

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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗА
ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ОБЪЕМЕ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к лабораторной работе № 116
по курсу общей физики**

Уфа 2004

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗА
ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ОБЪЕМЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 116
по курсу общей физики

Уфа 2004

Составитель В.С. Осипов

УДК 534-14 (07)

ББК 22.365 (Я7)

Определение отношения теплоемкостей газа при постоянном давлении и объеме: Методические указания к лабораторной работе № 116 по курсу общей физики/ Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.С. Осипов. – Уфа, 2004. – 11 с.

В работе изучаются закономерности изменения состояния газов и определяется отношение теплоемкостей воздуха путем измерения его давления по ходу адиабатического и изохорного процессов.

Кратко рассмотрена молекулярно - кинетическая теория теплоемкости газов, разобрана теория используемого метода и принцип работы экспериментальной установки.

Предназначены для студентов технических вузов, изучающих курс общей физики.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: А.С. Краузе,
О.А. Акмаев

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2004

Составитель ОСИПОВ Валерий Сергеевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗА ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ОБЪЕМЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе № 116
по курсу общей физики

Подписано в печать 12.04.2004. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr
Усл. печ. л. 0,7. Усл. кр.- отт. 0,7. Уч. –изд.л. 0,6.
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
3. Экспериментальная установка.....	8
4. Порядок выполнения работы.....	9
5. Требования к отчету.....	10
6. Контрольные вопросы.....	11
Список литературы.....	11

Лабораторная работа № 116

Определение отношения теплоемкостей газа при постоянном давлении и объеме

1. Цель работы

Изучение закономерностей изменения параметров состояния газа в различных процессах и определение отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и объеме.

2. Теоретическая часть

Удельной теплоемкостью вещества называется величина, равная количеству теплоты, которую надо сообщить единице массы этого вещества для увеличения его температуры на один градус, а молярной теплоемкостью – количество теплоты, которое необходимо сообщить одному молю вещества для нагревания его на один градус. Если при передаче 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 разной по величине и по знаку. Следовательно, теплоемкость газа для различных процессов будет разной. Однако для конкретного процесса как молярная, так и удельная теплоемкость газа имеет строго определенное значение и является однозначной характеристикой газа в данном процессе.

Нагревание газа при постоянном объеме не сопровождается совершением работы ($\delta A = 0$) и вся 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 или показателем адиабаты газа:

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

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

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

Рассмотрим сосуд, который может через кран сообщаться с атмосферой. Если подкачать в него воздух и подождать до установления теплового равновесия с окружающей средой, то после этого воздух в сосуде будет иметь 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 некоторого значения T_2 . При этом часть воздуха из сосуда быстро выйдет, а оставшийся воздух, занимавший в сосуде объем 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

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), в случае малых избыточных давлений получаем следующую расчетную формулу для γ :

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

Рассмотренный метод определения γ был в свое время предложен Клеманом и Дезормом.

3. Экспериментальная установка

Для определения отношения теплоемкостей воздуха $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$

предназначена экспериментальная установка ФПТ 1 – 6, общий вид которой показан на рис. 3.1.

Установка состоит из стеклянной колбы, соединенной с открытым водяным манометром 2. Воздух нагнетается в колбу микрокомпрессором, размещенным в блоке рабочего элемента 3. Микрокомпрессор включается тумблером «Воздух», установленным на передней панели блока приборов 4. Пневмотумблер «Атмосфера» 5, расположенный на панели блока рабочего элемента, в положении «Открыто» позволяет соединять колбу с атмосферой.

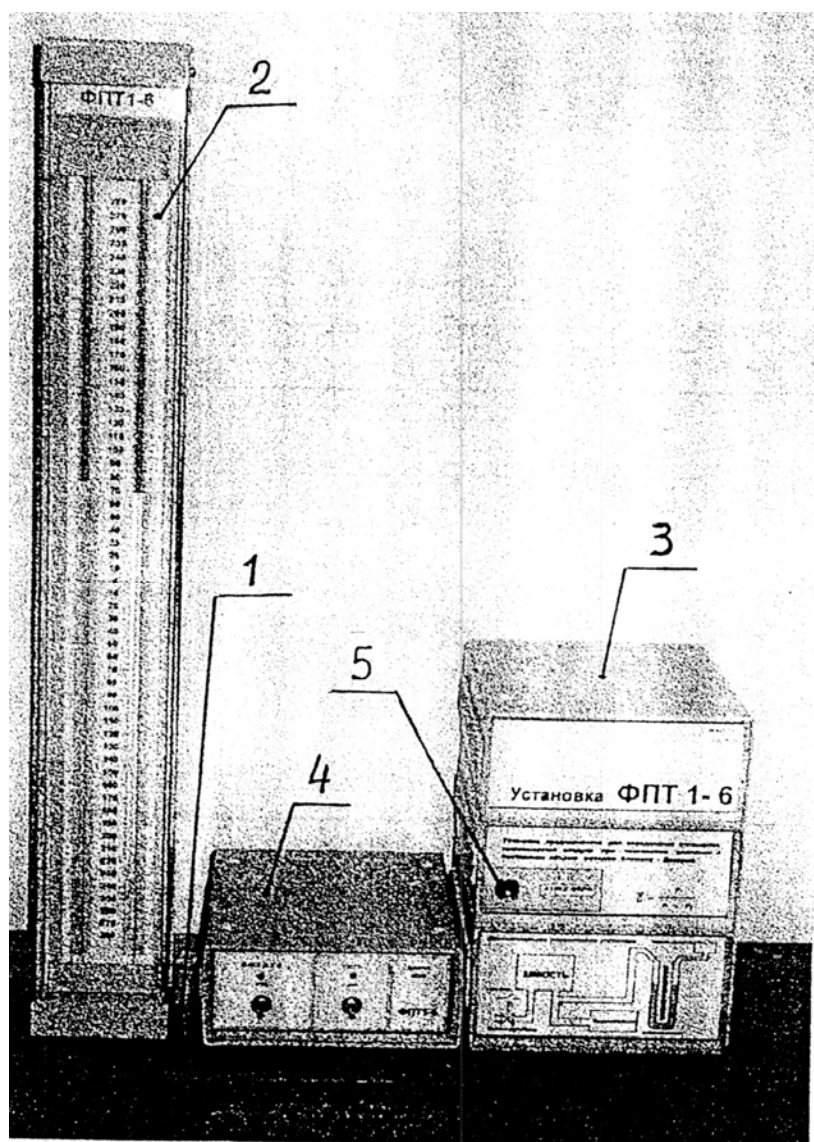


Рис. 3.1. Общий вид экспериментальной установки ФПТ 1 – 6:
1 – стойка; 2 – блок манометра; 3 – блок рабочего элемента;
4 – блок приборов; 5 – пневмотумблер «Атмосфера»

4. Порядок выполнения работы

1. Включить установку тумблером «Сеть».
2. Установить пневмотумблер «Атмосфера» в положение «Закрото». Для подачи воздуха в колбу включить тумблер «Воздух».

3. С помощью манометра контролируют давление в колбе. Когда разность уровней воды в манометре достигает 150...250 мм водяного столба, отключить подачу воздуха.

4. Подождать 2 – 3 мин., пока температура воздуха в колбе сравняется с температурой окружающего воздуха T_0 , в колбе при этом установится постоянное давление $P_1 = P_0 + \rho g H$. Определить разность уровней H , установившуюся в коленах манометра, и полученное значение занести в табл. 4.1.

5. На короткое время соединить колбу с атмосферой, установив пневмотумблер «Атмосфера» в положение «Открыто».

6. Через 2 – 3 мин., когда в колбе установится постоянное давление $P_3 = P_0 + \rho g h$, определить разность уровней h , установившуюся теперь в коленах манометра, и полученное значение занести в табл.

7. Повторить измерения по пп. 2 – 6 не менее 10 раз при различных значениях величины H .

8. Выключить установку тумблером «Сеть».

9. Для каждого измерения вычислить по формуле (2.18) отношение теплоемкостей γ . Найти среднее значение $\langle \gamma \rangle$.

10. Рассчитать абсолютную и относительную ошибки $\langle \gamma \rangle$.

Таблица

Номер измерения	H , мм вод. ст.	h , мм вод. ст.	$\gamma_{\text{ср}}$

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 виде табл.;
- 5) формулы для вычисления ошибок и их расчет;
- 6) конечный результат с указанием ошибок;
- 7) выводы по работе.

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. Представьте график изменения состояния газа на диаграмме $P - V$.
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.