

# Экспериментальная проверка закона Шарля (изохорный процесс)

Алексей Зибинский, Данил Раскулов, Ярослав Квашнин

2 семестр

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алфёрова Российской академии наук*

**Группа:** 101.1

**Студенты:** Алексей Зибинский, Данил Раскулов, Ярослав Квашнин

**Преподаватель:** Павлов Александр Валерьевич

**1. Цель работы:** Экспериментальная проверка закона Шарля.

**2. Задачи, решаемые при выполнении работы:**

2.1. Подготовить лабораторную установку. Нагревать газ и снимать показания давления.

2.2. После достижения определённого значения давления при помощи поршня увеличить объём сосуда.

2.3. Продолжать нагрев до температуры 50 градусов Цельсия.

2.4. Всё описанное выше, но в обратном порядке (объём, соответственно, уменьшаем).

2.5. Сравнить полученные результаты, построить графики.

**3. Объект исследования:** Изохорный процесс.

**4. Метод экспериментального исследования:** Измерение физической величины при изменении другой физической величины. Дальнейшее построение графика.

**5. Рабочие формулы и исходные данные.**

5.1.  $P_0 = 10^5$  Па,  $T = 293$  К

5.2.  $\frac{P_0}{T_0} = \frac{P_1}{T_1} = const$  – Закон Шарля

5.3.  $P(T) = P(0)(1 + kT)$  – ожидаемая зависимость.  $P(0)$  – давление воздуха при  $T = 0^\circ\text{C}$ , а  $k = \frac{1}{273}$  – ожидаемый коэффициент пропорциональности.

## 6. Измерительные приборы:

| № | Наименование          | Тип прибора | Используемый диапазон | Погрешность прибора |
|---|-----------------------|-------------|-----------------------|---------------------|
| 1 | Электронный термометр | Цифровой    | 0 - 50 °С             | 0.1 °С              |
| 2 | Электронный манометр  | Цифровой    | 90 - 110 кПа          | 0.1 кПа             |

## 7. Схема установки (перечень схем, кот. составляют Прил-е 1).

### 1 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Внешний вид оборудования представлен на рисунке 1

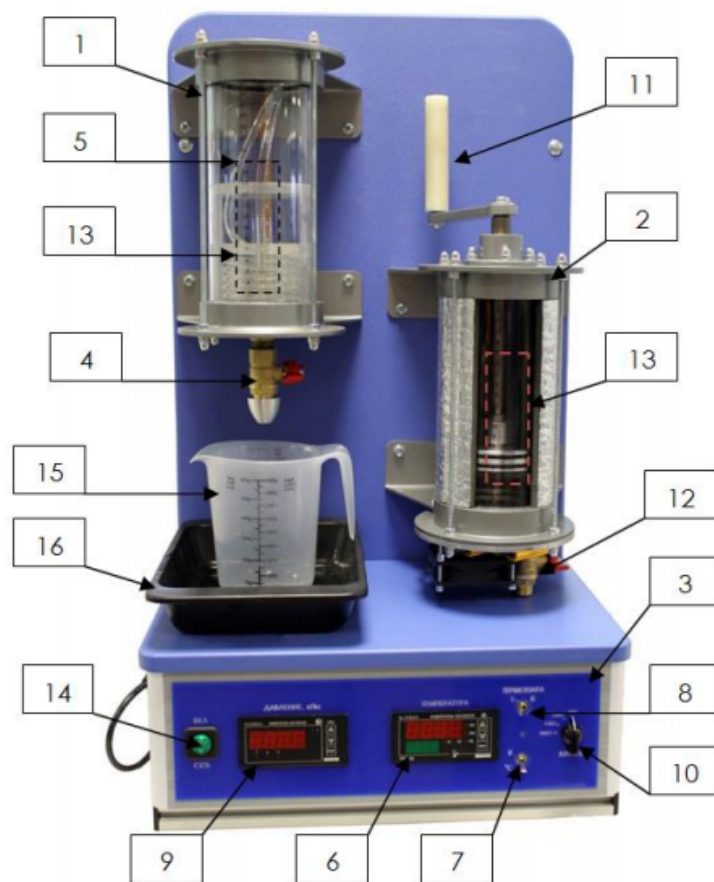


Рисунок 1 – Состав оборудования:

1 – колба 1 (левая); 2 – колба 2 (правая); 3 – основание; 4 – кран 1; 5 – капиллярная трубка; 6 – электронный термометр; 7 – тумблер (K, C°); 8 – тумблер (термопара I или II); 9 – электронный манометр; 10 – галетный переключатель; 11 – ручка регулировки хода поршня; 12 – кран 2; 13 – градуированная шкала; 14 – кнопка «ВКЛ»; 15 – мерный стакан (мензурка); 16 – кювета;

**8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).**

$$1) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, T_0 = 26,2^\circ \text{C}, h_0 = 11,95 \text{ см}$$

$$P_1 = 0,1 \text{ кПа}; T_1 = 31,1^\circ$$

$$2) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, T_0 = 31,0^\circ \text{C}, h_0 = 12,0 \text{ см}$$

$$P_1 = 0,1 \text{ кПа}; T_1 = 35,0^\circ$$

$$3) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, T_0 = 34,5^\circ \text{C}, h_0 = 12,1 \text{ см}$$

$$P_1 = 0,1 \text{ кПа}; T_1 = 40,1^\circ$$

$$4) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, T_0 = 38,8^\circ \text{C}, h_0 = 12,2 \text{ см}$$

$$P_1 = 0,1 \text{ кПа}; T_1 = 42,4^\circ$$

$$5) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, T_0 = 41,3^\circ \text{C}, h_0 = 12,3 \text{ см}$$

$$P_1 = 0,1 \text{ кПа}; T_1 = 43,6^\circ$$

$$6) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, T_0 = 41,3^\circ \text{C}, h_0 = 12,4 \text{ см}$$

$$P_1 = 0,0 \text{ кПа}; T_1 = 43,8^\circ$$

Начали охлаждать:

$$1) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, t_0 = 43,8^\circ \text{C}, h_0 = 12,4 \text{ см}$$

$$P_1 = -0,3 \text{ кПа}; T_1 = 40,9^\circ, h_1 = 12,3 \text{ см}$$

$$2) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, T_0 = 40,7^\circ \text{C}, h_0 = 12,3 \text{ см}$$

$$P_1 = -0,3 \text{ кПа}; T_1 = 38,7^\circ, h_1 = 12,2 \text{ см}$$

$$3) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, T_0 = 38,7^\circ \text{C}, h_0 = 12,2 \text{ см}$$

$$P_1 = -0,3 \text{ кПа}; T_1 = 37,4^\circ, h_1 = 12,15 \text{ см}$$

$$4) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, T_0 = 37,3^\circ \text{C}, h_0 = 12,15 \text{ см}$$

$$P_1 = -0,3 \text{ кПа}; T_1 = 35,3^\circ, h_1 = 12,1 \text{ см}$$

$$5) P_0 = -0,1 \text{ кПа}, T_0 = 35,2^\circ \text{C}, h_0 = 12,1 \text{ см}$$

$$P_1 = -0,3 \text{ кПа}; T_1 = 34,0^\circ, h_1 = 12,$$

Очень хорошо, что мы сняли значения  $h$ . Здесь они нужны чтобы показать, что изменение объёма было действительно малым. Переведём конкретные значения в их разности (дельты давления и температуры):

$$\Delta P = 0,2 \text{ кПа}$$

Нагрев: (Всё в градусах Цельсия)

$$\Delta T_1 = 4,9$$

$$\Delta T_2 = 4,0$$

$$\Delta T_3 = 5,6$$

$$\Delta T_4 = 3,6$$

$$\Delta T_5 = 2,3$$

$$\Delta T_6 = 2,5$$

Охлаждение:

$$\Delta T_1 = 2,9$$

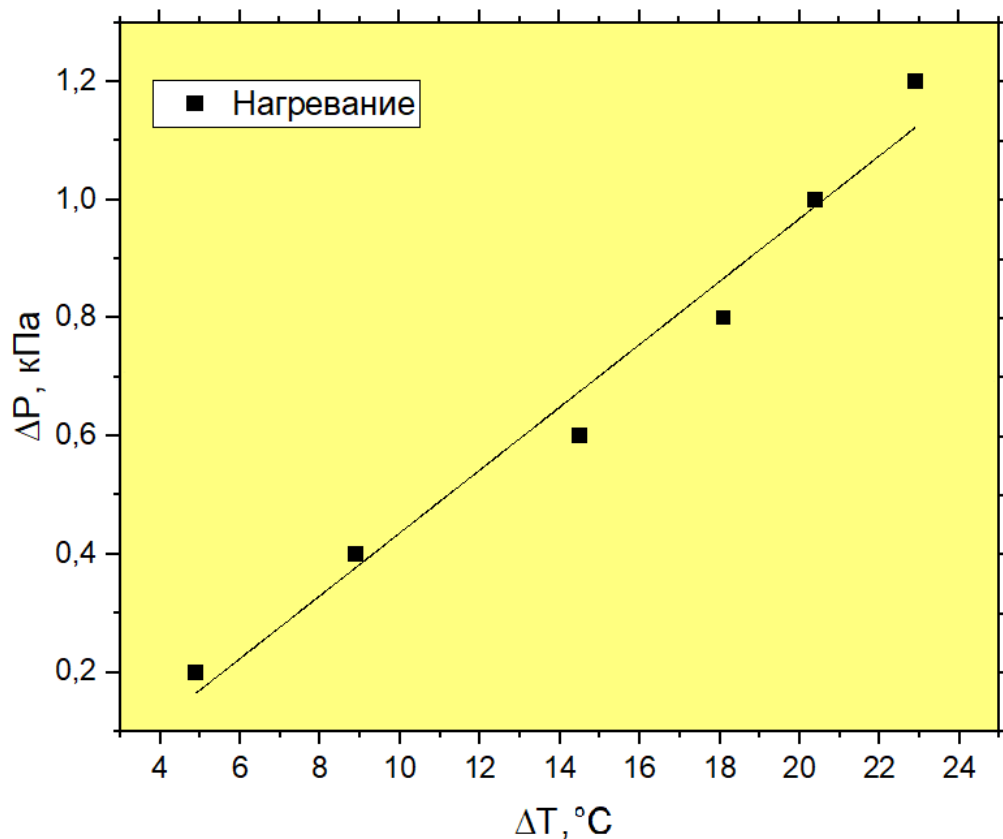
$$\Delta T_2 = 2,0$$

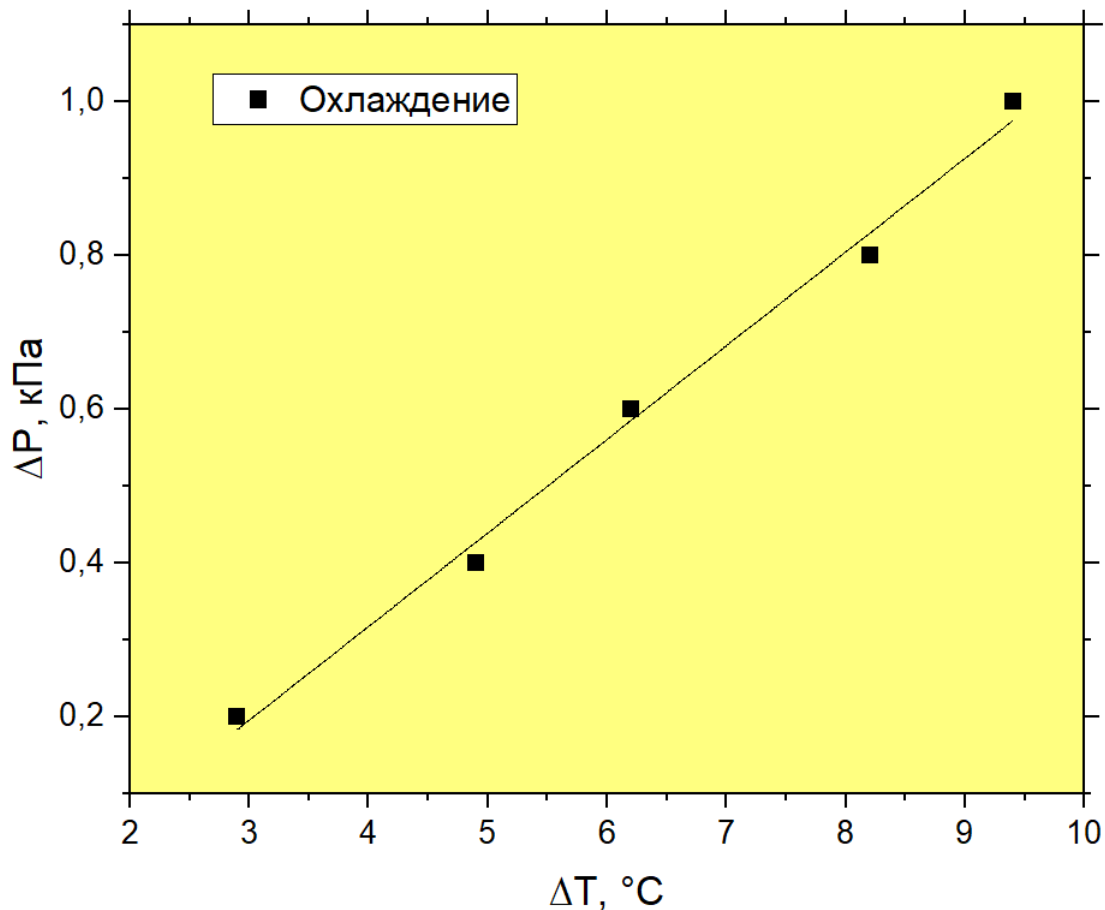
$$\Delta T_3 = 1,3$$

$$\Delta T_4 = 2,0$$

$$\Delta T_5 = 1,2$$

Построим графики  $P(T)$ :





Полученные коэффициенты:

$$\kappa_{\text{нагрев}} \approx 0.5 \cdot 10^{-3}$$

$$\kappa_{\text{охл}} \approx 1,2 \cdot 10^{-3}$$

При ожидаемом коэффициенте:

$$\kappa = \frac{1}{273} \approx 3.5 \cdot 10^{-3}$$

## Выводы и анализ результатов

Наша команда молодых студентов провела опыт по экспериментальному исследованию истинности закона Шарля при условиях, близким к нормальным. Мы нагревали газ в герметичном сосуде, поэтапно увеличивая его объём дабы избежать фатального влияния «конструктивных особенностей» установки на результат. Под «конструктивными особенностями» мы имеем ввиду современную систему нагрева «DoubleResistor», запатентованную отечественным производителем высококлассного лабораторного оборудования «Зарница», а так же топологические свойства герметичной конструкции: <https://ibb.co/qkq6HPR>.

Вообще, для проверки закона Шарля необходимо измерять изменения давления и температуры при постоянном объёме. Однако, благодаря оригинальному подходу, описанному выше, выходит, что мы создавали

малые изменения объёма при не очень больших изменениях давления. Быть может просто инженерами «Зарницы» подразумевался более общий случай, нежели  $V = \text{const}$ ? Ведь можно предположить, что если усреднить давление и оперировать изменениями температуры и объёма, то появляется возможность исследовать ещё и закон Гей-Люссака! Жаль, только, что это так не работает. Видимо наша команда не в силах осознать порывы московских инженеров в силу возраста. Но мы всё равно верим в чистоту их намерений.

Ясно, что при охлаждении у нас была та же стратегия с одним лишь отличием: объем мы уже уменьшали. Перейдём к анализу результатов.

Коэффициент, который мы получили при охлаждении газа имеет примерно в 2.5 раз большее значение, чем коэффициент, полученный при нагревании. Это закономерный результат. Следующие тезисы выступают в пользу того, что при охлаждении коэффициент должен получиться ближе к ожидаемому:

- 1) Положение нагревателя в системе: он находится на нижней стенке сосуда. Это означает, что через газ устанавливается тепловой поток и разные слои газа в один и тот же момент находятся в разных квазиравновесных состояниях.
- 2) Охлаждение – более равновесный процесс, чем нагревание.
- 3) Газ мы полагаем идеальным, что, в общем, тоже вносит свой отпечаток на результат.

В итоге и такая разница. К слову, не очень большая, порядок у двух коэффициентов один и тот же.