

Вывод: Для того, чтобы найти момент инерции маятника Обербека необходимо подставить значения в формулу, необходимо учитывать как случайные погрешности, так и погрешности приборов.

А.И.И.

Лабораторная работа 1.18

Проверка закона Бойля-Мариотта

Теоретическое введение

Состояние некоторой массы m идеального газа определяется тремя термодинамическими параметрами: давлением P , объёмом V и температурой T . Между этими параметрами существует определённая связь, называемая уравнением состояния

$$\frac{PV}{T} = \text{const}$$

Многие газы при комнатной температуре и нормальном давлении можно считать идеальными. Согласно модели идеального газа:

1) Собственный объём молекул газа пренебрежимо мал

по сравнению
молекулы

2) Потенциальная энергия
меньше

3) Столкновения
сосудов

Уравнение

газа, P

Клапейрон

$PV =$

одного

молекул

содержит

атомов

установлено

содержит

постоянную

Универсальная

Газовая

по сравнению с объемом, в котором находится газ, то есть молекулы можно считать материальными точками.

2) Потенциальная энергия взаимодействия молекул много меньше кинетической энергии их теплового движения.

3) Столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда являются абсолютно упругими.

Уравнение состояния некоторой массы m идеального газа, называемое также уравнением Менделеева-Клапейрона записывается следующим образом:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT = \nu RT, \text{ где } \mu - \text{молярная масса (масса}$$

одного моля вещества), ν - количество вещества (число

молей). Моль - это количество вещества, в котором

содержится число частиц (атомов, молекул), равное числу

атомов в $^{12}_6\text{C}$ изотопа углерода ^{12}C . Опытным путём

установлено, что в одном моле различных веществ

содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ частиц. Это число называется

постоянной Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Универсальная газовая постоянная R может быть

рассчитана по формуле: $R = \frac{P_0 V_M}{T_0} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

Закон Бойля-Мариотта описывает поведение идеального газа при постоянной температуре для данной массы газа.

$$PV = \text{const}, \text{ при } T = \text{const}, m = \text{const}$$

Кривая, изображающая зависимость между давлением P и объёмом V при постоянной температуре, называется изотермой.

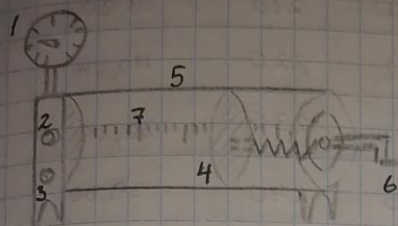
Описание аппаратуры и методики измерений

С помощью манометра измеряют давление P воздуха в цилиндрическом сосуде, значения давления представляется в кПа. Объём V воздуха в цилиндрическом сосуде изменяется за счёт движения поршня с помощью ручки. Этот объём вычисляется как произведение площади S поперечного сечения поршня на расстояние X , пройденное поршнем относительно положения нулевого объёма, измеряемое по шкале. Для точного анализа следует также учесть „мёртвый“ объём V_0 воздуха в манометре, величину которого невозможно измерить.

Схема

1.

Схема установки:



1. Манометр
2. Клапан
3. Клапан для сброса воздуха
4. Поршень
5. Цилиндрический сосуд
6. Шприц
7. Шкала измерений

Таблица измерений

1.

\bar{v}	$\nu, \text{ моль}$	$X, \text{ см}$	$V, \text{ см}^3$	$P, \text{ кПа}$	$PV, \text{ Па} \cdot \text{ м}^3$
1	0,0160	19,0	392	100	39,20
2	0,0159	17,0	353	110	38,83
3	0,0159	15,5	324	120	38,88
4	0,0161	14,4	302	130	39,26
5	0,0161	13,3	281	140	39,34
6	0,0161	12,4	263	150	39,45
7	0,0160	11,5	245	160	39,20
8	0,0162	10,9	233	170	39,64
9	0,0164	10,3	222	180	39,96
10	0,0163	9,7	210	190	39,90

11	0,0162	9,1	138	200	39,60
12	0,0163	8,7	190	210	39,90
13	0,0164	8,3	182	220	40,04
14	0,0163	7,8	173	230	39,79
15	0,0162	7,4	165	240	39,60
16	0,0163	7,1	159	250	39,75

2.

N°	$v_2, \text{молл}$	$x, \text{см}$	$V, \text{см}^3$	$P, \text{кПа}$	$PV, \text{Па} \cdot \text{м}^3$
1	0,0137	16,0	334	100	33,40
2	0,0135	17,7	367	90	33,03
3	0,0135	20,0	412	80	32,96
4	0,0135	17,7	367	90	33,03
5	0,0137	16,0	334	100	33,40
6	0,0136	14,4	302	110	33,22
7	0,0138	13,3	281	120	33,72
8	0,0139	12,3	261	130	33,93
9	0,0138	11,3	241	140	33,74
10	0,0142	10,8	231	150	34,65
11	0,0143	10,1	218	160	34,88
12	0,0143	9,5	206	170	35,02

$V_0 =$
 $d =$
1. V
 $V_2 =$
 $V_3 =$
 $V_4 =$
 $V_5 =$
 $V_6 =$
 $V_7 =$
 $V_8 =$

13	0,0141	8,8	192	180	34,56
14	0,0145	8,5	186	190	35,34
15	0,0146	8,1	178	200	35,60
16	0,0142	7,7	171	210	35,91
17	0,0149	7,4	165	220	36,30
18	0,0150	7,1	159	230	36,57
19	0,0150	6,8	153	240	36,72
20	0,0150	6,5	147	250	36,75

$$V = V_0 + X \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$V_0 = 20 \text{ cm}^3 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 = 0,00002 \text{ m}^3$$

$$d = 50 \text{ } \mu\text{m} = 0,05 \text{ m}$$

$$1. \quad V_1 = 2 \cdot 10^{-5} + 0,19 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,0025}{4} = 0,000392 \text{ m}^3$$

$$V_9 = 0,000222 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,000353 \text{ m}^3$$

$$V_{10} = 0,000210 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 0,000324 \text{ m}^3$$

$$V_{11} = 0,000198 \text{ m}^3$$

$$V_4 = 0,000302 \text{ m}^3$$

$$V_{12} = 0,000190 \text{ m}^3$$

$$V_5 = 0,000281 \text{ m}^3$$

$$V_{13} = 0,000182 \text{ m}^3$$

$$V_6 = 0,000263 \text{ m}^3$$

$$V_{14} = 0,000173 \text{ m}^3$$

$$V_7 = 0,000245 \text{ m}^3$$

$$V_{15} = 0,000165 \text{ m}^3$$

$$V_8 = 0,000233 \text{ m}^3$$

$$V_{16} = 0,000159 \text{ m}^3$$

Handwritten signature

$V_1 = 0,000334 \mu^3$	$V_{11} = 0,000218 \mu^3$
$V_2 = 0,000367 \mu^3$	$V_{12} = 0,000206 \mu^3$
$V_3 = 0,000412 \mu^3$	$V_{13} = 0,000192 \mu^3$
$V_4 = 0,000367 \mu^3$	$V_{14} = 0,000186 \mu^3$
$V_5 = 0,000334 \mu^3$	$V_{15} = 0,000178 \mu^3$
$V_6 = 0,000302 \mu^3$	$V_{16} = 0,000171 \mu^3$
$V_7 = 0,000281 \mu^3$	$V_{17} = 0,000165 \mu^3$
$V_8 = 0,000261 \mu^3$	$V_{18} = 0,000159 \mu^3$
$V_9 = 0,000241 \mu^3$	$V_{19} = 0,000153 \mu^3$
$V_{10} = 0,000231 \mu^3$	$V_{20} = 0,000147 \mu^3$

1. PV

$PV_1 = 100 \cdot 10^3 \cdot 392 \cdot 10^{-6} = 39,20 \text{ Па} \cdot \mu^3$	$PV_9 = 39,96 \text{ Па} \cdot \mu^3$
$PV_2 = 38,83 \text{ Па} \cdot \mu^3$	$PV_{10} = 39,90 \text{ Па} \cdot \mu^3$
$PV_3 = 38,88 \text{ Па} \cdot \mu^3$	$PV_{11} = 39,60 \text{ Па} \cdot \mu^3$
$PV_4 = 39,26 \text{ Па} \cdot \mu^3$	$PV_{12} = 39,90 \text{ Па} \cdot \mu^3$
$PV_5 = 39,34 \text{ Па} \cdot \mu^3$	$PV_{15} = 40,04 \text{ Па} \cdot \mu^3$
$PV_6 = 39,45 \text{ Па} \cdot \mu^3$	$PV_{14} = 39,79 \text{ Па} \cdot \mu^3$
$PV_7 = 39,20 \text{ Па} \cdot \mu^3$	$PV_{15} = 39,60 \text{ Па} \cdot \mu^3$
$PV_8 = 39,61 \text{ Па} \cdot \mu^3$	$PV_{16} = 39,75 \text{ Па} \cdot \mu^3$

$$2. PV_1 = 100 \cdot 10^3 \cdot 334 \cdot 10^{-6} = 33,40 \text{ Па} \cdot \text{м}^3 \quad PV_{11} = 34,88 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_2 = 33,03 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{12} = 35,02 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_3 = 32,96 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{13} = 34,56 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_4 = 33,03 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{14} = 35,34 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_5 = 33,40 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{15} = 35,60 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_6 = 33,22 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{16} = 35,91 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_7 = 33,72 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{17} = 36,30 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_8 = 33,93 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{18} = 36,57 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_9 = 33,74 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{19} = 36,72 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{10} = 34,65 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{20} = 36,75 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$1. t_{\text{ком}} = 20^\circ\text{C} \quad T_{\text{ком}} = 293,15 \text{ K} \quad PV = \nu RT \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \nu = \frac{PV}{RT}, \quad RT = 293,15 \cdot 8,31 = 2436$$

$$\nu_1 = 0,0160 \text{ моль}$$

$$\nu_8 = 0,0162 \text{ моль}$$

$$\nu_{15} = 0,0162 \text{ моль}$$

$$\nu_2 = 0,0159 \text{ моль}$$

$$\nu_9 = 0,0164 \text{ моль}$$

$$\nu_{16} = 0,0163 \text{ моль}$$

$$\nu_3 = 0,0159 \text{ моль}$$

$$\nu_{10} = 0,0163 \text{ моль}$$

$$\nu_4 = 0,0161 \text{ моль}$$

$$\nu_{11} = 0,0162 \text{ моль}$$

$$\nu_5 = 0,0161 \text{ моль}$$

$$\nu_{12} = 0,0163 \text{ моль}$$

$$\nu_6 = 0,0161 \text{ моль}$$

$$\nu_{13} = 0,0164 \text{ моль}$$

$$\nu_7 = 0,0160 \text{ моль}$$

$$\nu_{14} = 0,0163 \text{ моль}$$

$$2. \nu_1 = 0,0137 \text{ моль}$$

$$\nu_2 = 0,0135 \text{ моль}$$

$$\nu_3 = 0,0135 \text{ моль}$$

$$\nu_4 = 0,0135 \text{ моль}$$

$$\nu_5 = 0,0137 \text{ моль}$$

$$\nu_6 = 0,0136 \text{ моль}$$

$$\nu_7 = 0,0138 \text{ моль}$$

$$\nu_8 = 0,0139 \text{ моль}$$

$$\nu_9 = 0,0138 \text{ моль}$$

$$\nu_{10} = 0,0142 \text{ моль}$$

$$\nu_{11} = 0,0143 \text{ моль}$$

$$\nu_{12} = 0,0143 \text{ моль}$$

$$\nu_{13} = 0,0141 \text{ моль}$$

$$\nu_{14} = 0,0145 \text{ моль}$$

$$\nu_{15} = 0,0146 \text{ моль}$$

$$\nu_{16} = 0,0147 \text{ моль}$$

$$\nu_{17} = 0,0149 \text{ моль}$$

$$\nu_{18} = 0,0150 \text{ моль}$$

$$\nu_{19} = 0,0150 \text{ моль}$$

$$\nu_{20} = 0,0150 \text{ моль}$$

$$1. E = \frac{\Delta(PV)}{PV} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta X}{X} + 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta \pi}{\pi}$$

$$\Delta(PV) = E \cdot (PV), \Delta P = 5 \text{ кПа}, \Delta X = 0,5 \text{ мм}, \Delta d = 0,5 \text{ мм}, \Delta \pi = 0,005$$

$$P_{\text{ср}} = 175 \text{ кПа}, X_{\text{ср}} = 114 \text{ мм}, d = 50 \text{ мм}, \pi = 3,14$$

$$E = \frac{5}{175} + \frac{0,5}{114} + 2 \cdot \frac{0,5}{50} + \frac{0,005}{3,14} = 0,054$$

$$1. \Delta(PV_1) = E \cdot PV_1 = 0,054 \cdot 39,20 = 2,16$$

$$2. \Delta(PV_2) = E \cdot PV_2 = 0,054 \cdot 33,40 = 1,803$$

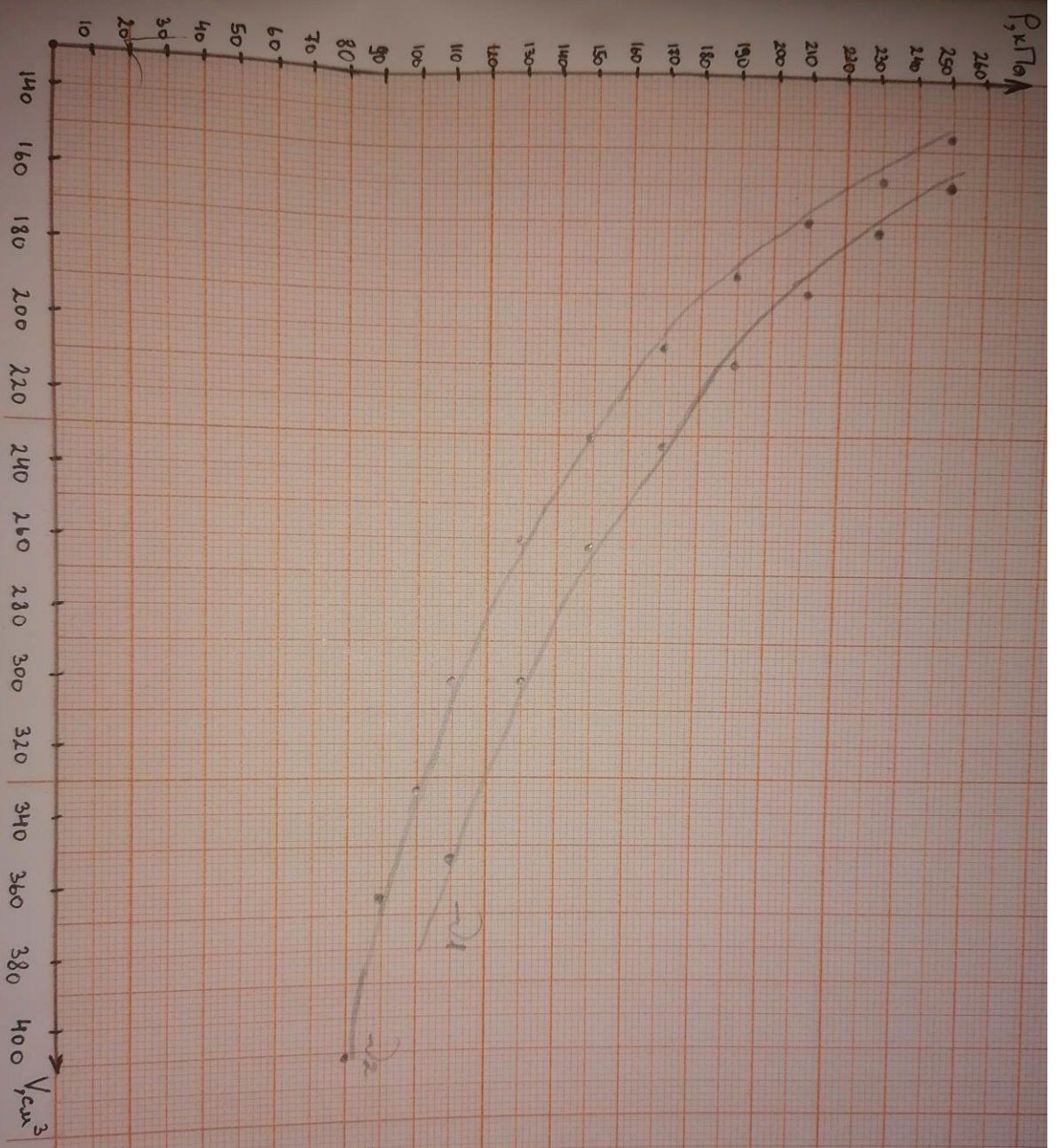
$$1. PV_{\text{min}} = 38,83 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{\text{min}} + \Delta(PV_1) = 38,830 + 2,16 = 40,996 > PV_{\text{max}}$$

$$PV_{\text{max}} = 40,04 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$$

$$PV_{\text{max}} - \Delta(PV_1) = 40,040 - 2,16 = 37,880 < PV_{\text{min}}$$

Закон Бойля-Мариотта выполняется.



Вывод: С помощью этого эксперимента мы убедились в выполнении закона Бойля-Мариотта для воздуха при комнатной температуре.

Контрольный вопрос №4 Какой процесс называется изотермическим?

Изотермический процесс — процесс, происходящий при постоянной температуре с определенной массой газа. Описывается законом Бойля-Мариотта.

Контрольный вопрос №1 Сформулируйте закон Бойля-Мариотта

При изотермическом процессе давление газа обратно пропорционально его объёму.