

Решение

Задание 10-1. Влажный воздух

Оборудование. Для каждого участника: набор для изучения газовых законов в сборе (комплектация: колба с отводом, пробка резиновая с электронным термометром, Т-образный штуцер с пластиковыми трубками на двух краях, манометр (предел измерения 300мм.рт.ст), шприц пластмассовый (60мл, поршень должен быть установлен на отметку «0»), в колбу перед сборкой установки должно быть налито 2 - 3мл воды комнатной температуры), контейнер пластиковый (1,8л), кружка пластиковая (1,0л), салфетки бумажные для удаления капель воды. **На кабинет:** барометр, ведро с горячей водой (2шт, по 10л), чайник электрический (2шт), термометр для определения температуры воды в вёдрах (в вёдрах температура воды должна быть 60 - 65°C), на каждого участника должно быть приготовлено 1,0л горячей воды.

Внимание: Колба должна находиться или в картонной коробке или в пластиковом контейнере. Ни в коем случае не ставьте колбу просто на стол, она не устойчива, упадёт и разобьётся. Электронный термометр включается и выключается нажатием красной кнопки. При длительной работе термометр может сам выключиться. Повторное включение осуществляется нажатием красной кнопки.*

Часть 1. Теоретическая

1.1 Пусть в цилиндре закрытом подвижным поршнем находится идеальный газ. В начальный момент давление в цилиндре P , объём газа V . Пусть изотермически объём цилиндра увеличился на малую величину ΔV , а давление изменилось на малую величину ΔP . Получите уравнение зависимости $|\Delta P|(\Delta V)$. *Подсказка:* произведением малых величин можно пренебречь.* Какой математический вид имеет эта зависимость?

Если не знаете как получить уравнение не теряйте время, приступайте к выполнению следующих пунктов.

Погрешности в данной задаче вычислять не нужно. Проверьте есть ли в колбе 2-3мл воды. Если нет, обратитесь к организаторам олимпиады, чтобы они добавили воду в колбу.

Объём воздуха в экспериментальной установке при положении поршня шприца на отметке «0» $V_1 = 710\text{см}^3$, плотность ртути $\rho = 13,6\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, $g = 9,81\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Часть 2. Экспериментальная

2.1 Определите атмосферное давление P_0 , температуру T_0 и относительную влажность φ воздуха в колбе.

Внимание! Сейчас Вам нужно будет провести экспериментальное исследование. Сначала обдумайте, заготовьте таблицу, а потом выполняйте.*

2.2 Перед началом эксперимента колба должна находиться в картонной коробке. Наполните контейнер горячей водой (объём воды 0,7 - 0,8л). Поместите колбу в горячую воду, при этом придерживайте колбу, она будет всплывать. Наблюдайте за показаниями манометра и

термометра. (Если показания манометра через 5 - 10 с не стали изменяться, значит Ваша установка неисправна. Обратитесь за помощью к организаторам олимпиады.) Прогрейте колбу несколько минут. Дождитесь чтобы показания термометра перестали увеличиваться (показания могут меняться на $0,1^{\circ}\text{C}$ в большую и меньшую сторону вблизи некоторого значения). Под давлением воздуха поршень шприца может сместиться. Верните поршень на отметку «0» и удерживайте его рукой. Если показания термометра не растут или стали немного уменьшаться, можно приступать к измерениям. Вам необходимо будет получить данные сразу для трёх параметров, то есть исследовать сразу две зависимости. Обозначим: P_m - показания манометра (мм.рт.ст.), ΔV - изменение объёма установки (объём воздуха в шприце (cm^3), t - температура воздуха в колбе ($^{\circ}\text{C}$). Исследуйте зависимости $P_m(\Delta V)$ и $P_m(t)$. Для этого последовательно смещайте поршень шприца на несколько делений и записывайте значения параметров. Если поршень шприца не смещается под давлением воздуха, то сдвигайте его самостоятельно. Результаты оформите таблично. *Внимание!* После окончания эксперимента колбу поставьте в коробку.*

2.3 Вычислите работу воздуха при расширении.

2.4 Определите математический вид зависимости $|\Delta P|(\Delta V)$, где $|\Delta P| = P_{m1} - P_{mi}$, P_{m1} - показания манометра при наибольшей температуре, P_{mi} - показания манометра при i -том измерении. Запишите уравнение зависимости $|\Delta P|(\Delta V)$ с числовыми коэффициентами. Сравните полученное уравнение с уравнением, полученным в п.1.1. Можно ли считать процесс, исследованный в п.2.2, изотермическим, если пренебречь изменением температуры? Почему?

2.5 Постройте график зависимости $\Delta \nu(\Delta V)$, где $\Delta \nu = \nu_1 - \nu_i$, ν_1 - количество вещества в экспериментальной установке при наибольшей температуре, ν_i - количество вещества при i -том измерении. Как изменялось количество вещества газа в экспериментальной установке в ходе эксперимента? В чём физическая причина этого изменения?

Часть 3. Гипотетическая

Предположим, что колба была бы без воды (с воздухом влажности такой как в кабинете).

3.1 Какое бы давление P'_1 установилось бы в колбе если бы воздух прогрелся до наибольшей температуры в Вашем эксперименте.

3.2 Определите математический вид зависимости $|\Delta P'|(\Delta V)$, где $|\Delta P'| = P'_1 - P'_i$, P'_i - давление воздуха при значении температуры и объёма воздуха в колбе для i -того измерения. Запишите уравнение зависимости $|\Delta P'|(\Delta V)$ с числовыми коэффициентами.

3.3 Сравните графики построенные в п. 2.4 и п. 3.2. Чем отличаются эти графики и в чём физическая причина этих отличий?

Задание 10-1. Влажный воздух

Решение

Часть 1. Теоретическая

1.1 Уравнение изотермического процесса для двух состояний воздуха в колбе:

$$PV = (P - |\Delta P|)(V + \Delta V). \quad (1)$$

Раскроем скобки:

$$PV = PV - |\Delta P|V + P\Delta V - |\Delta P|\Delta V. \quad (2)$$

В уравнении (2) пренебрегаем $|\Delta P|\Delta V$ как произведением малых величин, получим:

$$|\Delta P| = \frac{P}{V}\Delta V. \quad (3)$$

Часть 2. Экспериментальная

2.1 $P_0 = (734 \pm 1)$ мм. рт. ст., $t_0 = (21,9 \pm 0,1)^\circ\text{C}$, $\varphi = 100\%$.

2.2 2.3

Таблица 1. Значения параметров			
№	$\Delta V,$ см^3	$P_m,$ мм.рт.ст.	$t^\circ\text{C}$
1	0,0	110	44,1
2	5,0	102	44,0
3	10,0	96	44,0
4	15,0	85	43,9
5	20,0	77	43,8
6	25,0	70	43,8
7	30,0	60	43,7
8	35,0	50	43,3
9	40,0	43	43,0
10	45,0	34	42,7
11	50,0	24	42,4
12	55,0	16	42,1
13	60,0	8	41,8

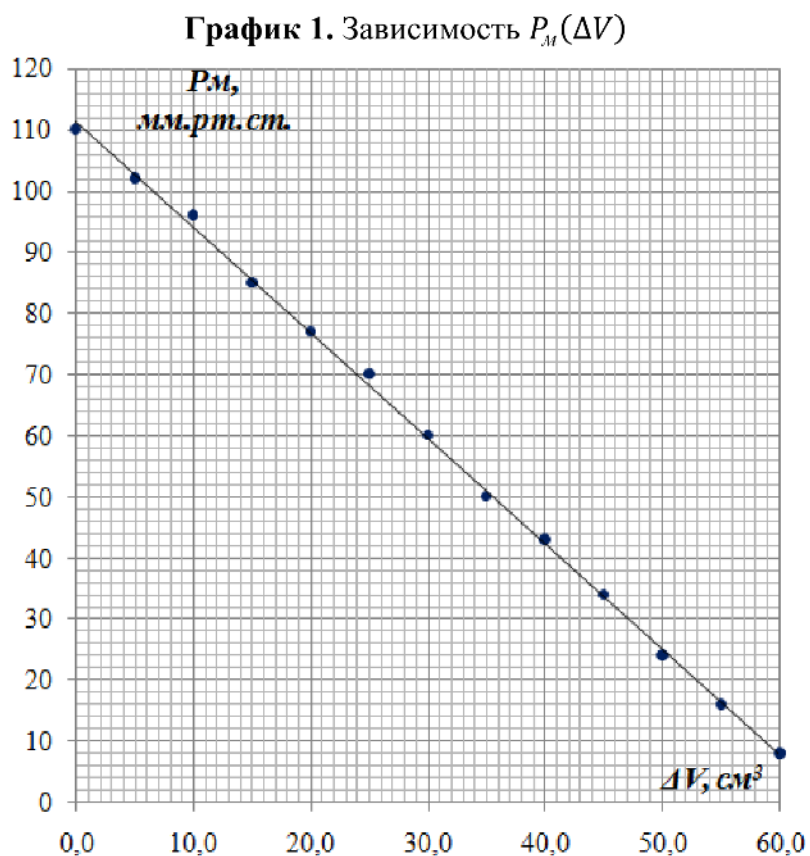
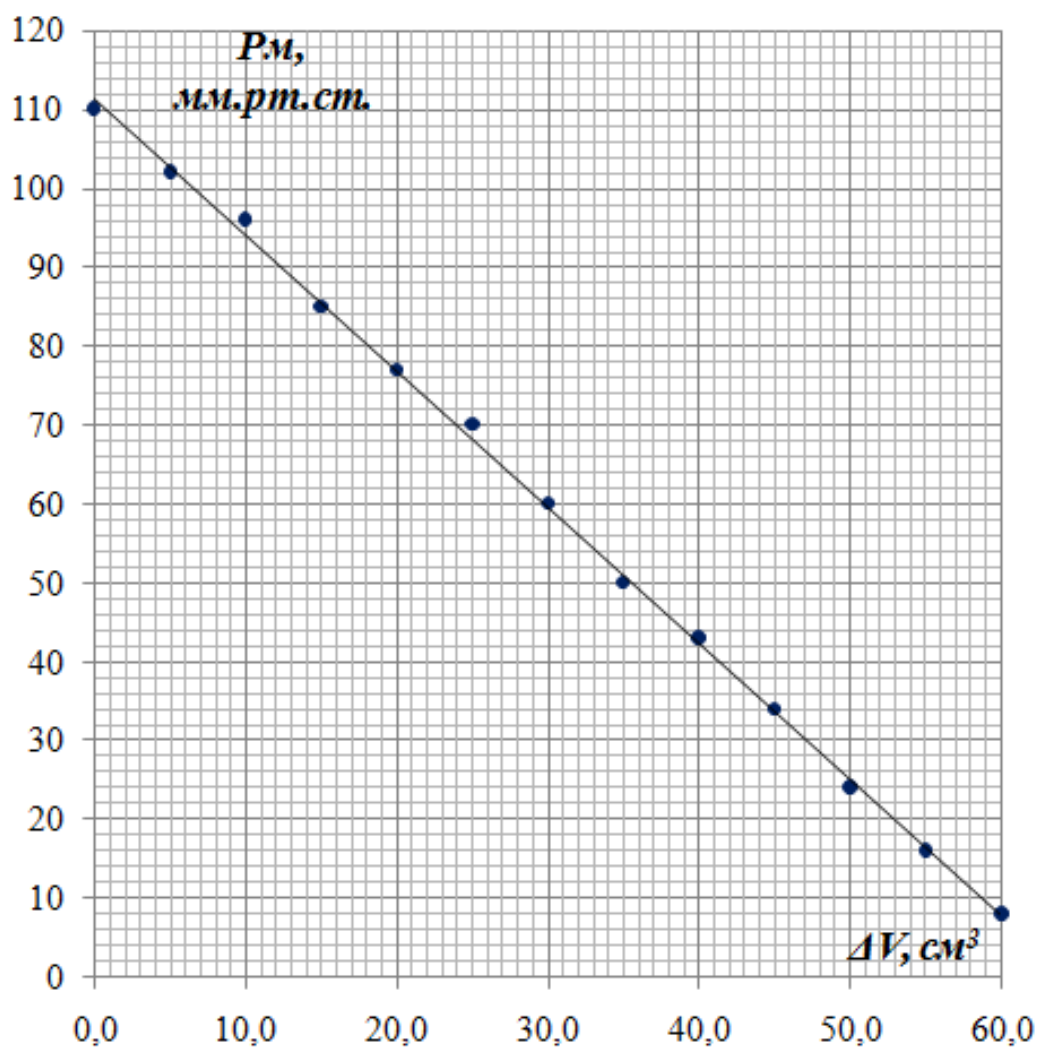


Таблица 1. Значения параметров

№	$\Delta V, \text{ см}^3$	$P_m, \text{ мм.рт.ст}$	$t^\circ\text{C}$
1	0,0	110	44,1
2	5,0	102	44,0
3	10,0	96	44,0
4	15,0	85	43,9
5	20,0	77	43,8
6	25,0	70	43,8
7	30,0	60	43,7
8	35,0	50	43,3
9	40,0	43	43,0
10	45,0	34	42,7
11	50,0	24	42,4
12	55,0	16	42,1
13	60,0	8	41,8



Построим график зависимости $P_m(\Delta V)$. Видим что зависимость линейная. Используя простую графическую обработку (ПГО) определяем: $P_{max} = 111 \text{ мм.рт.ст.}$, $P_{min} = 8 \text{ мм.рт.ст.}$, $\Delta V_{max} = 60,0 \text{ см}^3$. Работу воздуха при расширении определим как:

$$A = \frac{P_{max} + P_{min}}{2} \Delta V_{max} + P_0 \Delta V_{max} = \left(\frac{P_{max} + P_{min}}{2} + P_0 \right) \Delta V_{max}. \quad (4)$$

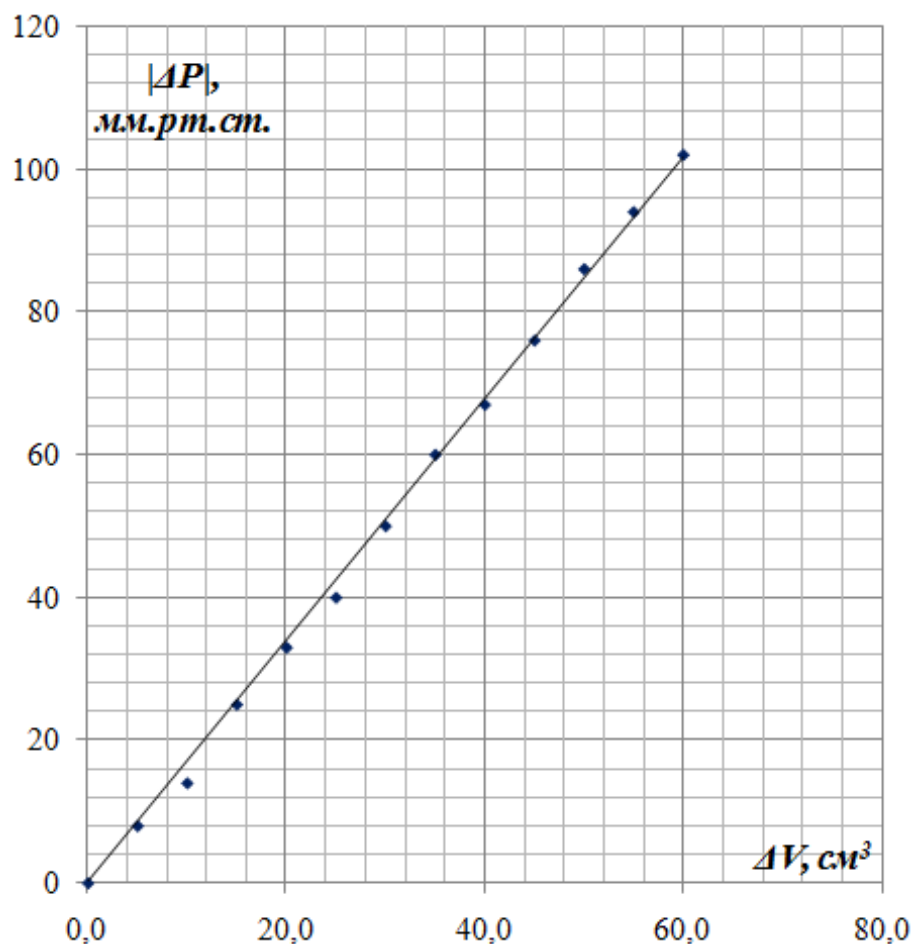
Давление переводим в паскали, объём в метры кубические, получим:

$$A = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \left(\frac{0,111\text{м} + 0,008\text{м}}{2} + 0,734\text{м} \right) \cdot 60,0 \cdot 10^{-6} \text{м}^3 = 6,4 \text{Дж}.$$

2.4 Определим значения $|\Delta P|$ и построим график зависимости $|\Delta P|(\Delta V)$.

Таблица 2. Зависимость $|\Delta P|(\Delta V)$

ΔV , см ³	$ \Delta P $, мм.рт.ст.		
0,0	0		
5,0	8		
10,0	14		
15,0	25		
20,0	33		
25,0	40		
30,0	50		
35,0	60		
40,0	67		
45,0	76		
50,0	86		
55,0	94		
60,0	102		



Из графика видим, что зависимость $|\Delta P|(\Delta V)$, прямо пропорциональная. Используя ПГО, определим угловой коэффициент наклона усредняющей прямой:

$$k = 1,7 \frac{\text{мм. рт. ст.}}{\text{см}^3}.$$

Уравнение зависимости $|\Delta P|(\Delta V)$ с числовыми коэффициентами запишется:

$$|\Delta P| = 1,7\Delta V \quad (\text{мм. рт. ст.}). \quad (5)$$

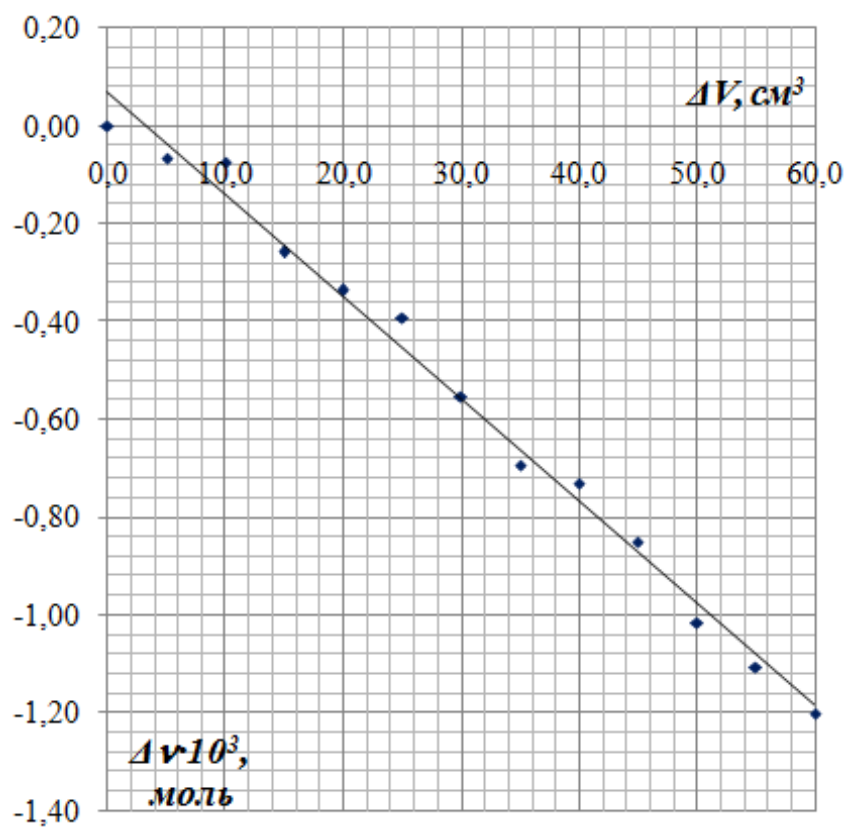
Уравнения (3) и (5) выражают прямо пропорциональную зависимость $|\Delta P|(\Delta V)$, однако, процесс исследованный в п.2.2 изотермическим считать нельзя, так как в ходе процесса изменяется количество вещества, а это как увидим в дальнейшем существенно влияет на значение углового коэффициента усредняющей прямой.

2.5 ν_i определим, используя уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$\nu_i = \frac{P_i V_i}{RT_i} = \frac{(P_0 + P_{\text{ми}})(V_1 + \Delta V_i)}{R(273 + t_i)}. \quad (6)$$

Результаты вычислений представлены в таблице 3

Таблица 3. Зависимость $\Delta \nu(\Delta V)$



№	$\Delta V, \text{cm}^3$	$\Delta \nu \cdot 10^3, \text{моль}$
1	0,0	0,00
2	5,0	-0,07
3	10,0	-0,07
4	15,0	-0,26
5	20,0	-0,34
6	25,0	-0,39
7	30,0	-0,55
8	35,0	-0,69
9	40,0	-0,73
10	45,0	-0,85
11	50,0	-1,02
12	55,0	-1,11
13	60,0	-1,20

Из таблицы и графика видим, что количество вещества газа в ходе эксперимента линейно убывало с увеличением объёма установки. Физическая причина этого в том, что с увеличением объёма установки уменьшалась и температура воздуха в

колбе, что приводило к конденсации водяного пара и уменьшению количества вещества данной компоненты.

Часть 3. Гипотетическая

3.1 С воздухом происходил бы изохорный процесс, поэтому давление P'_1 вычислим используя

уравнение изохорного процесса:

$$P'_1 = P_0 \frac{T_1}{T_0} = 734 \text{ мм. рт. ст.} \cdot \frac{(273 + 44,1) \text{ К}}{(273 + 21,9) \text{ К}} = 789 \text{ мм. рт. ст.} \quad (7)$$

3.2 Значения P'_i определим используя уравнение Клапейрона:

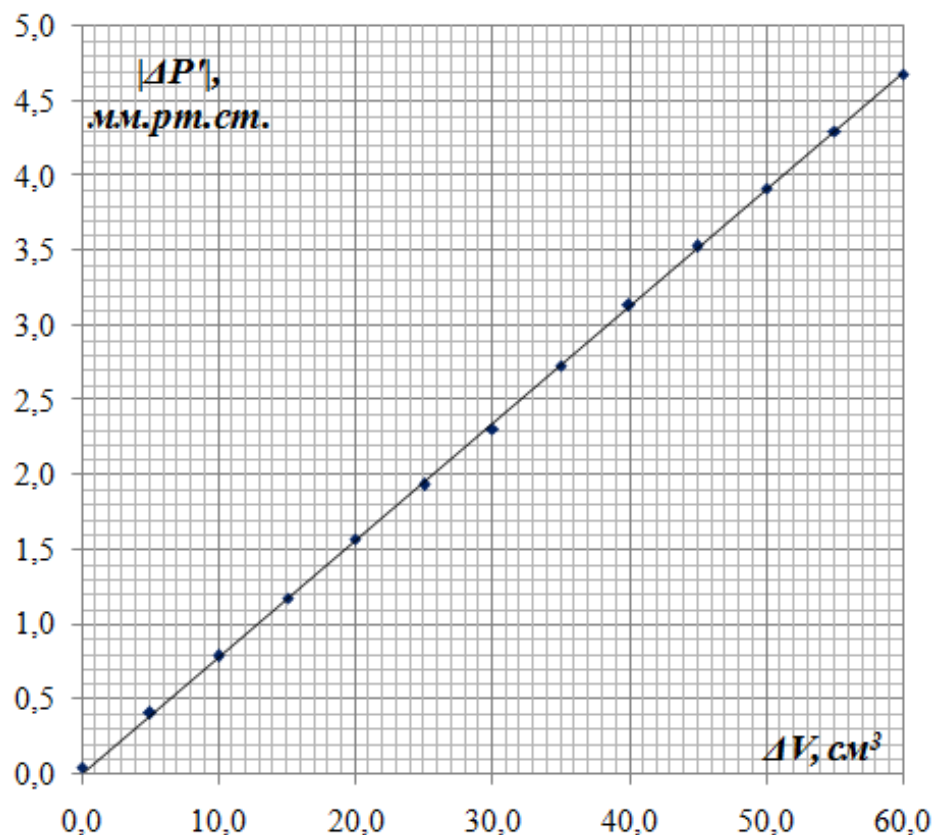
$$P'_i = \frac{P'_1 V_1 (273 + t_i)}{(273 + t_1)(V_1 + \Delta V_i)} \quad (8)$$

Вычислим значения $|\Delta P'|$. Результаты представлены в таблице 4. Построим график зависимости $|\Delta P'|(\Delta V)$

Таблица 4. Зависимость $|\Delta P'|(\Delta V)$

№	ΔV , см ³	$ \Delta P' $ мм.рт.ст.		
1	0,0	0,0		
2	5,0	0,4		
3	10,0	0,8		
4	15,0	1,2		
5	20,0	1,6		
6	25,0	1,9		
7	30,0	2,3		
8	35,0	2,7		
9	40,0	3,1		
10	45,0	3,5		
11	50,0	3,9		
12	55,0	4,3		
13	60,0	4,7		

График 4. Зависимость $|\Delta P'|(\Delta V)$



Из графика видим, что зависимость $|\Delta P'|(\Delta V)$, прямо пропорциональная. Используя ПГО, определим угловой коэффициент наклона усредняющей прямой:

$$k = 0,078 \frac{\text{мм. рт. ст.}}{\text{см}^3}.$$

Уравнение зависимости $|\Delta P'|(\Delta V)$ с числовыми коэффициентами запишется:

$$|\Delta P'| = 0,078 \Delta V \quad (\text{мм. рт. ст.}). \quad (9)$$

3.3 Графики построенные в п. 2.4 и п. 3.2. отличаются значением угловых коэффициентов усредняющих прямых. Причина данного отличия в том, что в эксперименте п.2.2 в газовой смеси, содержащейся в колбе, одной из компонент является насыщенный водяной пар, что приводит к большему значению давления в колбе и к большему изменению давления в результате конденсации пара.