

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
Кафедра физики

ОТЧЕТ
ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ФИЗИКЕ

Студент _____

Группа _____

Факультет _____

Преподаватель _____

Барнаул – 2023

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗА МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Ознакомиться с методом адиабатического расширения. Изучить процессы в идеальных газах, определить коэффициента Пуассона γ воздуха.

Приборы и оборудование:

Установка для определения коэффициента Пуассона воздуха при постоянном давлении и объеме.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

Удельной теплоемкостью вещества называется величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить веществу единичной массы, чтобы увеличить его температуру на один Кельвин:

$$c = \frac{\delta Q}{m \cdot dT} \quad (1)$$

Единица удельной теплоемкости в системе СИ – Дж / (кг К).

Молярной теплоемкостью вещества называется величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить молю вещества, чтобы увеличить его температуру на один Кельвин:

$$C = \frac{\delta Q}{\nu \cdot dT} \quad (2)$$

Единица молярной теплоемкости в системе СИ – Дж / (моль К).

Для газов удельная и молярная теплоемкости зависят от условий, при которых проводится нагревание. Между собой теплоемкости связаны соотношением:

$$C = c \cdot M, \quad (3)$$

где M – молярная масса вещества.

Согласно **первому началу термодинамики**, количество теплоты δQ , сообщенное системе, идет на приращение внутренней энергии системы dU и на работу системы против внешних сил δA :

$$\delta Q = dU + \delta A. \quad (4)$$

Изменение внутренней энергии идеального газа определяется формулой:

$$dU = \frac{i}{2} \nu \cdot R \cdot dT, \quad (5)$$

где ν – количество вещества, dT – изменение температуры, R – универсальная газовая постоянная, i – число степеней свободы молекул газа. Для одноатомных молекул (инертные газы) $i=3$, для двухатомных (простые газы, кроме инертных) $i=5$, для многоатомных (сложные газовые соединения) $i=6$.

Нагреем один моль газа на dT градусов. Если объем газа не изменяется, т.е. $V=const$, то газ работы не совершает, т.е. $\delta A=0$. Тогда, согласно уравнению (4), $\delta Q = dU$, и молярная теплоемкость газа, измеренная при постоянном объеме, определится выражением:

$$C_V = \left(\frac{\delta Q}{dT} \right)_V = \frac{dU}{dT}. \quad (6)$$

Если при нагревании моля газа остается постоянным давление, т.е. $P=const$, то газ расширяется и совершает работу (рис. 1). Молярная теплоемкость газа, измеренная при постоянном давлении, определяется формулой:

$$C_P = \left(\frac{\delta Q}{dT} \right)_P = \frac{dU}{dT} + \frac{\delta A}{dT}. \quad (7)$$

Расширившись, газ отодвинет легкий поршень площадью S на расстояние dl (рис. 1). Работа газа $\delta A = F \cdot dl$, где F – сила, действующая на поршень. Умножим и разделим правую часть выражения на площадь S , тогда:

$$\delta A = \frac{F \cdot S \cdot dl}{S} = P \cdot S \cdot dl = P \cdot dV. \quad (8)$$

Подставив выражения (8) и (6) в (7) получим:

$$C_P = C_V + \frac{P \cdot dV}{dT}. \quad (9)$$

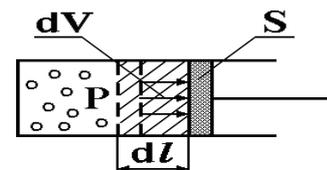


Рисунок 1 - Расширение газа при нагревании

Таким образом, чтобы нагреть газ при постоянном давлении, необходимо больше тепла, чем для нагревания такого же количества газа до той же температуры при постоянном объеме, так как в первом случае тепло расходуется не только на повышение внутренней энергии газа, но и на работу газа против внешних сил.

Запишем уравнение Клапейрона – Менделеева для моля газа

$$P \cdot V = R \cdot T. \quad (10)$$

Продифференцируем его, считая давление постоянным:

$$P \cdot dV = R \cdot dT, \quad (11)$$

отсюда

$$\frac{P \cdot dV}{dT} = R. \quad (12)$$

2 Описание лабораторной установки

Схема установки представлена на рисунке 2. В сосуд насосом накачивают воздух, создавая давление выше атмосферного. Это состояние газа соответствует началу эксперимента, на графике (рис.3) это точка 1. При этом газ имеет параметры P_1, V_1, T_1 .

Быстрое расширение воздуха можно рассматривать как адиабатическое. Поэтому, открывая клапан сосуда на мгновение, в течение которого давление внутри сосуда достигает атмосферного, мы можем считать, что газ перейдет в новое состояние, характеризуемое величинами P_2, V_2, T_2 по **адиабате** (точка 2 на рисунке 3). Температура воздуха в сосуде после адиабатического расширения будет ниже начальной. Параметры начального и конечного состояний воздуха в сосуде при адиабатическом процессе связаны **уравнением Пуассона** (уравнением адиабаты):

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma \quad \text{или} \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma. \quad (14)$$

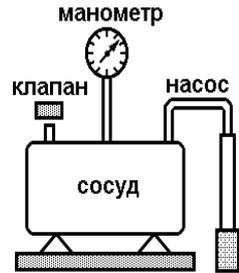


Рисунок 2 - Схема

экспериментальной

установки

Через несколько минут воздух в сосуде нагреется до температуры окружающей среды T_1 . Поскольку при этом V_2 не изменяется, то давление повысится до P_3 . Новое состояние воздуха характеризуется параметрами P_3, V_2, T_1 (точка 3 на рисунке 3). Сравнивая состояние воздуха в сосуде, соответствующее точкам 3 и 1 (рис.3), видим, что температура воздуха в этих точках одинакова. Тогда по закону Бойля – Мариотта:

$$P_3 \cdot V_2 = P_1 \cdot V_1 \quad \text{или} \quad \frac{P_3}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}. \quad (15)$$

Сравнивая уравнения (14) и (15) получим:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{P_3}{P_1} \right)^\gamma. \quad (16)$$

Прологарифмировав уравнение (16), получим

$$\gamma = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{\ln P_3 - \ln P_1}. \quad (17)$$

Условия эксперимента позволяют упростить формулу (17) следующим образом. Учтем, что $P_2 = P_a$, где P_a – атмосферное давление. Тогда $P_1 = P_a + \Delta P_1$; $P_3 = P_a + \Delta P_3$, где ΔP_1 и ΔP_3 – избыточные давления.

Разложим $\ln P_1$ и $\ln P_3$ в ряд Тейлора:
$$f(a+h) = f(a) + \frac{h}{1!} f'(a) + \frac{h^2}{2!} f''(a) + \dots + \frac{h^n}{n!} f^{(n)}(a)$$

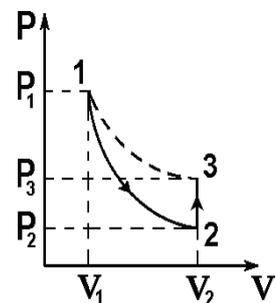


Рисунок 3 - Диаграмма процессов, происходящих с воздухом в сосуде

$$\ln P_1 = \ln(P_0 + \Delta P_1) = \ln P_0 + \frac{\Delta P_1}{P_0} \quad (18)$$

$$\ln P_3 = \ln(P_0 + \Delta P_3) = \ln P_0 + \frac{\Delta P_3}{P_0}$$

Подставляя формулы (18) в выражение (17) получим расчетную формулу для коэффициента Пуассона:

3 Порядок выполнения работы

1. При закрытом клапане накачать воздух в сосуд так, чтобы измеряемое манометром избыточное давление стало равным 100 – 130 мм. рт. ст.
2. Через некоторое время, когда давление перестанет падать, записать в таблицу величину давления ΔP_1 .
3. Открыть на мгновение клапан сосуда и, когда стрелка манометра упадет до нуля, быстро закрыть его. Через некоторое время, когда давление перестанет расти, записать величину давления ΔP_3 в таблицу.
4. Повторить пункты 1-3 пять раз.

$$\gamma = \frac{\Delta P_1}{\Delta P_1 - \Delta P_3}$$

5. По формуле $\gamma = \frac{\Delta P_1}{\Delta P_1 - \Delta P_3}$ рассчитать коэффициент Пуассона для каждого опыта. Вычислить среднее значение коэффициента Пуассона γ_{cp} .
6. Найти теоретическое значение коэффициента Пуассона $\gamma_{теор}$ для воздуха, считая его молекулы жесткими двухатомными (**указание**: воспользоваться определениями коэффициента Пуассона и молярных теплоемкостей при постоянном объеме и давлении).
7. Сравнить теоретическое и среднее экспериментальное значения коэффициента Пуассона, оценив величину

$$\delta = \frac{|\gamma_{теор} - \gamma_{cp}|}{\gamma_{теор}} \cdot 100 \%$$

относительного отклонения по формуле

Таблица

№ изм.	ΔP_1 , мм. рт. ст.	ΔP_3 , мм. рт. ст.	γ	γ_{cp}	$\gamma_{теор}$	$\Delta \gamma$	δ , %
1	120	22	1,224	1,206	1,4	0,194	13,8
2	118	21	1,216				
3	122	22	1,22				
4	119	19	1,19				
5	116	18	1,183				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое коэффициент Пуассона γ ? - это отношение изменения ширины материала на единицу ширины к изменению его длины на единицу длины в результате деформации
2. Сформулируйте первое начало термодинамики. Запишите этот закон применительно к изопроцессам и дайте пояснения. - это обобщение закона сохранения энергии с учётом тепловых процессов. Его формулировка: количество теплоты, сообщённое системе, расходуется на выполнение работы против внешних сил и изменение её внутренней энергии
3. Что такое внутренняя энергия идеального газа? От чего она зависит? - в идеальных газах внутренняя энергия определяется как сумма кинетических энергий молекул. Между молекулами идеального газа отсутствуют силы притяжения и потенциальная энергия взаимодействия равна нулю. Внутренняя энергия идеального газа зависит от его температуры и массы и не зависит от объема.
4. Дать определение работы газа и количества теплоты. - При расширении газ совершает работу против внешней среды, передавая ей при этом энергию. При сжатии наоборот, газ воспринимает работу, совершаемую внешней средой и увеличивающей его внутреннюю энергию. При этом осуществление работы возможно при наличии по меньшей мере двух движущихся тел, одно из которых оказывает

силовое воздействие на другое.

4 Обработка результатов измерений

$$\gamma = \frac{\Delta P_1}{\Delta P_1 - \Delta P_3}$$

$$1) \gamma = \frac{120}{120 - 22} = 1,224$$

$$2) \gamma = \frac{118}{118 - 21} = 1,216$$

$$3) \gamma = \frac{122}{122 - 22} = 1,22$$

$$4) \gamma = \frac{119}{119 - 19} = 1,19$$

$$5) \gamma = \frac{116}{116 - 18} = 1,183$$

$$\gamma_{cp} = 1,224 + 1,216 + 1,22 + 1,19 + 1,183 / 5 = 1,206$$

$$i=5$$

$$\gamma_{теор} = 5 + 2/5 = 1,4$$

$$\delta = \frac{1,4 - 1,206}{1,4} * 100 = 13,8$$

ВЫВОДЫ:

В ходе лабораторной работы я ознакомилась с методом адиабатического расширения, а так же изучила процессы в идеальных газах и определила коэффициент Пуассона γ воздуха.
