

Раздел 2

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Работа 2.1

Изучение основных законов идеального газа

Оборудование: сосуд с газом (воздухом) для исследования, водяной открытый манометр, закрытая манометрическая трубка с находящимся в ней газом для исследования, термостат с контактными и контрольными термометрами.

Введение

Состояние данной массы m газа принято характеризовать физическими параметрами: давлением P , объемом V и температурой T . Изменение состояния газа, которое сопровождается изменением всех или некоторых из этих параметров, называется *газовым процессом*. Поведение газов в этих процессах подчиняется определенным законам. Получить уравнения этих законов можно, если воспользоваться одним из основных уравнений молекулярно-кинетической теории газов.

Как известно, давление газа P при данной температуре $p = nkT$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — *постоянная Больцмана*, n — *концентрация молекул газа* ($n = N/V$, где N — число молекул газа в данном объеме V). После подстановки и преобразований получим:

$$\frac{pV}{T} = Nk \text{ — уравнение Клапейрона.} \quad (1)$$

Т. к. $N = \frac{m}{M} N_A$, где M — *молярная масса газа*, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ — *число*

Авогадро, получим: $pV = \frac{m}{M} N_A kT$ ($N_A k = R = 8,31$ Дж/моль·К — *универсальная (молярная) газовая постоянная*).

Откуда

$$pV = \frac{m}{M} RT \text{ — уравнение Клапейрона — Менделеева.} \quad (2)$$

Термодинамический процесс, при котором какой-либо параметр газа остается постоянным, называется *изопроцессом*. При $T = \text{const}$ (*изотермический процесс*) из уравнения (1) получаем:

$$pV = \text{const} \quad (\text{закон Бойля — Мариотта})$$

При $V = \text{const}$ (*изохорный процесс*) имеем

$$\frac{p}{T} = \text{const.} \quad (\text{закон Шарля})$$

При $p = \text{const}$ (изобарный процесс)

$$\frac{V}{T} = \text{const.} \quad (\text{закон Гей-Люссака})$$

В равных объемах любого газа при одинаковых давлениях и температурах содержится одинаковое число молекул (закон Авогадро).

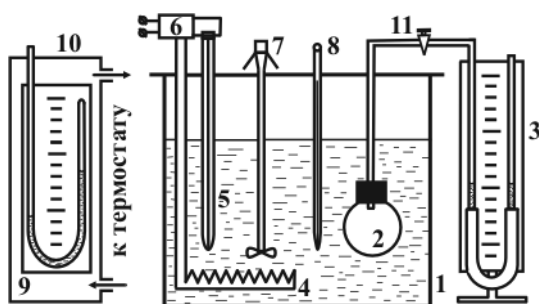


Рис. 2.1

Давление смеси газов равно сумме парциальных давлений ее компонент (закон Дальтона). Парциальным называют давление, которое оказывает газ какой-либо компоненты смеси, если бы он один присутствовал в объеме, занимаемой смесью.

В данной работе на основе экспериментальных данных необходимо построить графики зависимости $p = f(T)$ при

$V = \text{const}$ и $pV = f(T)$, т. е. опытным путем проверить законы Шарля и Клапейрона — Менделеева.

Описание установки и метода. В работе используется установка (рис. 2.1), которая состоит из термостата 1, внутри которого находится сосуд с воздухом 2.

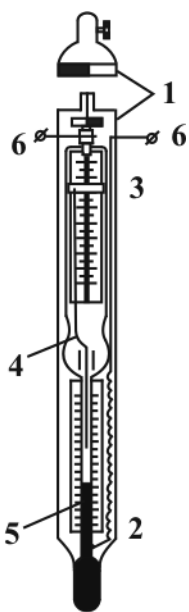


Рис. 2.2

При помощи резиновых и стеклянных трубок с краном он соединяется с водяным манометром 3. Вода в термостате нагревается электрическим нагревателем 4. Для этого термостат включается в электрическую сеть с напряжением 220 В. Для достижения и поддержания необходимой температуры в термостате используется контактный термометр 5, который соединен с электромагнитным реле 6.

Контактный термометр (рис. 2.2) состоит из магнитной головки 1, термометра 2, ползунка 3, который может скользить по винтовому стержню, контактной тонкой проволоки 4, соединенной с ползунком, и способной соприкасаться со столбиком ртути 5 термометра. Выводы 6 этих контактов находятся в верхней части термометра. Если контактная проволока 4 не касается столбика ртути, то контакты реле, с которым соединена спираль нагревателя, находятся в таком состоянии, что нагреватель включен, и температура жидкости в сосуде повышается. Когда столбик ртути поднимается вверх и соприкасается с контактной проволокой 4, реле отключает нагреватель. Для того чтобы произвести нагревание дальше, необходимо вращением магнитной головки 1 поднять ползунком 3, а вместе с ним и

контактную проволоку 4 так, чтобы она не касалась столбика ртути. Реле снова включает нагреватель, температура увеличивается, столбик ртути поднимается до соприкосновения с проволокой 4 и нагреватель снова отключается. Таким образом, при помощи контактного термометра можно регулировать и поддерживать постоянную температуру жидкости в термостате.

Вода в термостате (рис. 2.1) перемешивается с помощью электрической мешалки 7. Температура контролируется контрольным термометром 8. При нагревании воздуха в сосуде 2 его объем и давление будут меняться. Однако, перемещая подвижное правое колено манометра 3, можно всегда добиться такого положения, при котором уровень жидкости в неподвижном левом колене манометра будет при разных температурах на одном и том же делении шкалы. Это означает, что объем воздуха в сосуде 2 можно поддерживать одинаковым при разных температурах. Давление в сосуде можно определить по формуле:

$$p = p_a + \rho gH,$$

где H — разность уровней жидкости в трубках открытого манометра, p_a — атмосферное давление.

Таким образом, получив ряд значений давления P в сосуде при разных значениях температуры T воздуха в нем, можно построить график зависимости $p = f(T)$ и сравнить его с теоретическим.

Для экспериментальной проверки закона Клапейрона — Менделеева в работе используется вторая манометрическая стеклянная трубка 9, правый конец которой закрыт, и в нем над жидкостью находится столбик воздуха. Манометрическая трубка находится внутри стеклянного цилиндра 10, который в свою очередь с помощью трубок присоединен к термостату. При его включении вода с помощью соответствующего приспособления (насоса) будет поступать в цилиндр 10 и нагревать воздух в манометрической трубке, что приведет к изменению разности уровней жидкости в закрытом манометре. Давление p_m , под которым находится воздух в закрытом колене манометра, будет равно:

$$p_m = p_a \mp \rho gh,$$

где h — разность уровней жидкости в манометрической трубке.

Получив несколько значений давления воздуха в манометрической трубке при разных температурах, можно построить график зависимости $p_m V = f(T)$, где V — объем воздуха в манометрической трубке, и сравнить его с теоретическим:

$$p_m V = \frac{m}{M} RT. \quad (3)$$

Объем воздуха в закрытом колене манометрической трубки можно вычислить по формуле:

$$V = Sl,$$

где l — длина столбика воздуха, S — площадь поперечного сечения трубки. Если учесть, что площадь поперечного сечения трубки S в наших опытах вследствие нагревания изменяется несущественно, то равенство (3) можно преобразовать к виду:

$$p_m l = \frac{mRT}{MS}$$

и построить график $p_m l = f(T)$. Очевидно, что график $p_m l = f(T)$ будет иметь такой же вид, что и $p_m V = f(T)$, который графически иллюстрирует закон Клапейрона — Менделеева.

Порядок выполнения работы

1. Определите по барометру атмосферное давление p_a .
2. Откройте кран II для того, чтобы давление в колбе 2 и в манометре 3 стало одинаковым и равным атмосферному.
3. Путем перемещения трубки подвижного колена манометра установите уровень жидкости в неподвижном колене на нулевую отметку.
4. Запишите длину воздушного столбика l в манометрической трубке 9 и разность уровней жидкости h в ней.
5. Запишите первоначальную температуру в термостате T_1 (или t_1).
6. Рассчитайте давление воздуха в колбе по формуле $p = p_a + \rho gH$ и в манометрической трубке по формуле $p_m = p_a \mp \rho gh$.
7. Включите термостат и снимите необходимые показания l , h , H при разных температурах (не менее 5 измерений).
8. Сделайте соответствующие расчеты P и p_m для различных температур, результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	T , К	H , м	ρ , кг/м ³	p_a , Па	P , Па	l , м	h , м	p_m , Па
-------	---------	---------	----------------------------	------------	----------	---------	---------	------------

9. Постройте графики зависимости $p = f(T)$ при $V = \text{const}$ и $p_m l = f(T)$. Проанализируйте их и сделайте выводы.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ УИР

Объясните, как можно использовать сосуд с газом, который соединен с жидкостным манометром, в качестве термометра. Определите опытным путем температуру газа в различных его состояниях.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой газ называется идеальным?
2. В каком состоянии реальные газы можно принять за идеальные?
3. Какие из реальных газов при нормальных условиях наиболее близки к идеальным?
4. Запишите уравнение, которое устанавливает зависимость между давлением P , концентрацией n молекул газа и его температурой T .
5. Что называется термодинамическим процессом?
6. Какой процесс называется изопроцессом?
7. Сформулируйте основные законы идеального газа.
8. Отобразите графически основные газовые законы в разных системах координат.
9. Как устроен и действует контактный термометр? Каково его назначение?
10. Дайте определение термического коэффициента объемного расширения газа.