

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

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

**Методические указания**

**к лабораторной работе № 16  
по дисциплине «Физика»**

**Уфа 2012**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ ВОЗДУХА  
МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА

Методические указания

к лабораторной работе № 16  
по дисциплине «Физика»

Уфа 2012

Составитель В.С. Осипов

УДК 534-14(07)

ББК 22.365(Я7)

Методические указания к лабораторной работе № 16 по дисциплине «Физика» «Определение показателя адиабаты воздуха методом Клемана-Дезорма» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.С. Осипов– Уфа, 2012, – 11 с.

В работе определяется показатель адиабаты воздуха методом Клемана-Дезорма, основанном на измерении давления газа после последовательно происходящих процессов его адиабатного расширения и изохорного нагревания.

В методических указаниях кратко изложена теория теплоемкости газов, разобраны физическая основа метода Клемана-Дезорма и его экспериментальная реализация, а также указаны порядок выполнения работы и форма отчетности.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика».

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доцент Тучков С.В.,  
канд. тех. наук, доцент Еникеев Г.Г.

©Уфимский государственный  
авиационный технический университет, 2012

## Содержание

Введение .....	4
1. Цель работы.....	4
2. Задачи.....	4
3. Теоретическая часть .....	4
3.1. Теплоемкость и показатель адиабаты газа .....	4
3.2. Теория метода Клемана-Дезорма.....	6
4. Экспериментальная установка.....	8
5. Требования по технике безопасности .....	9
6. Задания.....	9
7. Методика выполнения заданий .....	9
8. Контрольные вопросы .....	9
9. Требования к содержанию и оформлению отчета .....	10
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы ..	10
Список литературы .....	11

# Лабораторная работа № 16

## Определение показателя адиабаты воздуха методом Клемана-Дезорма

### Введение

Теплоемкость и показатель адиабаты газа позволяют судить о строении молекул, из которых состоит газ, и количественно определять энергетические характеристики процессов изменения его состояния. Усвоение этих понятий, ясное понимание неоднозначности теплоемкости газа по сравнению с жидкими и твердыми телами, знание газовых законов для наиболее распространенных процессов является обязательным при изучении молекулярной физики и термодинамики.

### 1. Цель работы

Определение показателя адиабаты воздуха методом Клемана-Дезорма.

### 2. Задачи

1. Освоение классического метода Клемана-Дезорма измерения показателя адиабаты газа.
2. Определение показателя адиабаты воздуха.

### 3. Теоретическая часть

#### 3.1. Теплоемкость и показатель адиабаты газа

Для характеристики тепловых свойств вещества используют молярную и удельную теплоемкости. Удельной теплоемкостью называют количество теплоты, получаемое (или отдаваемое) телом массой 1 кг при изменении его температуры на 1 К, а молярной теплоемкостью – количество теплоты, получаемое (или отдаваемое) одним молем вещества при изменении его температуры на 1 К.

Таким образом, количество теплоты  $dQ$ , поглощаемое или выделяемое телом при изменении его температуры на  $dT$  градусов, можно вычислить как через удельную теплоемкость  $C$ , так и через молярную теплоемкость  $c$

$$dQ = C m dT, \quad dQ = c \nu dT, \quad (3.1)$$

где  $m$  и  $\nu$  – соответственно масса и количество вещества тела. Из (3.1) следует простая взаимосвязь между  $C$  и  $c$ :  $c = \mu C$ , где  $\mu$  – молярная масса вещества.

По первому закону термодинамики количество теплоты  $dQ$ , сообщаемое телу, равно сумме изменения его внутренней энергии  $dU$  и совершаемой им при этом работе  $dA$

$$dQ = dU + dA. \quad (3.2)$$

Изменение объема твердых и жидких тел, происходящее при изменении их температуры на один градус, относительно мало. Поэтому работой, совершаемой ими при этом, обычно пренебрегают. В этом случае теплоемкости  $C$  и  $c$  определяются только изменением внутренней энергии, которая зависит лишь от строения вещества и природы составляющих его частиц. Поэтому удельную и молярную теплоемкости твердых тел можно считать однозначными, благодаря чему существуют справочные таблицы, в которых приводят их значения для различных веществ в твердом и жидком состоянии.

Иная ситуация с газами. При одном и том же изменении температуры газа им может совершаться разная как по величине, так и по знаку работа, в зависимости от того, какой процесс происходит с газом. Следовательно, теплоемкость газа в разных процессах может быть различной.

Рассмотрим молярные теплоемкости газа для изохорного и изобарного процессов, которые называют теплоемкостями при постоянном объеме и при постоянном давлении и отмечают соответственно индексами  $p$  и  $V$ . Для изохорного процесса  $dA = 0$  и

$$c_V = \frac{dU}{\nu dT}. \quad (3.3)$$

Энергию теплового движения атомов в молекуле идеального газа можно представить суммой кинетической энергии поступательно движения молекулы как целого со скоростью ее центра масс (ЦМ), кинетической энергии вращательного ее движения в системе ЦМ и энергии колебательного движения атомов в этой системе. Согласно закону равномерного распределения энергии теплового движения по степеням свободы молекул, на каждую поступательную и вращательную степень свободы молекулы приходится энергия, в среднем равная  $\frac{1}{2}kT$ , где  $k$  – постоянная Больцмана, а на каждую

колебательную степень свободы –  $kT$ . Средняя энергия теплового движения молекулы получается равной  $\frac{i}{2}kT$ , где  $i$  равно сумме числа ее поступательных степеней свободы  $i_{\text{п}}$ , числа вращательных степеней свободы  $i_{\text{в}}$  и удвоенного числа колебательных степеней свободы. Число степеней свободы молекулы – это минимальное число координат, определяющих положение ее атомов в пространстве. Поступательными степенями свободы называют координаты, задающие положение ЦМ молекулы, вращательными – угловые координаты, задающие положение атомов в этой системе.

Колебательное движение атомов возбуждается при температуре порядка 2000 К, поэтому при температурах значительно меньших  $i$  сводится к сумме  $i_{\text{п}}$  и  $i_{\text{в}}$ . Для всех молекул  $i_{\text{п}} = 3$ , а  $i_{\text{в}}$  обоснованно полагается равным нулю для одноатомных молекул, двум – для линейных молекул и трем для всех остальных.

Внутренняя энергия  $\nu$  молей газа равна

$$U = \frac{i}{2} \nu RT, \quad (3.4)$$

где  $R$  – газовая постоянная. В соответствии с (3.3) и (3.4) получаем

$$c_V = \frac{i}{2} R. \quad (3.5)$$

При постоянном давлении  $dA = \nu R dT$  и

$$c_P = \frac{dU}{\nu dT} + \frac{dA}{\nu dT} = c_V + R = \frac{i+2}{2} R. \quad (3.6)$$

Отношение  $c_P$  к  $c_V$  называют показателем адиабаты или коэффициентом Пуассона газа. Из (3.5) и (3.6) следует, что его значение  $\gamma$  определяется числом степеней свободы молекул газа

$$\gamma = \frac{c_P}{c_V} = \frac{i+2}{i}. \quad (3.7)$$

Окружающий нас воздух состоит главным образом из двухатомных молекулы азота и кислорода, поэтому  $\gamma$  для него должно быть близко к 1,4.

### 3.2. Теория метода Клемана-Дезорма

Рассмотрим воздух в сосуде, сообщающимся через кран с атмосферой. При открытом кране его давление равно

атмосферному  $P$ . Если кран закрыть и закачать в сосуд некоторое количество атмосферного воздуха, то давление в сосуде повысится. В процессе закачки за счет совершения работы над газом температура воздуха в сосуде также будет расти. По окончании закачки в результате теплообмена содержимого сосуда с окружающим его воздухом через стенки сосуда она сравняется с температурой атмосферы  $T_1$ . В этом состоянии давление в сосуде равно  $P + \Delta P_1$ , где  $\Delta P_1$  обусловлено увеличением количества газа в сосуде при закачке. При открывании крана воздух начнет выходить из сосуда, т.е. расширяться, пока давление в нем не сравняется с атмосферным. При быстром протекании этого процесса его можно считать протекающим без теплообмена, т.е. адиабатным, в результате которого температура воздуха понизится до некоторого значения  $T_2$ . По закону Пуассона для адиабатного процесса

$$(P + \Delta P)^{\gamma-1} T_1^{-\gamma} = P^{\gamma-1} T_2^{\gamma-1}. \quad (3.8)$$

Если сразу после выравнивания давлений снова закрыть кран, то оставшийся в сосуде воздух будет изохорно нагреваться за счет поступающего извне тепла от температуры  $T_2$  до температуры  $T_1$ . По ходу нагревания его давление увеличится на некоторую величину  $\Delta P_2$  и станет равным  $P + \Delta P_2$ . По закону Шарля для изохорного процесса

$$\frac{P}{T_2} = \frac{P + \Delta P_2}{T_1}. \quad (3.9)$$

Из (3.8) и (3.9) получаем уравнение

$$\left(1 + \frac{\Delta P_1}{P}\right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{\Delta P_2}{P}\right)^{\gamma}. \quad (3.10)$$

При  $\Delta P_1 \ll P$  и  $\Delta P_2 \ll P$  это уравнение можно записать в виде

$$(\gamma - 1)\Delta P_1 = \gamma\Delta P_2, \quad (3.11)$$

откуда находим  $\gamma$

$$\gamma = \frac{\Delta P_1}{\Delta P_1 - \Delta P_2}. \quad (3.12)$$

Таким образом, при относительно небольших изменениях давления  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  их измерение дает возможность вычислить  $\gamma$  по простой формуле (3.12).

#### 4. Экспериментальная установка

Установка состоит из герметичного сферического сосуда С, подсоединенных к нему через шланги насоса Н и водяного манометра М, закрепленного на стойке со шкалой Ш (рис. 4.1).

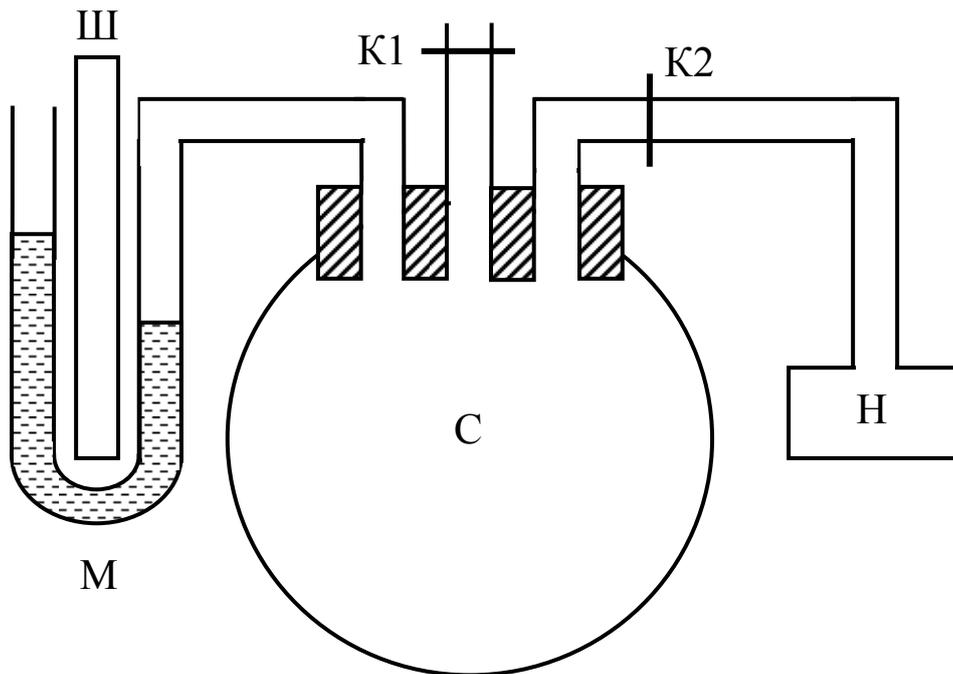


Рис. 4.1

Сосуд снабжен кранами К1 и К2, с помощью которых можно перекрывать его сообщение с атмосферой и насосом. Одно из колен манометра сообщается с атмосферой, а другое – с воздухом в сосуде, что дает возможность измерять разность давлений атмосферного воздуха и воздуха в сосуде  $\Delta P$ . Эта разность вычисляется через разность высот уровней воды в коленях манометра  $h$

$$\Delta P = \rho g h, \quad (4.1)$$

где  $\rho$  – плотность воды,  $g$  – ускорение свободного падения. В этом случае  $\Delta P_1 = \rho g h_1$ ,  $\Delta P_2 = \rho g h_2$  и измерение  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  сводится к измерению  $h_1$  и  $h_2$ , а формула для расчета  $\gamma$  – к формуле

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (4.2)$$

## **5. Требования по технике безопасности**

1. Запрещается отсоединять и перегибать шланги.
2. При закачке воздуха обязательно надо контролировать скорость изменения уровней воды в манометре, не допуская ее утечки.

## **6. Задания**

1. Измерить перепады давления воздуха в сосуде в результате процессов его адиабатного расширения и изохорного нагревания.
2. Рассчитать показатель адиабаты воздуха и погрешность полученного значения.

## **7. Методика выполнения заданий**

1. При закрытом кране К1 и открытом кране К2 закачивайте насосом воздух в сосуд до тех пор, пока разность уровней воды в коленах манометра не достигнет 15-18 см, после чего перекройте кран К2 и выждав 2-3 минуты, измерьте установившуюся разность высот уровней воды  $h_1$ .

2. Закройте кран К2, а затем откройте кран К1 и в тот момент времени, когда уровни воды в коленах манометра сравняются, быстро его закройте. Выждете опять 2-3 минуты, за которые охлажденный при адиабатном расширении воздух изохорно нагреется до первоначальной комнатной температуры, и измерьте разность уровней воды  $h_2$ .

3. Откройте краны К1 и К2.

4. Прделайте все указанные в п.п. 1-3 операции еще 6 раз, стараясь при нагнетании в сосуд воздуха прекратить закачку при той же разности уровней воды, что были в первом опыте.

5. По формуле (4.2) вычислите значение  $\gamma$  для каждого опыта и среднее его значение для всех измерений.

6. Рассчитайте абсолютную и относительную погрешности полученного среднего значения  $\gamma$ .

## **8. Контрольные вопросы**

1. Что называют удельной теплоемкостью? Молярной теплоемкостью? Как они связаны между собой?

2. Почему теплоемкость газа в разных процессах может быть различной? В каком случае она будет одинаковой?

3. Какое число называют числом степеней свободы молекулы? Чему оно равно для разных молекул?

4. Какие степени свободы называют поступательными? Вращательными? Колебательными?

5. Что утверждает закон равнораспределения энергии теплового движения по степеням свободы молекулы?

6. Как называют отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме? Чем оно определяется?

7. Какие процессы происходят с воздухом в настоящей работе и каким газовым законам они подчиняются?

8. Какой процесс называется адиабатическим?

### 9. Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.

2. Основные положения теории метода Клемана-Дезорма определения показателя адиабаты газа.

3. Схему экспериментальной установки.

4. Данные измерений  $h_1$  и  $h_2$  и результаты расчета показателя адиабаты  $\gamma$ , его абсолютной ( $\Delta\gamma$ ) и относительной ( $\delta\gamma$ ) погрешностей, которые должны быть представлены в форме таблицы.

Таблица

$N$ опыта	$h_1$ , мм	$h_2$ , мм	$\gamma$	$\Delta\gamma$	$\delta\gamma$ , %
1					
2					
3					
4					
5					
6					
среднее					

### 10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы

1. Знание понятий удельной и молярной теплоемкостей, показателя адиабаты газа, числа степеней свободы молекулы, закона равнораспределения энергий теплового движения, причину неоднозначности теплоемкости газов и теоретическую основу метода Клемана-Дезорма.

2. Качество проведения эксперимента.
3. Правильность выполнения вычислений и достоверность конечных результатов.
4. Соответствие отчета предъявленным к нему требованиям.

### **Список литературы**

1. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Academia, 2008. – 1. С. 100-104, 121-124.
2. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Т. 1. – СПб.: Издательство «Лань», 2007. – С. 222-226, 234-241, 245.

Составитель ОСИПОВ Валерий Сергеевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ ВОЗДУХА  
МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА

Методические указания

к лабораторной работе № 16  
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2012. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный  
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12