

КуНЧ:5
9-624

3.0

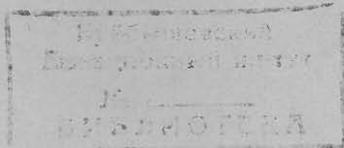
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ
АДИАБАТЫ ВОЗДУХА
МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА

1-24

Утверждено
редакционно-издательским
советом института в качестве
методических указаний
к лабораторной работе
№ 1—27 для студентов



КУЙБЫШЕВ 1989

Составители: А. М. Кожевников, А. Ф. Малеев

УДК 532.1.13:532.6

Определение показателя адиабаты воздуха методом Клемана-Дезорма: Метод. указания / Сост. А. М. Кожевников, А. Ф. Малеев, Куйб. авиац. ин-т. Куйбышев, 1989. 6 с.

Методические указания к лабораторной работе содержат методические и инструктивные материалы, необходимые для выполнения работы по молекулярной физике. В работе рассматриваются процессы в идеальном газе и изучается адиабатический процесс.

Методические указания предназначены для студентов всех факультетов КуАИ.

Рецензенты: Ю. М. Дубинкин, С. П. Ткачев

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ

обозначенного здесь срока

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1—27

Приборы и принадлежности: стеклянный сосуд с пробкой и клапаном, водяной манометр, ручной воздушный насос.

Общие сведения

Под адиабатическим процессом понимают такой процесс, при котором система переходит из одного состояния в другое без теплообмена с окружающей средой. Примерами такого процесса могут служить: распространение звуковой волны в газе, быстрое изменение давления газа в замкнутом сосуде в результате его кратковременного истечения из отверстия, процесс горения топлива в двигателях внутреннего сгорания и т. д.

Адиабатический процесс перехода системы из одного состояния, характеризуемого параметрами p_1, V_1, T_1 , в другое состояние с параметрами p_2, V_2, T_2 может быть описан любым из трех уравнений:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma; \quad (1)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}; \quad (2)$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}. \quad (3)$$

Величина γ , входящая в показатели степеней правых частей равенств, называется показателем адиабаты. По определению

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v},$$

где C_p — молярная теплоемкость при постоянном давлении,

C_v — молярная теплоемкость при постоянном объеме.

Из молекулярно-кинетической теории следует, что C_p, C_v и, следовательно, γ в газах выражаются через число степеней i свободы газовых молекул и могут быть определены из исследования строения молекул. Для показателя адиабаты γ эта теория приводит к выражению

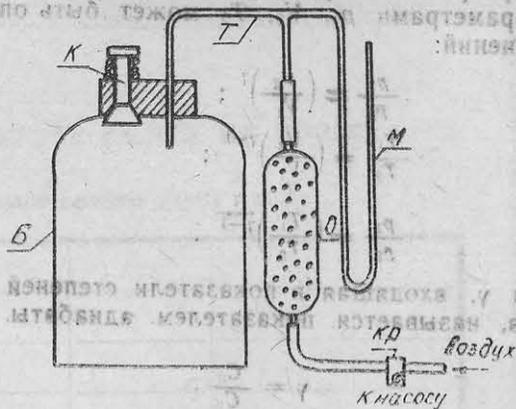
$$\gamma = \frac{i+2}{i}, \quad (4)$$

а, так как для двухатомных газов (воздух, кислород, азот и др.) $i = 5$, то для них по зависимости (4) получаем $\gamma = 1,4$.

В данной работе для определения величины γ используется совокупность процессов в газе, одним из которых является адиабатический процесс. К этому процессу мы применим термодинамическое соотношение (3), выразив температуру начала T_1 и конца T_2 адиабатического перехода через другие величины, которые проще измерить на опыте.

Экспериментальная часть

В методе Клемана-Дезорма показатель адиабаты γ определяется на экспериментальной установке (см. рисунок), состоящей из стеклянного баллона Б, водяного манометра М, поглотителя водяных паров О, соединенных между собой стеклянной трубкой Т, и клапана К, через который замкнутый объем баллона может быть соединен с окружающей средой. Перед началом адиабатического процесса в баллоне необходимо создать избыточное давление. Это делается с помощью ручного насоса через открытый кран КР.



температуре T_0 окружающей среды, а давление не примет значения p_0 . Таким образом, перед началом последующего адиабатического расширения состояние газа в баллоне характеризуется параметрами p_1, V_1, T_1 , причем

$$p_1 = p_0 + \rho g h_1 (\gamma + 1) \pi \quad (5)$$

где p_0 — атмосферное давление, ρ — плотность воды, g — ускорение свободного падения, h_1 — разность высот уровней воды в коленах манометра.

Для осуществления адиабатического расширения газа из баллона откроем клапан К на такое короткое время, чтобы давление внутри баллона стало равным атмосферному давлению p_0 . В конце адиабатического процесса, непосредственно после закрытия клапана, состояние газа внутри баллона будет характеризоваться параметрами p_0, V_2, T_2 . Поскольку при адиабатическом расширении газа работа по расширению совершается за счет внутренней энергии системы, то температура T_2 газа внутри баллона будет несколько меньше температуры T_0 окружающей среды. Температуру T_2 в конце адиабатического процесса можно найти по изохорному процессу, который снова приводит газ в баллоне к температурному равновесию с окружающей средой путем теплообмена через стенки сосуда.

$$\frac{p_0}{p_2} = \frac{p_0}{p_1} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\gamma} \quad (6)$$

причем $p_2 = p_0 + \rho g h_2$, где h_2 — новая разность высот уровней воды в манометре.

Заменяя в (3) отношение T_1/T_2 из (6) и помня, что в (3) по условиям эксперимента $p_2 = p_0$, получим

$$\frac{dh_2}{dh_1} = \left(\frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно γ , найдем показатель адиабаты:

$$\gamma = \frac{\ln \frac{p_1}{p_0}}{\ln \frac{p_1}{p_2}} \quad (9)$$

Заменяя p_1 и p_2 соответственно выражениями (6) и (7) и преобразуя, получим

$$\gamma = \frac{\ln \left(1 + \frac{\rho g h_1}{p_0} \right)}{\ln \left(1 + \frac{\rho g h_1}{p_0} \right) - \ln \left(1 + \frac{\rho g h_2}{p_0} \right)} \quad (10)$$

Так как в данном эксперименте давления водяного столба ($\rho g h_1$ и $\rho g h_2$) значительно меньше атмосферного давления p_0 , то для упрощения выражения (10) используем разложение в ряд функции

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots,$$

ограничившись первым слагаемым ряда, т. е. будем считать, что

$$\ln\left(1 + \frac{\rho g h_1}{p_0}\right) \approx \frac{\rho g h_1}{p_0}; \quad \ln\left(1 + \frac{\rho g h_2}{p_0}\right) \approx \frac{\rho g h_2}{p_0} \quad (11)$$

После подстановки выражений (11) в (10) получим рабочую формулу

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \quad (12)$$

Порядок выполнения работы и расчета погрешности.

1. При помощи ручного насоса накачать воздух в баллон до разности уровней в манометре 150—200 мм и закрыть кран КР.

Подождать 3—4 минуты до установления температурного равновесия между замкнутым объемом и внешней средой (при установлении теплового равновесия перестает изменяться разность высот в манометре) и измерить разность уровней h_1 в водяном манометре М.

2. Резким нажатием открыть клапан К примерно на 1 секунду и после установления теплового равновесия измерить разность уровней h_2 в манометре.

3. Рассчитать γ по формуле (12).

Перед началом измерений рекомендуется проделать для тренировки несколько пробных экспериментов, подсчитывая каждый раз значение γ , и показать результаты этих измерений преподавателю.

4. Провести 10 опытов. Результаты измерений и расчетов записать в таблицу.

№ п/п	h_{1i} , мм	h_{2i} , мм	$\gamma_i = \frac{h_{1i}}{h_{1i} - h_{2i}}$	$\Delta \gamma_i$	$(\Delta \gamma_i)^2$	$S_{\bar{\gamma}}$
1						
2						
...						
10						

При нахождении погрешности измерений рекомендуется придерживаться следующей последовательности:

1. Определить среднее арифметическое значение показателя адиабаты

$$\bar{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i}{n}$$

где n — число измерений.

2. Определить абсолютные погрешности отдельных измерений

$$\Delta \gamma_i = \bar{\gamma} - \gamma_i$$

3. Найти $(\Delta \gamma_i)^2$.

4. Вычислить среднюю квадратичную погрешность

$$S_{\bar{\gamma}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \gamma_i)^2}{n(n-1)}}$$

5. Найти границы доверительного интервала

$$\Delta \gamma = t_{\alpha, n} S_{\bar{\gamma}}$$

использовав для нахождения $t_{\alpha, n}$ таблицу коэффициентов Стьюдента.

6. Записать результаты измерения в виде

$$\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta \gamma; \quad \alpha = 0,95.$$

7. Определить относительную погрешность измерения показателя адиабаты

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta \gamma}{\bar{\gamma}} \cdot 100\%$$

Контрольные вопросы

1. На чем основан метод Клемана-Дезорма?
2. Какой процесс называется адиабатическим? Какие еще процессы вам известны?
3. Что такое число степеней свободы молекулы?
4. Как можно найти значения C_p и C_v идеального газа, зная число степеней свободы его молекул?
5. Почему $C_p > C_v$ и на сколько? Показать это аналитически.
6. Вывести рабочую формулу (12).

7. Почему адиабатическое сжатие газа сопровождается повышением его температуры, а адиабатическое расширение — понижением температуры?

Библиографический список

1. Савельев И. В. Курс общей физики. М.: Наука, 1977, т. 1, § 87, 88.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. М.: Наука, 1975, т. 2, § 22.
3. Руководство к лабораторным работам / Под ред. Л. Л. Гольдина. М.: Наука, 1964. С. 150—155.

*Кожевников Алексей Михайлович,
Милеев Алексей Федорович*

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

Редактор Т. К. Крестинина
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 6.02.89 г. Подписано в печать 28.02.89 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.
Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. п. л. 0,5. Уч.-изд. л. 0,4. Т. 2000 экз.
Заказ 136. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева.
443001, Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. ЭОЗ Куйбышевского авиационного института,
443001, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.

Контрольные вопросы

1. На чем основан метод Клемана-Дезорма?
2. Какой процесс происходит в процессе эксперимента? Какие еще процессы вам известны?
3. Что такое степень свободы и почему она равна 5?
4. Как можно найти γ и $\gamma_{\text{теор}}$ и сравнить их?
5. Почему $\gamma_{\text{теор}} > \gamma$ на сколько? Показывать это на графике.
6. Вывести формулу (12).