**Лабораторная работа № 60.1**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ВОЗДУХА**

**Теоретическое введение**

Теплоемкостью тела называется величина, равная количеству теплоты, необходимому для нагревания данного тела на 1 К:

.

Удельная теплоемкость вещества – величина, равная количеству теплоты, необходимому для нагревания 1 кг вещества на 1 К:

.

Молярная теплоемкость вещества – величина, равная количеству теплоты,

необходимому для нагревания 1 моля вещества на 1 К:

,

где число молей.

Отношение теплоемкостей газов при постоянном давлении и при постоянном объеме играет в термодинамике весьма важную роль. В частности, оно входит в уравнение Пуассона, описывающее адиабатный процесс, и в ряд других важных термодинамических соотношений.

Согласно представлениям молекулярно-кинетической теории среднее значение кинетической энергии, приходящейся на одну степень свободы поступательного и вращательного движения газовых молекул, равно

, (1)

где - постоянная Больцмана,

Т – абсолютная температура.

Внутренняя энергия одного моля идеального газа, молекулы которого имеют i степеней свободы,

. (2)

Первое начало термодинамики для одного моля газа можно записать в виде:

где тепло, получаемое молем газа;

изменение внутренней энергии;

элементарная работа расширения газа.

Для изохорного процесса

, (3)

Откуда молярная теплоемкость при постоянном объеме равна

. (4)

Дифференцируя (2) по температуре, получим:

.

Молярная теплоемкость при постоянном давлении равна

.

Из уравнения Клапейрона-Менделеева для одного моля газа при постоянном давлении:

.

Следовательно, с учетом (4)

. (5)

Отношение теплоемкостей равно:

.

Отношение теплоемкостей зависит только от числа степеней свободы и их характера.

Значения молярных теплоемкостей газов различной атомности приведены в таблице 1.

Таблица 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Молекула | Характер связи атомов | Число степеней свободы |  |
| Одноатомная |  | 3 (поступательные) | 1,67 |
| Двухатомная | Жесткая | 5 (3 поступательные +  2 вращательные) | 1,40 |
|  | Упругая | 5+1 (колебательная) | 1,29 |
| Трех- и более атомная | Жесткая | 6 | 1,33 |

На одну степень свободы колебательного движения, в отличие от (1), приходится средняя энергия (кинетическая и взаимная потенциальная). В общем случае полное число степеней свободы в формуле (2) определяется соотношением: .

**Содержание работы**

В данной работе для определения используется метод Клемана-Дезорма.

**Описание установки**

Для экспериментального определения отношения в работе используется установка (см. рис. 1), состоящая из стеклянного баллона 1, насоса 2, манометрической образной трубки 3 и двух кранов и : соединяет баллон с насосом; с атмосферой.

В исходном состоянии исследуемый газ (воздух) находится в баллоне 1 при атмосферном давлении и комнатной температуре . Затем кран перекрывается, кран открывается и с помощью насоса 2 в баллон накачивается дополнительно небольшая порция воздуха, после чего кран

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  | Рис. 1. Схема установки. |  |

перекрывается. При этом давление и температура газа в баллоне повышаются. Спустя некоторое время (несколько минут) газ в баллоне охлаждается до комнатной температуры и давление его становится равным В этот момент производится отсчет разности уровней в манометре На следующем этапе баллон, открывая на короткое время (1-2 секунды) кран , соединяют с атмосферой: при этом газ адиабатически расширяется, давление его становится равным атмосферному (), а температура уменьшается (). После перекрытия крана газ в баллоне за счет теплообмена с окружающей средой нагревается при постоянном объеме до комнатной температуры и при этом его давление увеличивается до значения . В этот момент производится второй отсчет разности уровней в манометре .

Выделим мысленно внутри баллона некоторую порцию газа m, ограниченную замкнутой поверхностью, играющей роль «оболочки». В описанных процессах газ, заключенный в эту «оболочку», будет сжиматься (нагнетание), расширяться (выпуск), совершать работу против давление окружающего воздуха и обмениваться с ним теплом. Поскольку изменения давления и температуры при этом очень невелики, процессы, протекающие с массой газа m, можно считать равновесными (квазистатическими).

Состояние данной массы газа характеризуется следующими параметрами

1 состояние -

2 состояние - T

3 состояние -

Как уже указывалось, разности давлений и весьма малы (16 см водяного столба составляют около 1 см ртутного столба или ), поэтому их и соответствующие им изменения объема можно считать бесконечно малыми и положить

и , (7)

Переход газа из состояния 1 в состояние 2 осуществляется адиабатически, следовательно,

и полный дифференциал

или ;

Или, с учетом (7):

(8)

Состояния 1 и 3 соответствуют комнатным температурам, и точки и принадлежат одной изотерме:

,

следовательно,

Полагая и , получим

. (9)

Из соотношений (8) и (9) получаем окончательно

. (10)

Пусть разности между давлением в баллоне и атмосферным равны соответственно и :

Тогда

(11)

В работе измеряется отношение теплоемкостей воздуха описанным выше методом и производится статистическая обработка результатов измерений.

Как следует из (11), для определения необходимо измерить по манометру избыточное давление в баллоне до адиабатического расширения () и после изохорного нагревания (). Обе указанные величины должны измеряться в состоянии термодинамического равновесия, то есть после прекращения теплообмена, о чем можно судить по постоянству показаний манометра.

**Порядок выполнения**

Принадлежности: 1. Баллон с краном. 2. Жидкостный манометр.

3. Насос.

**Задание 1**. Проведение многократных измерений воздуха.

1. Накачать насосом в баллон воздух, доведя разность уровней в манометре до 20-25 см, и перекрыть кран .
2. Выждать 3-4 минуты, пока воздух в баллоне охлаждается до комнатной температуры (при этом перестает изменяться разность уровней в манометре), и измерить избыточное давление .
3. Быстро открыть кран , сообщая баллон на короткое время с атмосферой, и снова его перекрыть.
4. Выждав пока воздух в баллоне прогреется до комнатной температуры, измерить избыточное давление .

Рекомендуется проделать вначале несколько тренировочных измерений и оценить порядок получаемой величины .

Проделать 8-10 измерений. Полученные значения , и занести в таблицу 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №№  п/п |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.  2.  3.  .  .  .  .  10. |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Задание 2**. Проведение оценки погрешности результатов измерений .

Указание. Поскольку определяется отношением высот, целесообразно ввести в рассмотрение безразмерную величину , которую можно рассматривать как первичный параметр. Величина будет, таким образом, косвенно измеряемой величиной:

. (12)

Для оценки погрешности результата измерений рекомендуется поступить следующим образом:

1. Для каждого измерения вычислить ; среднее арифметическое значение и .
2. Оценить инструментальную погрешность какого-либо одного измерения x:

, (13)

*.*

1. Сопоставить величины и :

Если , доминируют погрешности приборов и максимальная ошибка в измерении вычисляется по формуле

.

Если , доминируют погрешности приборов и необходимо провести статистическую обработку результатов косвенных измерений величины .

Для этого вычисляют среднюю квадратичную погрешность n измерений:

,

и определяют среднюю квадратичную ошибку косвенного измерения

.

Находят в таблице коэффициент Стьюдента для двух значений надежности (доверительной вероятности) и .

Вычисляют доверительный интервал и записывают окончательный результат в виде:

.

**Контрольные вопросы**

1. Что называется теплоемкостью вещества? Удельной теплоемкостью?

Молярной теплоемкостью?

1. Что называется идеальным газом?
2. Получите выражение для внутренней энергии произвольной массы идеального газа и объясните из чего складывается внутренняя энергия идеального газа.
3. Чем определяется число степеней свободы системы?
4. Запишите и сформулируйте 1-е начало термодинамики.
5. Выведите выражение для молярных теплоемкостей идеального газа через число степеней свободы.
6. Запишите уравнение газового состояния для изохорного, изобарного, изотермического и адиабатического процессов и 1-е начало термодинамики для этих процессов.