

Лабораторная работа №2.1.2  
Определение  $C_p/C_v$  методом адиабатического расширения

Рожков А. В.  
Преподаватель Яворский В. А.

5 мая 2024 г.

**Цель работы:** определение отношения  $C_p/C_v$  углекислого газа по измерения давления в стеклянном сосуде. Измерения производятся сначала после адиабатического расширения газа а затем после нагревания сосуда и газа до комнатной температуры.

**В работе используются:** стеклянный сосуд; U-образный водяной манометр  $\sigma_h = 0.2$  см.вод.ст.; газгольдер с углекислым газом; секундомер  $\sigma_t = 0.3$  с.

## 1 Экспериментальная установка

Используемая для опытов экспериментальная установка состоит из стеклянного сосуда А (объёмом около 20 л), снабженного краном К, и U-образного жидкостного манометра, измеряющего избыточное давление газа в сосуде. Схема установки показана на Рис. 1.

Избыточное давление создаётся с помощью резиновой груши, соединённой с сосудом трубкой с краном  $K_1$ .

В начале опыта в стеклянном сосуде А находится исследуемый газ при комнатной температуре  $T_1$  и давлении  $P_1$ , несколько превышающем атмосферное давление  $P_0$ . После открытия крана К, соединяющего сосуд А с атмосферой, давление и температура газа будут понижаться. Это уменьшение температуры приближённо можно считать адиабатическим.

Для адиабатического процесса можно записать следующее уравнение:

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\gamma}, \quad (1)$$

где индексом "1" обозначено состояние после повышения давления в сосуде и выравнивания температуры с комнатной, а индексом "2" — сразу после открытия крана и выравнивания давления с атмосферным.

После того, как кран К вновь отсоединит сосуд от атмосферы, происходит медленное изохорическое нагревание газа со скоростью, определяемой теплопроводностью стеклянных стенок сосуда.

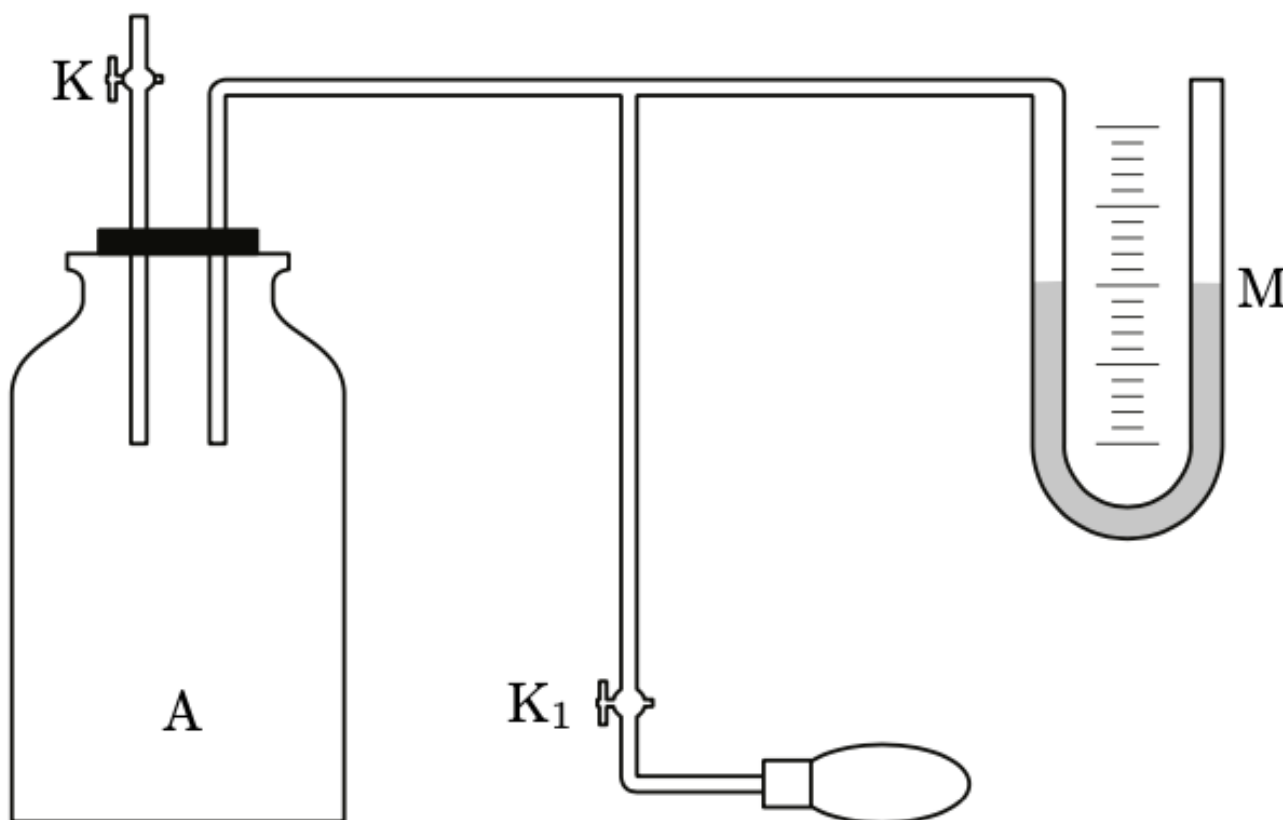


Рис. 1: Установка для определения  $C_p/C_v$  методом адиабатического расширения газа

Вместе с ростом температуры растёт и давление газа. З время порядка  $\Delta t_T$  (время установления температуры) система достигает равновесия, и установившаяся температура газа  $T_3$  становится равной комнатной температуре  $T_1$ .

Тогда используя закон Гей-Люссака для изохорического процесса и уравнение (1) найдём  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{\ln(P_1/P_0)}{\ln(P_1/P_3)}. \tag{2}$$

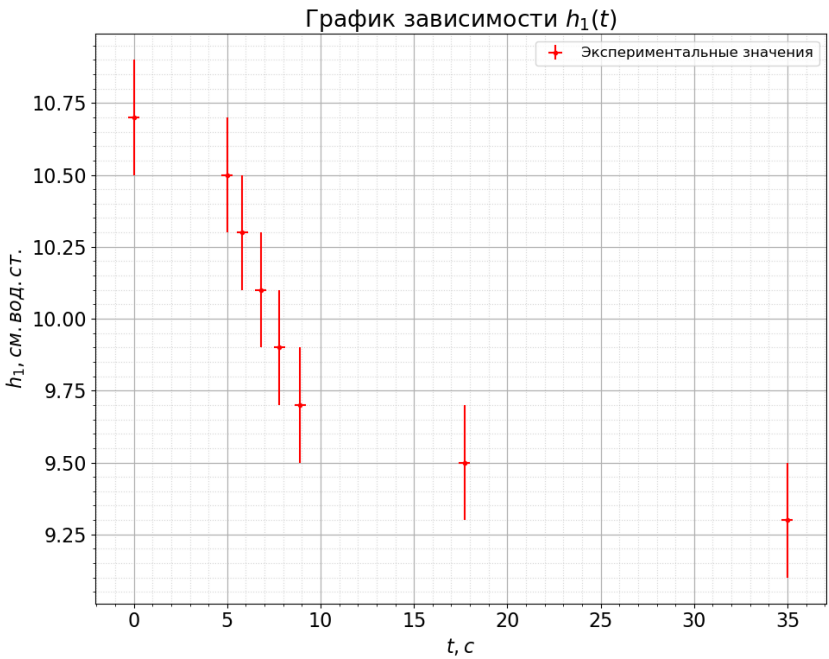
С учётом того, что  $P_i = P_0 + \rho gh_i$  и пренебрегая членами второго порядка малости получим из (2):

$$\gamma \approx \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \tag{3}$$

## 2 Ход работы

### 2.1 Проверка герметичности установки и определение времени установления равновесия

Открываем кран между баллоном и газгольдером с углекислым газом. Увеличение давления в сосуде сопровождается повышением температуры. По манометру давление составляет 10.7 мм.вод.ст.. После закрытия крана давление начинает падать в связи с охлаждением углекислого газа от стенок сосуда. Зависимость давления от времени представлено на графике 2 и в таблице 1.



$t, \text{с}$	$h_1, \text{см. вод. ст.}$
0.0	10.7
5.0	10.5
5.8	10.3
6.8	10.1
7.8	9.9
8.9	9.7
17.7	9.5
35.0	9.3

Таблица 1: Зависимость давления от времени

Рис. 2: График зависимости давления от времени

Давление установилось через 35 секунд. Наблюдали ещё 55 секунд, показания не менялись. Для следующих измерений возьмём время установления равновесия  $\Delta t_T = 70 \text{ с}$ .

### 2.2 Измерение показателя адиабаты для разных времён открытия крана

После наполнения баллона ждём время  $\Delta t_T$ . Фиксируем давление  $h_1$  и открываем кран с атмосферой на  $\Delta t_p \sim 0.5 \text{ с}$  (это время достигается быстрым поворотом крана на  $180^\circ$ ). Затем снова ждём время  $\Delta t_T$  и фиксируем  $h_2$ . Проведём серию из 10 измерений. Результаты в таблице 2.

Приборная погрешность показателя адиабаты по формуле:

$$\sigma_{\gamma}^{\text{приб}} = \sigma_h \frac{\gamma}{h_1 - h_2} \sqrt{\left(\frac{h_2}{h_1}\right)^2 + 1}$$

$h_1$ , см.вод.ст.	$h_2$ , см.вод.ст.	$\gamma$
9.3	2.0	$(1.27 \pm 0.04)$
9.3	2.0	$(1.27 \pm 0.04)$
9.5	2.2	$(1.30 \pm 0.04)$
9.5	2.2	$(1.30 \pm 0.04)$
9.3	2.0	$(1.27 \pm 0.04)$
9.5	2.2	$(1.30 \pm 0.04)$
9.5	2.4	$(1.34 \pm 0.04)$
9.5	2.2	$(1.30 \pm 0.04)$
9.3	2.2	$(1.31 \pm 0.04)$
9.5	2.4	$(1.34 \pm 0.04)$
<b>Среднее:</b>		<b><math>(1.30 \pm 0.04)</math></b>

Таблица 2: Показатель адиабаты для  $\Delta t_p \sim 0.5$  с

Далее аналогично проведём по 2 измерения для различных времён открытия крана.

$h_1$ , см.вод.ст.	$h_2$ , см.вод.ст.	$\gamma$
9.5	2.2	$(1.30 \pm 0.04)$
9.5	2.4	$(1.34 \pm 0.04)$
<b>Среднее:</b>		<b><math>(1.32 \pm 0.04)</math></b>

$h_1$ , см.вод.ст.	$h_2$ , см.вод.ст.	$\gamma$
9.5	2.2	$(1.30 \pm 0.04)$
9.3	2.0	$(1.27 \pm 0.04)$
<b>Среднее:</b>		<b><math>(1.29 \pm 0.04)</math></b>

Таблица 3: Показатель адиабаты для  $\Delta t_p \sim 2$  с

Таблица 4: Показатель адиабаты для  $\Delta t_p \sim 4$  с

$h_1$ , см.вод.ст.	$h_2$ , см.вод.ст.	$\gamma$
9.1	1.8	$(1.25 \pm 0.03)$
9.5	2.0	$(1.27 \pm 0.03)$
<b>Среднее:</b>		<b><math>(1.26 \pm 0.04)</math></b>

$h_1$ , см.вод.ст.	$h_2$ , см.вод.ст.	$\gamma$
9.5	1.8	$(1.23 \pm 0.03)$
9.1	1.8	$(1.25 \pm 0.03)$
<b>Среднее:</b>		<b><math>(1.24 \pm 0.03)</math></b>

Таблица 5: Показатель адиабаты для  $\Delta t_p \sim 6$  с

Таблица 6: Показатель адиабаты для  $\Delta t_p \sim 8$  с

$h_1$ , см.вод.ст.	$h_2$ , см.вод.ст.	$\gamma$
9.3	1.8	$(1.24 \pm 0.03)$
9.3	1.6	$(1.21 \pm 0.03)$
<b>Среднее:</b>		<b><math>(1.22 \pm 0.04)</math></b>

Таблица 7: Показатель адиабаты для  $\Delta t_p \sim 10$  с

### 2.3 Получение окончательного результата экстраполяцией зависимости $\gamma$ от $\Delta t_p$ к значению $\Delta t_p = 0$

Построим график  $\gamma(\Delta t_p)$  и по нему при помощи МНК определим значение  $\gamma$  углекислого газа. Полная погрешность результата по формуле:

$$\sigma_{\gamma_{\text{итог}}} = \sqrt{\sigma_{\gamma}^2 + (\Delta t_p \sigma_k)^2 + (k \sigma_{\Delta t_p})^2 + \sigma_k^{\text{случ}^2}}$$

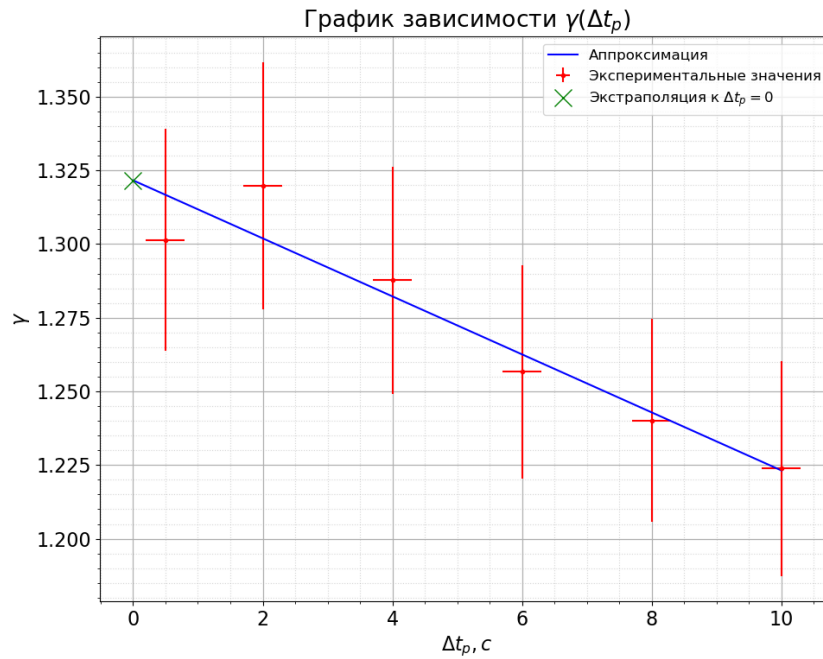


Рис. 3: График зависимости  $\gamma$  от  $\Delta t_p$

Итого:

$$\gamma_{\text{итог}} = (1.32 \pm 0.04)$$

Табличное значение показателя адиабаты для углекислого газа составляет 1.30.

### 3 Вывод

Определили отношение  $C_p/C_v$  углекислого газа по измерению давления в стеклянном сосуде.

Результат совпал с табличным значением в пределах погрешности. Значит метод экстраполяции зависимости к нулевому времени истечения газа оправдан, так как полученное значение при наибольшем времени открытия крана (10 с) составило  $1.22 \pm 0.04$ , что существенно отличается от табличного значения.