

Лабораторная работа № 2.7 Исследование политропических процессов

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и в учебниках [1], гл. 9, §55; [2], гл.9, §9.6. Выберите «Термодинамика и молекулярная физика» и «Работа газа». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и запишите основные сведения в свой конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Цель работы

- Ознакомление с основами анализа и моделирования термодинамических процессов в идеальных газах.
- Определение молярной теплоемкости в политропических процессах идеального газа.
- Определение показателя адиабаты и работы газа в политропическом процессе.

Краткая теория

Политропным называется процесс, в котором молярная теплоемкость C остается постоянной. Уравнение политропического процесса имеет вид

$$pV^n = const, \quad (1)$$

где

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v}. \quad (2)$$

Молярной теплоемкостью называется физическая величина C , численно равная количеству теплоты δQ , которую нужно сообщить одному молю вещества для изменения его температуры на 1 К в рассматриваемом термодинамическом процессе:

$$C = \frac{M}{m} \frac{\delta Q}{dT}, \quad (3)$$

где M – молярная масса; m – масса газа.

Выражение (3) теперь можно записать в форме

$$\delta Q = \frac{m}{M} C dT, \quad (4)$$

или в интегральной форме

$$Q_{1 \rightarrow 2} = \frac{m}{M} C(T_2 - T_1).$$

Таким образом, если количество тепла, полученное в некотором термодинамическом процессе $1 \rightarrow 2$ при $m = \text{const}$, прямо пропорционально разности температур $\Delta T = T_2 - T_1$, то теплоемкость газа постоянна и процесс является политропическим

$$C = \frac{Q_{1 \rightarrow 2}}{\frac{m}{M}(T_2 - T_1)}.$$

Первый закон термодинамики для *любого* равновесного процесса изменения состояния идеального газа имеет вид

$$\frac{m}{M} C dT = \frac{m}{M} C_v dT + p dV. \quad (5)$$

Тогда из уравнения (5) имеем

$$C = C_v + \frac{M_p}{m} \frac{dV}{dT}. \quad (6)$$

Связь между объемом газа и его температурой в политропном процессе можно найти из выражения (1) и уравнения Клапейрона – Менделеева

$$pV = \frac{m}{M} RT,$$

$$V^{(n-1)}T = \text{const}.$$

Дифференцируя последнее выражение, получим

$$(n-1)V^{(n-2)}T dV + V^{n-1} dT = 0,$$

$$\frac{dV}{dT} = -\frac{V}{(n-1)T}.$$

Тогда уравнение (6) примет вид

$$C = C_v - \frac{pV}{(n-1)\frac{m}{M}T} = C_v - \frac{R}{n-1}.$$

Учитывая, что $C_v = \frac{R}{\gamma - 1}$, где $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ показатель адиабаты, получим

$$C = \frac{n - \gamma}{(\gamma - 1)(n - 1)} R,$$

или

$$C = \left(\frac{i}{2} - \frac{1}{n - 1} \right) R. \quad (7)$$

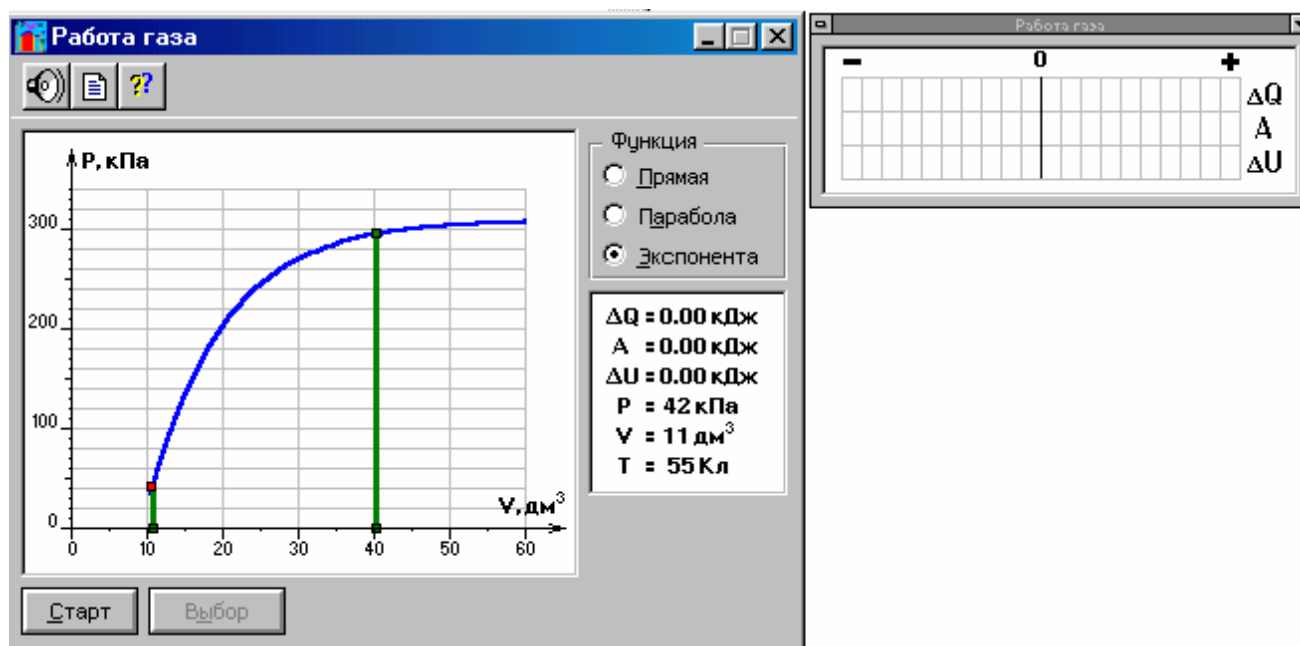
Таким образом, если термодинамический процесс идеального газа действительно является политропным, т.е. молярная теплоемкость в ходе процесса не изменяется, то ее величина рассчитывается по формуле (7).

В настоящей работе используется модель одноатомного газа ($i=3$), поэтому в политропных процессах при $n = -1$, согласно выражению (7), молярная теплоемкость C должна быть равна 16,6 Дж/(моль·К), а при $n = -2$ $C = 15,2$ Дж/(моль·К).

Частными случаями политропного процесса являются:

- изотермический $n = 1$, $C = \pm \infty$;
- изобарический $n = 0$, $C = C_p$;
- изохорический $n = \pm \infty$, $C = C_v$;
- адиабатический $n = \gamma$, где $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$, $C = 0$.

Методика и порядок измерений



Обработка результатов и оформление отчета

1. Вычислите и запишите во вторую строку полученных таблиц разности температур $T_i - T_1$.

2. На миллиметровой бумаге или на листе в клетку формата А4 постройте по экспериментальным точкам графики в виде линейной зависимости ΔQ от разности температур $T_i - T_1$ для трех исследуемых процессов. (Каждый график на отдельном листе!)

3. По тангенсу угла наклона прямой линии графика к оси разности температур, используя формулу $C = \frac{Q_{20} - Q_1}{\frac{m}{M}(T_{20} - T_1)}$, определите молярную теплоем-

кость политропического процесса и сравните ее с теоретическим значением, рассчитанным по формуле (7).

4. Рассчитайте работу газа в этих процессах по формуле

$$A = \frac{1}{n-1}(p_1V_1 - p_2V_2)$$

и сравните эти значения со значениями, указанными в нижнем окне монитора при p_{20} и V_{20} .

Проанализируйте полученные результаты, сделайте оценку погрешности измерений.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Сформулируйте закон Больцмана о равномерном распределении энергии по степеням свободы молекул.
2. Почему колебательная степень свободы молекулы обладает вдвое большей энергией, чем поступательная и вращательная?
3. В чем состоит качественная неравноценность между работой и теплообменом как формами передачи энергии?
4. Что такое внутренняя энергия идеального газа?
5. В результате каких процессов может изменяться внутренняя энергия идеального газа?
6. Что называется молярной теплоемкостью газа?
7. Почему C_p больше, чем C_v ?
8. Покажите применение первого начала термодинамики к изопроцессам в идеальных газах.
9. Чему равна работа изобарного расширения моля идеального газа при нагревании на 1 К?

10. Чему равна работа изохорного расширения одного моля идеального газа при нагревании на 1 К?
11. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется при постоянном давлении?
12. Температура газа в сосуде постоянна. Запишите на основе первого начала термодинамики соотношение между сообщенным количеством теплоты и совершенной работой.
13. Газ переходит из одного и того же состояния ❶ в одно и то же состояние ❷ в результате следующих процессов: 1) изотермического; 2) изобарного; 3) изохорного; 4) адиабатного. Рассмотрев эти процессы графически, показать: 1) в каком процессе работа расширения максимальна? 2) в каком случае газу сообщается большее количество тепла?
14. Какой процесс называется политропным?
15. Показатель политропы $n > 1$. Нагревается или охлаждается идеальный газ при сжатии?
16. Определите, больше или меньше нуля молярная теплоемкость газа в термодинамическом процессе $\frac{T^2}{V} = const$, если: а) газ одноатомный; 2) газ двухатомный.

Библиографический список

Основной:

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высш. шк., 2003 и др. года изданий.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высш. шк., 2004.

Дополнительный:

3. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1989 и др. года изданий.
4. Цаплев В.М., Орехова И.Г., Лиходаева Е.А. Физика. Ч. 3. Молекулярная физика. Термодинамика: Текст лекций.– СПб.: СЗПИ, 1999.