

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ, ОБЪЁМА И ПЛОТНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Поляков Даниил, Б07-ФЗ

**Цель работы:** ознакомление с измерительными приборами путём измерения размеров, объёма и массы тел различной формы с помощью штангенциркуля, микрометра, весов, применение разных методов измерения (прямых и косвенных), обеспечивающих различную точность.

#### Оборудование:

- Штангенциркуль с нониусом;
- Микрометр;
- Весы;
- Мерный стакан 100мл;
- Переливной стакан 400 мл;
- Стакан диаметром 7 см;
- Ёмкость с водой;
- Стальной шарик;
- Металлический цилиндр;
- Пенопластовый кубик;
- Деревянный параллелепипед;
- Медная проволока;
- Латунная проволока;
- Тело неправильной формы (металлическая гайка).

#### Расчётные формулы:

- Объём металлического шара:

$$V_{\text{ш}} = \frac{1}{6} \pi d_{\text{ш}}^3$$

$d_{\text{ш}}$  - диаметр шара.

- Объём металлического цилиндра:

$$V_{\text{ц}} = \frac{1}{4} \pi d_{\text{ц}}^2 h_{\text{ц}}$$

$d_{\text{ц}}$  - диаметр основания цилиндра;  
 $h_{\text{ц}}$  - высота цилиндра.

- Объём деревянного параллелепипеда:

$$V_{\text{п}} = a_{\text{п}} b_{\text{п}} c_{\text{п}}$$

$a_{\text{п}}, b_{\text{п}}, c_{\text{п}}$  – длины рёбер  
параллелепипеда.

- Объём пенопластового кубика:

$$V_{\text{к}} = a_{\text{к}} b_{\text{к}} c_{\text{к}}$$

$a_{\text{к}}, b_{\text{к}}, c_{\text{к}}$  – длины рёбер кубика.

- Объём вытесненной жидкости:

$$V_{\text{выт}} = \frac{m_{\text{стж}} - m_{\text{ст}}}{\rho_{\text{ж}}}$$

$m_{\text{стж}}$  – масса стакана с жидкостью;  
 $m_{\text{ст}}$  – масса пустого стакана.

- Объём тела, определяемый методом гидростатического взвешивания:

$$V_{\text{т}} = \frac{m_1 - m_{\text{п}} - m_2 + m_{\text{пж}}}{\rho_{\text{ж}}}$$

$m_1$  – масса тела с проволокой в воздухе;  
 $m_{\text{п}}$  – масса проволоки в воздухе;  
 $m_2$  – показания весов при погружении тела с проволокой в воду;  
 $m_{\text{пж}}$  – показания весов при погружении проволоки в воду;  
 $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости.

- Плотность тела:

$$\rho_{\text{т}} = \frac{m_{\text{т}}}{V_{\text{т}}}$$

$m_{\text{т}}$  – масса тела;  
 $V_{\text{т}}$  – объём тела.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Абсолютная погрешность прямых измерений:

$$\Delta x = \sqrt{t^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)} + (\Delta x)_B^2}$$

где:

$n$  – количество измерений;  
 $\Delta x_B$  – приборная погрешность;  
 $t$  – коэффициент Стьюдента.

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta f(x_1, x_2, \dots) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2\right)^2 + \dots}$$

## Метод измерения

1. Для определения размеров металлического шара и цилиндра, пенопластового кубика и деревянного параллелепипеда используем штангенциркуль.
  - Измерим диаметр шара ( $d_{\text{ш}}$ ). Поместим шар между губками штангенциркуля, прижмём их к шару и зафиксируем с помощью винта. Снимем показания со шкалы прибора. Повторим измерения еще 3 раза. Результаты занесём в таблицу.
  - Измерим диаметр основания цилиндра ( $d_{\text{ц}}$ ). Прижмём губки штангенциркуля к стенкам цилиндра и снимем показания. Измерим высоту цилиндра ( $h_{\text{ц}}$ ). Прижмём губки штангенциркуля к основаниям цилиндра, снимем показания, повторим измерения.
  - Измерим размеры параллелепипеда ( $a_{\text{п}}, b_{\text{п}}, c_{\text{п}}$ ). Прижмём губки штангенциркуля к одним граням и снимем показания. Затем развернём брусок и измерим расстояние между другими гранями. Повторим измерения.
  - Измерим рёбра пенопластового куба ( $a_{\text{к}}, b_{\text{к}}, c_{\text{к}}$ ) несколько раз. Важно не пережать губки штангенциркуля чтобы избежать деформации пенопласта. Повторим измерения для других рёбер.
2. Теперь используем микрометр, чтобы измерить диаметры медной ( $d_{\text{м}}$ ) и латунной проволоки ( $d_{\text{л}}$ ). Поместим проволоку между зажимами прибора и будем уменьшать расстояние между зажимами, пока не начнёт увеличиваться прикладываемое усилие. Снимем показания прибора и повторим измерения 3 раза. Всё то же сделаем для другой проволоки.
3. Перейдём к измерению массы. Убедимся, что весы уравновешены при отсутствии грузов. Поместим металлический цилиндр на чашу весов и будем передвигать рейки на весах до уравновешения. Снимем показания весов ( $m_{\text{ц}}$ ) и повторим измерения 3 раза. Таким же образом измерим массы деревянного параллелепипеда ( $m_{\text{п}}$ ), пенопластового кубика ( $m_{\text{к}}$ ), металлического шара ( $m_{\text{ш}}$ ) и тела неправильной формы ( $m_{\text{т}}$ ) (в качестве тела неправильной формы используем гайку).
4. Найдём объёмы металлического цилиндра и тела неправильной формы прямым и косвенным способами. Сначала измерим массу пустого мерного стакана ( $m_{\text{ст}}$ ) на весах. Наполним переливной стакан водой чуть выше отверстия и подождём, пока лишняя вода не стечёт. Теперь поставим пустой мерный стакан под патрубок. Опустим цилиндр в переливной стакан и подождём, пока вода из отверстия не перестанет стекать. Снимем показания ( $V_{\text{жц}}$ ) с мерного стакана. Теперь измерим массу стакана с вытесненной водой ( $m_{\text{стжц}}$ ) на весах. Повторим эти же действия для тела неправильной формы.

5. Теперь проведём необходимые измерения для нахождения объёмов металлического цилиндра и тела неправильной формы другим способом – гидростатическим взвешиванием. Привяжем цилиндр к проволоке и подвесим за крючок весов, на котором весит чаша, но так, чтобы тело находилось в воздухе над чашей. Снимем показания весов ( $m_{1ц}$ ). Теперь будем удерживать стакан с водой так, чтобы тело и проволока были полностью погружены в воду, практически до точки подвеса. Стакан не должен касаться чаши весов. Уравновесим весы и снимем показания ( $m_{2ц}$ ). Теперь уберём стакан воды и снимем тело с проволоки (взвесим только проволоку), уравновесим весы и снимем показания ( $m_{п}$ ). Теперь проволоку полностью погрузим в стакан с водой и снимем показания ( $m_{пж}$ ). Повторим замеры для тела неправильной формы.

### Таблицы и обработка данных

Формулы для вычисления погрешностей указаны выше в пункте «Расчётные формулы». Во всех случаях коэффициент Стьюдента  $t$  при  $n=4$ ,  $\alpha=0.68$  равен 1.3.

Цена деления штангенциркуля равна 0.02 мм, микрометра – 0.01 мм, весов – 0.01 г. Для этих приборов приборная погрешность равна половине цены деления.

Абсолютные погрешности указаны в строке таблицы, обозначенной  $\Delta$ .

В качестве жидкости использовалась вода. Её плотность принята равной  $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

*Металлический шар*

№	$d_{\text{ш}}, \text{мм}$	$m_{\text{ш}}, \text{г}$
1	30.18	110.06
2	30.38	110.09
3	30.42	110.06
4	30.34	110.03
<b>Среднее</b>	<b>30.33</b>	<b>110.06</b>
$\Delta$	0.07	0.02

$$d_{\text{ш}} = 30.33 \pm 0.07 \text{ мм}$$

$$m_{\text{ш}} = 110.06 \pm 0.02 \text{ г}$$

$$\overline{V_{\text{ш}}} = \frac{1}{6} \pi d_{\text{ш}}^3 \approx 14.61 \text{ см}^3$$

$$\Delta V_{\text{ш}} = \frac{\partial V_{\text{ш}}}{\partial d_{\text{ш}}} \cdot \Delta d_{\text{ш}} = \frac{1}{2} \pi d_{\text{ш}}^2 \cdot \Delta d_{\text{ш}} \approx 0.10 \text{ см}^3$$

$$V_{\text{ш}} = 14.61 \pm 0.10 \text{ см}^3$$

$$\overline{\rho_{\text{ш}}} = \frac{m_{\text{ш}}}{V_{\text{ш}}} \approx 7534 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho_{\text{ш}} = \sqrt{\left( \frac{\partial \rho_{\text{ш}}}{\partial m_{\text{ш}}} \cdot \Delta m_{\text{ш}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \rho_{\text{ш}}}{\partial V_{\text{ш}}} \cdot \Delta V_{\text{ш}} \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{1}{V_{\text{ш}}} \cdot \Delta m_{\text{ш}} \right)^2 + \left( \frac{m_{\text{ш}}}{V_{\text{ш}}^2} \cdot \Delta V_{\text{ш}} \right)^2} \approx 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{ш}} = 7534 \pm 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Полученная плотность соответствует стали.

*Металлический цилиндр*

№	$d_{\text{ц}}, \text{ мм}$	$h_{\text{ц}}, \text{ мм}$	$m_{\text{ц}}, \text{ г}$
1	24.72	16.20	21.07
2	24.84	16.24	21.07
3	24.84	16.16	21.07
4	24.68	16.20	21.07
<b>Среднее</b>	<b>24.77</b>	<b>16.20</b>	<b>21.07</b>
$\Delta$	0.05	0.02	0.01

$$d_{\text{ц}} = 24.77 \pm 0.05 \text{ мм}$$

$$h_{\text{ц}} = 16.20 \pm 0.02 \text{ мм}$$

$$m_{\text{ц}} = 21.07 \pm 0.01 \text{ г}$$

$$\bar{V}_{\text{ц}} = \frac{1}{4} \pi d_{\text{ц}}^2 h_{\text{ц}} \approx 7.81 \text{ см}^3$$

$$\Delta V_{\text{ц}} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\text{ц}}}{\partial d_{\text{ц}}} \cdot \Delta d_{\text{ц}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\text{ц}}}{\partial h_{\text{ц}}} \cdot \Delta h_{\text{ц}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \pi d_{\text{ц}} h_{\text{ц}} \cdot \Delta d_{\text{ц}}\right)^2 + \left(\frac{1}{4} \pi d_{\text{ц}}^2 \cdot \Delta h_{\text{ц}}\right)^2} \approx 0.03 \text{ см}^3$$

$$V_{\text{ц}} = 7.81 \pm 0.03 \text{ см}^3$$

$$\bar{\rho}_{\text{ц}} = \frac{m_{\text{ц}}}{V_{\text{ц}}} \approx 2699 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho_{\text{ц}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{\text{ц}}}{\partial m_{\text{ц}}} \cdot \Delta m_{\text{ц}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\text{ц}}}{\partial V_{\text{ц}}} \cdot \Delta V_{\text{ц}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{V_{\text{ц}}} \cdot \Delta m_{\text{ц}}\right)^2 + \left(\frac{m_{\text{ц}}}{V_{\text{ц}}^2} \cdot \Delta V_{\text{ц}}\right)^2} \approx 11 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{ц}} = 2699 \pm 11 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Полученная плотность соответствует алюминию.

*Деревянный параллелепипед*

№	$a_{\Pi}$ , мм	$b_{\Pi}$ , мм	$c_{\Pi}$ , мм	$m_{\Pi}$ , г
1	31.86	29.38	14.76	10.72
2	31.94	29.18	14.80	10.72
3	31.98	29.34	14.72	10.72
4	31.98	29.26	14.68	10.72
<b>Среднее</b>	<b>31.94</b>	<b>29.29</b>	<b>14.74</b>	<b>10.72</b>
$\Delta$	0.04	0.06	0.04	0.01

$$a_{\Pi} = 31.94 \pm 0.04 \text{ мм}$$

$$b_{\Pi} = 29.29 \pm 0.06 \text{ мм}$$

$$c_{\Pi} = 14.74 \pm 0.04 \text{ мм}$$

$$m_{\Pi} = 10.72 \pm 0.01 \text{ г}$$

$$\bar{V}_{\Pi} = a_{\Pi} b_{\Pi} c_{\Pi} \approx 13.79 \text{ см}^3$$

$$\Delta V_{\Pi} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial a_{\Pi}} \cdot \Delta a_{\Pi}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial b_{\Pi}} \cdot \Delta b_{\Pi}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial c_{\Pi}} \cdot \Delta c_{\Pi}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(b_{\Pi} c_{\Pi} \cdot \Delta a_{\Pi})^2 + (a_{\Pi} c_{\Pi} \cdot \Delta b_{\Pi})^2 + (a_{\Pi} b_{\Pi} \cdot \Delta c_{\Pi})^2} \approx 0.05 \text{ см}^3$$

$$V_{\Pi} = 13.79 \pm 0.05 \text{ см}^3$$

$$\bar{\rho}_{\Pi} = \frac{m_{\Pi}}{V_{\Pi}} \approx 777 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho_{\Pi} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{\Pi}}{\partial m_{\Pi}} \cdot \Delta m_{\Pi}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\Pi}}{\partial V_{\Pi}} \cdot \Delta V_{\Pi}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{V_{\Pi}} \cdot \Delta m_{\Pi}\right)^2 + \left(\frac{m_{\Pi}}{V_{\Pi}^2} \cdot \Delta V_{\Pi}\right)^2} \approx 3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\Pi} = 777 \pm 3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

*Пенопластовый кубик*

№	$a_K$ , мм	$b_K$ , мм	$c_K$ , мм	$m_K$ , г
1	27.52	28.76	26.16	0.44
2	27.88	28.20	26.72	0.44
3	27.24	29.20	26.32	0.44
4	26.96	28.56	26.56	0.44
<b>Среднее</b>	<b>27.40</b>	<b>28.68</b>	<b>26.44</b>	<b>0.44</b>
$\Delta$	0.26	0.27	0.16	0.01

$$a_K = 27.40 \pm 0.26 \text{ мм}$$

$$b_K = 28.68 \pm 0.27 \text{ мм}$$

$$c_K = 26.44 \pm 0.16 \text{ мм}$$

$$m_K = 0.44 \pm 0.01 \text{ г}$$

$$\bar{V}_K = a_K b_K c_K \approx 20.8 \text{ см}^3$$

$$\Delta V_K = \sqrt{\left(\frac{\partial V_K}{\partial a_K} \cdot \Delta a_K\right)^2 + \left(\frac{\partial V_K}{\partial b_K} \cdot \Delta b_K\right)^2 + \left(\frac{\partial V_K}{\partial c_K} \cdot \Delta c_K\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(b_K c_K \cdot \Delta a_K)^2 + (a_K c_K \cdot \Delta b_K)^2 + (a_K b_K \cdot \Delta c_K)^2} \approx 0.3 \text{ см}^3$$

$$V_K = 20.8 \pm 0.3 \text{ см}^3$$

$$\bar{\rho}_K = \frac{m_K}{V_K} \approx 21.2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho_K = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_K}{\partial m_K} \cdot \Delta m_K\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_K}{\partial V_K} \cdot \Delta V_K\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{V_K} \cdot \Delta m_K\right)^2 + \left(\frac{m_K}{V_K^2} \cdot \Delta V_K\right)^2} \approx 0.6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_K = 21.2 \pm 0.6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$



### Диаметры проволок

№	$d_m$ , мм	$d_l$ , мм
1.	0.16	0.46
2.	0.18	0.44
3.	0.18	0.44
4.	0.17	0.43
<b>Среднее</b>	<b>0.17</b>	<b>0.44</b>
$\Delta$	0.01	0.01

$$d_m = 0.17 \pm 0.01 \text{ мм}$$

$$d_l = 0.44 \pm 0.01 \text{ мм}$$

### Масса гайки

№	$m_{\Gamma}$ , г
1.	41.51
2.	41.50
3.	41.51
4.	41.52
<b>Среднее</b>	<b>41.51</b>
$\Delta$	0.01

$$m_{\Gamma} = 41.51 \pm 0.01 \text{ г}$$

### Нахождение объёма и плотности цилиндра и гайки через вытеснение жидкости

№	$m_{\text{ст}}$ , г	$V_{\text{жц}}$ , мл	$m_{\text{стжц}}$ , г	$V_{\text{жг}}$ , мл	$m_{\text{стжг}}$ , г
1	29.54	6	36.89	6	34.87
2	29.53	6	36.87	6	34.80
3	29.53	6	36.79	6	34.83
4	29.54	6	36.98	6	34.76
<b>Среднее</b>	<b>29.54</b>	<b>6</b>	<b>36.88</b>	<b>6</b>	<b>34.82</b>
$\Delta$	0.01	1	0.05	1	0.03

$$m_{\text{ст}} = 29.54 \pm 0.01 \text{ г}$$

$$V_{\text{жц}} = 6 \pm 1 \text{ мл}$$

$$V_{\text{жг}} = 6 \pm 1 \text{ мл}$$

$$m_{\text{стжц}} = 36.88 \pm 0.05 \text{ г}$$

$$m_{\text{стжг}} = 34.82 \pm 0.03 \text{ г}$$

Шкала мерного стакана имеет очень большую цену деления, а также искажает результаты измерений из-за наличия сил поверхностного натяжения. Косвенный метод будет гораздо более точным.

$$\bar{V}_{\text{ц}} = \frac{m_{\text{стжц}} - m_{\text{ст}}}{\rho_{\text{ж}}} \approx 7.34 \text{ см}^3$$

$$\Delta V_{\text{ц}} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\text{ц}}}{\partial m_{\text{стжц}}} \cdot \Delta m_{\text{стжц}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\text{ц}}}{\partial m_{\text{ст}}} \cdot \Delta m_{\text{ст}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m_{\text{стжц}}}{\rho_{\text{ж}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{\text{ст}}}{\rho_{\text{ж}}}\right)^2} \approx 0.05 \text{ см}^3$$

$$V_{\text{ц}} = 7.34 \pm 0.05 \text{ см}^3$$

$$\bar{\rho}_{\text{ц}} = \frac{m_{\text{ц}}}{V_{\text{ц}}} \approx 2870 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho_{\text{ц}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{\text{ц}}}{\partial m_{\text{ц}}} \cdot \Delta m_{\text{ц}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\text{ц}}}{\partial V_{\text{ц}}} \cdot \Delta V_{\text{ц}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{V_{\text{ц}}} \cdot \Delta m_{\text{ц}}\right)^2 + \left(\frac{m_{\text{ц}}}{V_{\text{ц}}^2} \cdot \Delta V_{\text{ц}}\right)^2} \approx 20 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{ц}} = 2870 \pm 20 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\bar{V}_{\text{г}} = \frac{m_{\text{стжг}} - m_{\text{ст}}}{\rho_{\text{ж}}} \approx 5.28 \text{ см}^3$$

$$\Delta V_{\text{г}} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\text{г}}}{\partial m_{\text{стжг}}} \cdot \Delta m_{\text{стжг}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\text{г}}}{\partial m_{\text{ст}}} \cdot \Delta m_{\text{ст}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m_{\text{стжг}}}{\rho_{\text{ж}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{\text{ст}}}{\rho_{\text{ж}}}\right)^2} \approx 0.03 \text{ см}^3$$

$$V_{\text{г}} = 5.28 \pm 0.03 \text{ см}^3$$

$$\bar{\rho}_{\text{г}} = \frac{m_{\text{г}}}{V_{\text{г}}} \approx 7860 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho_{\text{г}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{\text{г}}}{\partial m_{\text{г}}} \cdot \Delta m_{\text{г}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\text{г}}}{\partial V_{\text{г}}} \cdot \Delta V_{\text{г}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{V_{\text{г}}} \cdot \Delta m_{\text{г}}\right)^2 + \left(\frac{m_{\text{г}}}{V_{\text{г}}^2} \cdot \Delta V_{\text{г}}\right)^2} \approx 40 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{г}} = 7860 \pm 40 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Нахождение объёма и плотности цилиндра и гайки гидростатическим  
взвешиванием

№	$m_{\Pi}, \text{ г}$	$m_{\Pi\text{Ж}}, \text{ г}$	$m_{1\text{Ц}}, \text{ г}$	$m_{2\text{Ц}}, \text{ г}$	$m_{1\Gamma}, \text{ г}$	$m_{2\Gamma}, \text{ г}$
1	0.05	0.03	21.12	13.56	41.56	36.16
2	0.05	0.03	21.11	13.56	41.55	36.16
3	0.05	0.03	21.12	13.56	41.56	36.17
4	0.05	0.03	21.11	13.56	41.56	36.17
<b>Среднее</b>	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>	<b>21.12</b>	<b>13.56</b>	<b>41.56</b>	<b>36.17</b>
$\Delta$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

$$m_{\Pi} = 0,05 \pm 0.01 \text{ г}$$

$$m_{\Pi\text{Ж}} = 0,03 \pm 0.01 \text{ г}$$

$$m_{1\text{Ц}} = 21.12 \pm 0.01 \text{ г}$$

$$m_{1\Gamma} = 41.56 \pm 0.01 \text{ г}$$

$$m_{2\text{Ц}} = 13.56 \pm 0.01 \text{ г}$$

$$m_{2\Gamma} = 36.17 \pm 0.01 \text{ г}$$

$$\bar{V}_{\text{Ц}} = \frac{m_{1\text{Ц}} - m_{\Pi} - m_{2\text{Ц}} + m_{\Pi\text{Ж}}}{\rho_{\text{Ж}}} \approx 7.54 \text{ см}^3$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{Ц}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\text{Ц}}}{\partial m_{1\text{Ц}}} \cdot \Delta m_{1\text{Ц}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\text{Ц}}}{\partial m_{\Pi}} \cdot \Delta m_{\Pi}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\text{Ц}}}{\partial m_{2\text{Ц}}} \cdot \Delta m_{2\text{Ц}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\text{Ц}}}{\partial m_{\Pi\text{Ж}}} \cdot \Delta m_{\Pi\text{Ж}}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{\Delta m_{1\text{Ц}}}{\rho_{\text{Ж}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{\Pi}}{\rho_{\text{Ж}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{2\text{Ц}}}{\rho_{\text{Ж}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{\Pi\text{Ж}}}{\rho_{\text{Ж}}}\right)^2} \approx 0.02 \text{ см}^3 \end{aligned}$$

$$V_{\text{Ц}} = 7.54 \pm 0.02 \text{ см}^3$$

$$\bar{\rho}_{\text{Ц}} = \frac{m_{\text{Ц}}}{V_{\text{Ц}}} \approx 2794 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho_{\text{Ц}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{\text{Ц}}}{\partial m_{\text{Ц}}} \cdot \Delta m_{\text{Ц}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\text{Ц}}}{\partial V_{\text{Ц}}} \cdot \Delta V_{\text{Ц}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{V_{\text{Ц}}} \cdot \Delta m_{\text{Ц}}\right)^2 + \left(\frac{m_{\text{Ц}}}{V_{\text{Ц}}^2} \cdot \Delta V_{\text{Ц}}\right)^2} \approx 8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{Ц}} = 2794 \pm 8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\bar{V}_{\Gamma} = \frac{m_{1\Gamma} - m_{\Pi} - m_{2\Gamma} + m_{\Pi\text{Ж}}}{\rho_{\text{Ж}}} \approx 5.37 \text{ см}^3$$

$$\Delta V_{\Gamma} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial m_{1\Gamma}} \cdot \Delta m_{1\Gamma}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial m_{\Gamma}} \cdot \Delta m_{\Gamma}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial m_{2\Gamma}} \cdot \Delta m_{2\Gamma}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial m_{\Pi\text{Ж}}} \cdot \Delta m_{\Pi\text{Ж}}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\Delta m_{1\Gamma}}{\rho_{\text{ж}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{\Pi}}{\rho_{\text{ж}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{2\Gamma}}{\rho_{\text{ж}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{\Pi\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}}\right)^2} \approx 0.02 \text{ см}^3$$

$$V_{\Gamma} = 5.37 \pm 0.02 \text{ см}^3$$

$$\bar{\rho}_{\Gamma} = \frac{m_{\Gamma}}{V_{\Gamma}} \approx 7730 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho_{\Gamma} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{\Gamma}}{\partial m_{\Gamma}} \cdot \Delta m_{\Gamma}\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\Gamma}}{\partial V_{\Gamma}} \cdot \Delta V_{\Gamma}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{V_{\Gamma}} \cdot \Delta m_{\Gamma}\right)^2 + \left(\frac{m_{\Gamma}}{V_{\Gamma}^2} \cdot \Delta V_{\Gamma}\right)^2} \approx 30 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\Gamma} = 7730 \pm 30 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Сравним значения плотности цилиндра, полученные разными способами:

- $\rho_{\text{ц}} = 2699 \pm 11 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - с помощью штангенциркуля;
- $\rho_{\text{ц}} = 2870 \pm 20 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - через вытеснение жидкости;
- $\rho_{\text{ц}} = 2794 \pm 8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - гидростатическим взвешиванием.

Наименьшую погрешность обеспечивает метод гидростатического взвешивания. Однако наиболее приближенное к реальному значение плотности алюминия получено с помощью штангенциркуля. Это может быть связано с тем, что была использована неточная плотность воды.

## Выводы

Существует множество различных измерительных приборов и методов измерений. Исследовать одно и то же физическое явление или тело можно разными способами, обеспечивающими разную точность, поэтому необходимо уметь правильно выбирать метод проведения эксперимента. Например, объём тел правильной формы можно измерить с помощью штангенциркуля или микрометра – этот метод является наиболее простым и достаточно точным. Для измерения объёма тел неправильной формы придётся использовать другие методы. Однако для нахождения объёма через вытеснение жидкости или гидростатическим взвешиванием необходимо знать плотность жидкости, используемой в работе.