. Сосуд, в котором нужно измерять давление, соединяют со штуцером Ш4. Если штуцер Ш5 открыт, то верхний бачок сообщается с атмосферой, и манометр измеряет превышение давления в сосуде над атмосферным. Если же штуцер Ш5 соединен с другим сосудом, то манометр измеряет разность давлений в сосудах. Площадь сечения трубки ($S_1=0,2 \text{ см}^2$) значительно меньше площади сечения бачка ($S_2=12,6 \text{ см}^2$), поэтому цена деления шкалы соответствует примерно давлению 1 мм водяного столба или 10 Па. Более точно миллиметровому делению шкалы соответствует давление, равное $(1+\frac{S_1}{S_2})$ мм водяного столба, что составляет 10,16 Па.

Это уточнение несущественно, если для расчетов используются не сами давления, а их отношения, либо в случае пренебрежения погрешностью меньшей двух процентов.

Вода заливается в нижний бачок манометра через штуцер Ш4, при этом настолько, чтобы начальный уровень совпадал с нулевым делением шкалы.

Верхний бачок выполняет предохранительную функцию, принимая в себя воду при случайном превышении предельного давления в нижнем бачке. Для восстановления работоспособности манометра нужно его продувать, закачивая воздух в верхний бачок через штуцер Ш5. При выплескивании воды манометр требуется дозаправить.

В верхней части панели расположены часы–таймер, предназначенные для измерения интервалов времени с разрешением 0,01 с. Управление секундомером осуществляется тремя кнопками. Кнопка «MODE» – выбор режима работы. В режиме «секундомер» мигает надпись в верхней части дисплея. Кнопка «ADVANCE» в режиме секундомер поочередно запускает и останавливает отсчет времени. Если отсчеты не сбрасывать, то произойдет суммирование измеряемых интервалов времени. Кнопка «SET», нажатая в процессе

отсчета времени, фиксирует показания дисплея, но не останавливает отсчет времени. При повторном нажатии этой кнопки показания дисплея будут соответствовать продолжающемуся отсчету времени. Кнопка «SET», нажатая при остановленном отсчете времени, сбрасывает (обнуляет) отсчет и показания дисплея.

Кран К3 соединяет баллон с атмосферой и позволяет быстро сбрасывать давление в газа нем. Рукоятка крана находится на передней панели в нижней ее части. При повороте рукоятки из положения «открыт» в положение «закрыт» или обратно срабатывает микропереключатель, подсоединенный параллельно кнопке «ADVANCE» секундомера, что дает возможность измерять время открытого или закрытого состояния крана.

Краны К1 и К2 перекрывают шланги, которыми соединяют различные элементы установки.

Исследуемый газ подается в баллон либо непосредственно через штуцер Ш2, либо через штуцер Ш1, если требуется осушка газа. Штуцер Ш3 позволяет соединять баллон с водяным манометром (через штуцер Ш4) или с внешним манометром для измерения давления газа в сосуде.

4. Порядок выполнения работы

1. Соедините баллон (штуцер Ш3) с входом водяного манометра (штуцер Ш4).

2. Закройте краны К2 и К3.

3. К штуцеру Ш1 подсоедините шланг груши-помпы и накачайте в баллон воздух до избыточного давления ΔP_1 порядка 15 – 18 см. водяного столба, после чего закройте кран К1 и подождите 1 – 2 минуты, пока температура воздуха не сравняется с температурой окружения и давление перестанет меняться, т.е. до тех пор, пока столбик воды на манометре установится.

Если необходимо, аккуратно доведите давление до требуемого значения, слегка приоткрыв кран 2 или подкачивая воздух помпой. Запишите установившуюся разность высот уровней воды H в манометре.

4. Включите часы в режим «секундомер». Обнулите их показания. На короткое время t (от одной до пяти секунд) откройте кран КЗ, повернув его рукоятку по часовой стрелке до упора, и снова закройте его. Время открытого состояния крана автоматически измерит таймер. Подождите 1–2 минуты до установления температуры и давления в баллоне и запишите установившуюся теперь разность уровней h .

5. Для фиксированного одного и того же значения H повторите опыт при различных значениях t , примерно равных 1, 2, 3, 4 и 5 с.

6. Постройте график зависимости $\ln h$ от t . Он покажет, какие значения t слишком малы (из баллона не успевает выйти столько воздуха, чтобы давление снизилось до атмосферного), а какие слишком велики (воздух успевает частично прогреться, пока кран еще открыт). Экстраполируя график из области больших времен к $t = 0$, найдите по нему «идеальное» значение $h = h(t = 0)$.

7. Используя установленное значение H и найденное «идеальное» значение h , по формуле (2.18) вычислите γ .

8. Повторите эксперимент еще для двух других значений H и получите соответствующие им значения γ .

9. Найдите среднее значение коэффициента Пуассона по результатам всех измерений и оцените его абсолютную ($\Delta\gamma$) и относительную ($\delta\gamma$) ошибки.

5. Требования к отчету

Отчет по работе должен содержать:

- 1) номер, название и цель работы;
- 2) краткую теорию метода определения γ ;
- 3) схему экспериментальной установки;
- 4) результаты измерений и расчетов, представленные в таблице по указанной форме и графики зависимостей $\ln h$ от t ;
- 5) формулы для вычисления ошибок и их расчет;
- 6) конечный результат с указанием ошибок;
- 7) выводы по работе.

| H , мм | | | | | | | $h(t=0)$ | γ |
|----------|----------|--|--|--|--|--|----------|----------|
| | t , с | | | | | | | |
| | h , мм | | | | | | | |
| | t , с | | | | | | | |
| | h , мм | | | | | | | |
| | t , с | | | | | | | |
| | h , мм | | | | | | | |

6. Контрольные вопросы

1. Что называют молярной и удельной теплоемкостью? Как можно рассчитать одну через другую? В каких единицах они измеряются?
2. Чему равна разница между молярными теплоемкостями газа при постоянном давлении и при постоянном объеме?
3. Что такое коэффициент Пуассона? Почему он не может быть меньше единицы?
4. Какие процессы происходят с газом в работе? Запишите законы, которым они подчиняются.
5. Какой процесс называется адиабатным? Выведите закон Пуассона.
6. Сформулируйте первый закон термодинамики. Какой вид он принимает для процессов, происходящих с воздухом в работе?
7. Что такое число степеней свободы молекулы? Чему оно равно для различных молекул?
8. В чем заключается метод Клемана-Дезорма?
9. Получите расчетную формулу для определения коэффициента Пуассона.

Список литературы

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Т. 1. – М.: Наука, 1989.
2. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989.