

Зеленский В.И., Тихомиров Ю.В.

Изучение адиабатического процесса  
(Лабораторный комплекс «Открытая физика»)

Методические указания по выполнению лабораторной работы

## Введение

Целью работы является  
знакомство с компьютерной моделью, описывающей адиабатический процесс в идеальном газе;  
экспериментальное подтверждение закономерностей адиабатического процесса;  
экспериментальное определение показателя адиабаты, числа степеней свободы и структуры молекул газа в данной модели.

## 1. Краткая теория

**Адиабатическим** называется процесс, при котором термодинамическая система не обменивается энергией с телами, не входящими в эту систему.

Уравнение адиабатического процесса для идеального газа имеет вид

$$pV^\gamma = \text{const.} \quad (1.1)$$

Здесь  $\gamma$  - **показатель адиабаты**.

Показатель адиабаты определяется свойствами идеального газа и равен отношению

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}, \quad (1.2)$$

здесь  $c_p, c_v$  - **молярные теплоемкости идеального газа при постоянном давлении и постоянном объеме**, равные

$$c_p = \left( \frac{i}{2} + 1 \right) R, \quad (1.3)$$

$$c_v = \frac{i}{2} R,$$

где  $i$  - **число степеней свободы молекул идеального газа**,  $R$  - **универсальная газовая постоянная**.

Из (1.2), (1.3) можно получить выражение для числа степеней свободы молекул

$$i = \frac{2}{\gamma - 1}. \quad (1.4)$$

Возьмем натуральный логарифм обеих частей уравнения (1.1)

$$\ln p + \gamma \ln V = \text{const.}$$

Запишем

$$\ln p = \text{const} - \gamma \ln V, \quad (1.5)$$

$$\ln p = \text{const} + (-\gamma) \ln V.$$

Линеаризованный график функции  $\ln p = f(\ln V)$  представлен на рисунке 1.1.

Угловой коэффициент графика равен

$$a = \frac{\Delta(\ln p)}{\Delta(\ln V)}. \quad (1.6)$$

Из (1.5) следует, что угловой коэффициент графика и показатель адиабаты связаны между собой соотношением

$$(-\gamma) = a.$$

Отсюда

$$\gamma = -a = -\frac{\Delta(\ln p)}{\Delta(\ln V)}. \quad (1.7)$$

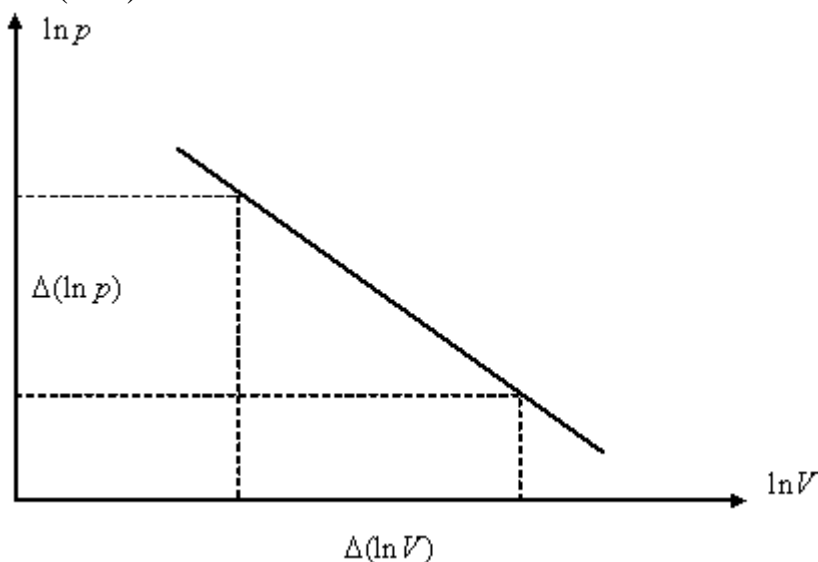


Рисунок 1.1 – Линейаризованный график

## 2. Методика измерений

2.1. На рабочем столе монитора найдите ярлык программы «Открытая Физика1.1». Щелкните по ярлыку курсором мыши и запустите программу.

2.2. Выберите: «Термодинамика и молекулярная физика», «Адиабатический процесс».

2.3. Внимательно рассмотрите окно эксперимента (Рис.2.1), найдите все регуляторы и другие основные элементы. Кнопки вверх картинки являются служебными. Назначение каждой можно узнать, если расположить маркер мыши над кнопкой течение 1-2 секунд (без нажатия кнопок мыши).

2.4. Во внутреннем окне «Адиабатический процесс» сверху также расположены служебные кнопки. Кнопка с изображением страницы служит для вызова теоретических сведений. Ознакомьтесь с содержанием данного раздела.

2.5. Можно перемещать окна, зацепив (нажав и удерживая левую кнопку) мышью заголовки окна (имеющий синий фон). Закрытие окон обеспечивается нажатием кнопки «X» в правом верхнем углу внутреннего окна.

2.6. Нажмите мышью кнопку «Старт». Внимательно рассмотрите картинку на рисунке, найдите рисунок элемента, в котором реализуется адиабатический процесс, обратите внимание на его теплоизоляцию. Ознакомьтесь с графиками в правой части изображения. Кнопка «Стоп» позволяет остановить процесс. Для продолжения процесса нужно нажать кнопку «Старт».

2.7. Найдите кнопки, задающие значение температуры. Установка значения температуры возможна при нажатой кнопке «Выбор».

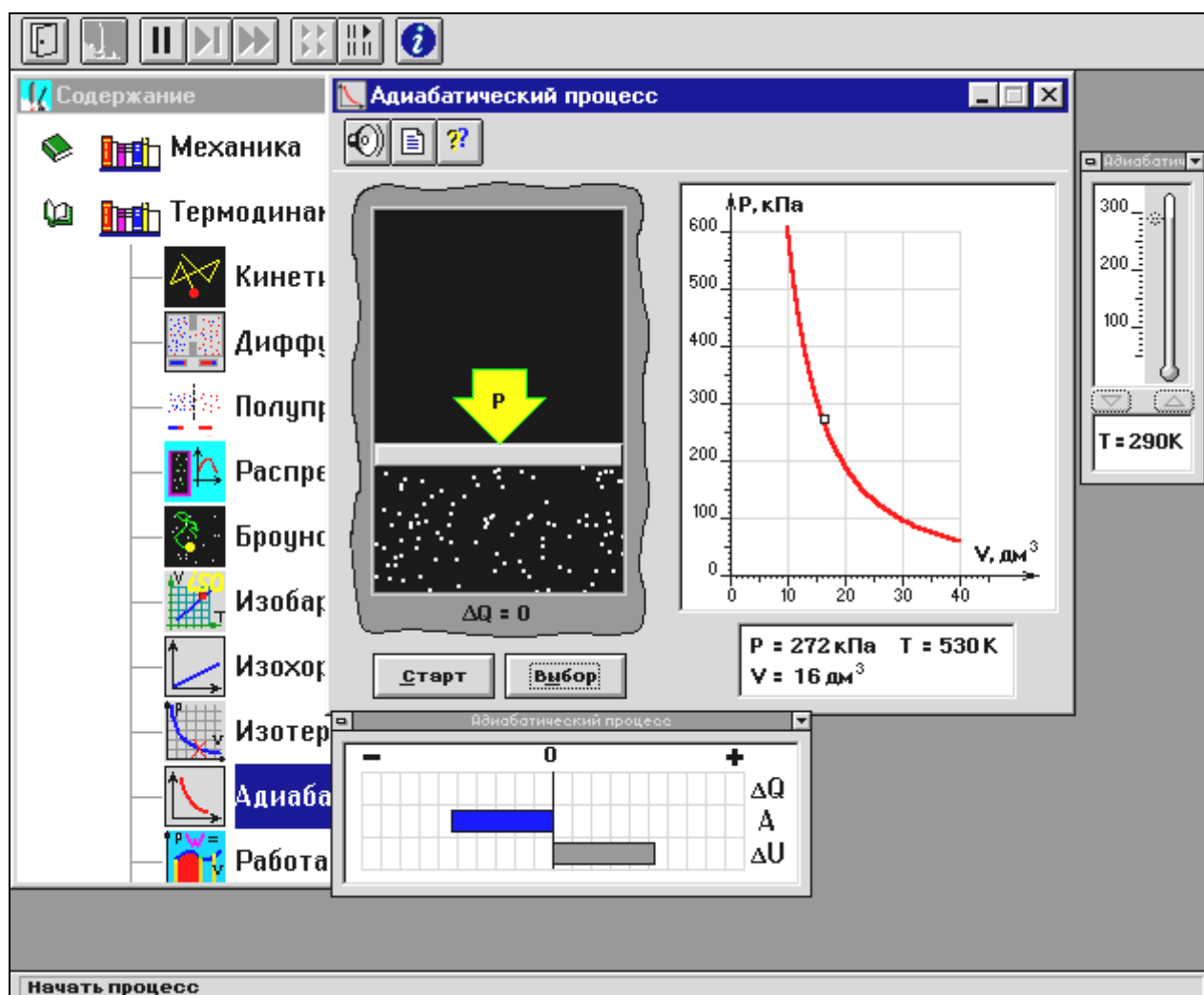


Рисунок 2.1 – Окно эксперимента

### 3. Задание

- 3.1. На компьютерной модели исследовать адиабатический процесс в идеальном газе.
- 3.2. Определить число степеней свободы молекул идеального газа.

### 4. Порядок выполнения работы

4.1. Установите начальное значение объема  $V_{нач} = 40 \text{ дм}^3$  и начальную температуру  $T_1$  газа из таблицы 4.1 для вашего рабочего места.

Для этого нажмите кнопку «**Выбор**», переместите маркер мыши так, чтобы его острие находилось в указанной точке вблизи границы столбика на градуснике, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая левую кнопку мыши, двигайте столбик.

4.2. Нажмите мышью кнопку «**Старт**» на экране и наблюдайте перемещение поршня на левой картинке модели и перемещение точки по красной кривой теоретической адиабаты. Попробуйте останавливать процесс нажатием кнопки «**Стоп**». Последующий запуск процесса осуществляется нажатием кнопки «**Старт**».

4.3. После автоматической остановки процесса запустите его снова, нажав кнопку «**Старт**», и остановите, нажимая кнопку «**Стоп**», в момент, когда крестик на теоретической адиабате (красная кривая) будет соответствовать первому значению объема из таблицы 4.2.

Запишите в таблицу 4.2 значения объема, температуры и давления в момент остановки процесса.

Нажмите кнопку «Старт» для продолжения адиабатического процесса и затем кнопку «Стоп» в момент, когда крестик на теоретической адиабате (красная кривая) будет соответствовать второму значению объема из таблицы 4.2. Продолжайте аналогичные измерения для всех значений объема, указанных в таблице 4.2, записывая в таблицу значения объема, температуры и давления в моменты остановки процесса.

4.4. Установите начальное значение объема  $V_{нач} = 40 \text{ дм}^3$  и начальную температуру  $T_2$  газа, из таблицы 4.1 для вашего рабочего места. Повторите измерения п. 4.3, записывая результаты в таблицу 4.3.

4.5. Предъявите преподавателю заполненную таблицу с экспериментальными данными.

4.6. Вычислите значения  $\ln V, \ln p$  и запишите в таблицы 4.2, 4.3.

4.7. Вычислите суммарную абсолютную погрешность  $\sigma(\ln V)$  как погрешность косвенного измерения. Относительную погрешность измерения объема принять равной  $\varepsilon(V) = 0,1$ . Запишите значения в таблицы 4.2, 4.3

4.8. Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей  $\ln p = f(\ln V)$  для двух адиабатических процессов с учетом доверительных интервалов  $\sigma(\ln V)$ .

4.9. Определите для каждого графика экспериментальное значение показателя  $\gamma$ , используя формулу (1.7). Найдите среднее значение  $\gamma$ . Запишите значение в таблицу 4.4.

4.10. Используя формулу (1.4), определите число степеней свободы  $i$  молекул газа, исследуемого в данной компьютерной модели.

4.11. Проанализируйте полученное значение  $i$ . Запишите значение в таблицу 4.4. Подберите распространенный газ(смесь газов), структура молекул которого может соответствовать полученному значению  $i$ .

4.12. Проанализируйте графики и результаты, сформулируйте выводы. Оформите отчет о лабораторной работе.

Таблица 4.1

Начальные значения температуры (не перерисовывать)

| Номер<br>рабочего<br>места | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $T_1, \text{ К}$           | 50  | 70  | 100 | 120 | 140 | 170 | 200 | 220 | 50  | 70  | 100 | 120 |
| $T_2, \text{ К}$           | 230 | 240 | 250 | 260 | 270 | 280 | 290 | 300 | 230 | 240 | 250 | 260 |

Таблица 4. 2

Результаты измерений при начальной температуре  $T_1$ 

| Номер измерения  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
|------------------|----|----|----|----|----|----|
| $V, \text{дм}^3$ | 40 | 35 | 25 | 20 | 15 | 10 |
| $\ln V$          |    |    |    |    |    |    |
| $\sigma(\ln V)$  |    |    |    |    |    |    |
| $T, \text{К}$    |    |    |    |    |    |    |
| $p, \text{кПа}$  |    |    |    |    |    |    |
| $\ln p$          |    |    |    |    |    |    |

Таблица 4. 3

Результаты измерений при начальной температуре  $T_2$ 

| Номер измерения  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
|------------------|----|----|----|----|----|----|
| $V, \text{дм}^3$ | 40 | 35 | 25 | 20 | 15 | 10 |
| $\ln V$          |    |    |    |    |    |    |
| $\sigma(\ln V)$  |    |    |    |    |    |    |
| $T, \text{К}$    |    |    |    |    |    |    |
| $p, \text{кПа}$  |    |    |    |    |    |    |
| $\ln p$          |    |    |    |    |    |    |

Таблица 4.4

Результаты расчетов

|          |  |
|----------|--|
| $\gamma$ |  |
| $i$      |  |
| газ      |  |

## 5. Рекомендуемая литература

5.1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика.- М.: Наука.

5.2. Зеленский В.И. Руководство к лабораторным работам по физике. Методическое пособие. – Ханты-Мансийск, Югорский государственный университет.