

Подсказки, выделенные желтым цветом, в Отчет не переносить!

Подсказки сделаны **после** текста (формулы), к которым они относятся.

21а Иванов Иван Лр1 Свой данные по этому шаблону на каждой левой странице
каждого РАЗВОРОТА

Лабораторная работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Цель работы: ознакомиться с методикой простейших измерений, обработки их результатов, включая расчет погрешностей измерений.

Приборы и принадлежности: набор твердых тел, штангенциркуль, микрометр, весы.

Расчетная формула:

$$\rho = \frac{m}{abc}, \quad (1.1)$$

где m – масса, a, b, c – линейные размеры параллелепипеда.

Формулы расчета погрешностей:

$$\varepsilon_{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2}, \quad \Delta \rho = \rho \varepsilon_{\rho}, \quad (1.2)$$

Таблица результатов измерений:

X, едизм.	множ. СИ	$\Delta x_{\text{ин}}$		x_i		$\langle x \rangle$	Δx	ε_x
m , г	10^{-3}	0,05	47,25	47,30	47,25	47,267	0,087	0,18%
a , мм	10^{-3}	0,2	38,5	38,3	38,4	38,40	0,27	0,71%
			38,6	38,5	38,1			
b , мм	10^{-3}	0,2	19,6	19,2	19,5	19,70	0,41	2,1%
			20,2	19,8	19,9			
c , мм	10^{-3}	0,2	8,2	8,1	7,8	7,98	0,25	3,2%
			8,0	7,9	7,9			

В двух правых колонках числа округлены до ДВУХ ЗНАЧАЩИХ ЦИФР (значащими цифрами не являются нули в начале числа, положение запятой не имеет значения) (см. Прил. 2 в 22-124).

В третьей справа колонке округлить число до того же **разряда**, до которого округлено число во второй справа колонке (см. Прил. 2 в 22-124).

Обработка результатов прямых измерений:

м а с с ы

$$\langle m \rangle = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{n} = \frac{47,25 + 47,30 + 47,25}{3} = 47,267(\text{г});$$

В ответе оставить 4-5 значащих цифр (нули в конце числа считаются значащими цифрами, положение запятой не имеет значения).

Единицы измерения обязательны!

$$\begin{aligned} \Delta m &= \sqrt{t_{\alpha,n}^2 \frac{(\langle m \rangle - m_1)^2 + (\langle m \rangle - m_2)^2 + (\langle m \rangle - m_n)^2}{n(n-1)} + (\Delta m_{\text{ин}})^2} = \\ &= \sqrt{2,6^2 \cdot \frac{(47,267 - 47,25)^2 + (47,267 - 47,30)^2 + (47,267 - 47,25)^2}{3 \cdot 2} + 0,05^2} = \\ &= 0,0874(\text{г}); \end{aligned}$$

В ответе оставить 3-4 значащие цифры (нули в начале числа не считаются, нули в конце числа считаются, положение запятой не имеет значения).

Единицы измерения обязательны!

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta m}{\langle m \rangle} = \frac{0,0874}{47,267} = 0,001849 \approx 0,18\% ;$$

В первом ответе (в относительных единицах) оставить 3-4 значащие цифры, во втором ответе (в процентах) оставить 2 значащие цифры (нули в начале числа не считаются, нули в конце числа считаются, положение запятой не имеет значения).

$$m = (47,267 \pm 0,087) \cdot 10^{-3} \text{ кг}, \quad \varepsilon_m = 0,18\%$$

Запись «в рамочке» является *ответом* к проделанной части работы; при записывании ответа числа должны быть правильно округлены: сначала округляется *абсолютная погрешность* (необходимо оставить две значащие цифры: какие цифры являются значащими выше написано уже трижды), затем округляется *среднее значение* (до того же разряда, до которого оказалась округлена *абсолютная погрешность*: в данном случае до тысячных), *относительная погрешность* уже правильно округлена выше.

Перевод в «основные» единицы СИ желателен.

Единицы измерения обязательны!

д л и н ы

$$\langle a \rangle = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} = \frac{38,5 + 38,3 + 38,4 + 38,6 + 38,5 + 38,1}{6} = 38,40(\text{мм});$$

В ответе оставить 4-5 значащих цифр (нули в конце числа считаются значащими цифрами, положение запятой не имеет значения).

Единицы измерения обязательны!

$$\Delta a = \sqrt{t_{\alpha;n}^2 \frac{(\langle a \rangle - a_1)^2 + (\langle a \rangle - a_2)^2 + \dots + (\langle a \rangle - a_n)^2}{n(n-1)} + (\Delta a_{\text{ин}})^2} =$$

$$= \sqrt{2,6^2 \cdot \frac{(38,4 - 38,5)^2 + (38,4 - 38,3)^2 + (38,4 - 38,4)^2 + (38,4 - 38,6)^2 + (38,4 - 38,5)^2 + (38,4 - 38,1)^2}{6 \cdot 5}} + 0,2^2 =$$

$$= 0,274(\text{мм});$$

В ответе оставить 3-4 значащие цифры (нули в начале числа не считаются, нули в конце числа считаются, положение запятой не имеет значения).

Единицы измерения обязательны!

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} = \frac{0,274}{38,4} = 0,00714 \approx 0,71\% ;$$

В первом ответе (в относительных единицах) оставить 3-4 значащие цифры, во втором ответе (в процентах) оставить 2 значащие цифры (нули в начале числа не считаются, нули в конце числа считаются, положение запятой не имеет значения).

$$a = (38,40 \pm 0,27) \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad \varepsilon_a = 0,71\%$$

Запись «в рамочке» является *ответом* к проделанной части работы; при записывании ответа числа должны быть правильно округлены: сначала округляется *абсолютная погрешность* (необходимо оставить две значащие цифры: какие цифры являются значащими выше уже написано), затем округляется *среднее значение* (до того же разряда, до которого оказалась округлена *абсолютная погрешность*: в данном случае до сотых), *относительная погрешность* уже правильно округлена выше.

Перевод в «основные» единицы СИ желателен.

Единицы измерения обязательны!

ш и р и н ы Подсказки те же самые, что и при обработке измерений *длины*.

$$\langle b \rangle = \frac{b_1 + b_2 + \dots + b_n}{n} = \frac{19,6 + 19,2 + 19,5 + 20,2 + 19,8 + 19,9}{6} = 19,70(\text{мм});$$

$$\Delta b = \sqrt{t_{\alpha;n}^2 \frac{(\langle b \rangle - b_1)^2 + (\langle b \rangle - b_2)^2 + \dots + (\langle b \rangle - b_n)^2}{n(n-1)} + (\Delta b_{\text{ин}})^2} =$$

$$= \sqrt{2,6^2 \cdot \frac{(19,7 - 19,6)^2 + (19,7 - 19,2)^2 + (19,7 - 19,5)^2 + (19,7 - 20,2)^2 + (19,7 - 19,8)^2 + (19,7 - 19,9)^2}{6 \cdot 5}} + 0,2^2 =$$

$$= 0,4148(\text{мм});$$

$$\varepsilon_b = \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} = \frac{0,4148}{19,7} = 0,0211 \approx 2,1\% ;$$

$$b = (19,70 \pm 0,41) \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad \varepsilon_b = 2,1\%$$

Т О Л Щ И Н Ы Подсказки те же самые, что и при обработке измерений *длины*.

$$\langle c \rangle = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_n}{n} = \frac{8,2 + 8,1 + 7,8 + 8,0 + 7,9 + 7,9}{6} = 7,983 (\text{мм});$$

$$\Delta c = \sqrt{t_{\alpha;n}^2 \frac{(\langle c \rangle - c_1)^2 + (\langle c \rangle - c_2)^2 + \dots + (\langle c \rangle - c_n)^2}{n(n-1)} + (\Delta c_{\text{ин}})^2} =$$

$$= \sqrt{2,6^2 \cdot \frac{(7,983-8,2)^2 + (7,983-8,1)^2 + (7,983-7,8)^2 + (7,983-8,0)^2 + (7,983-7,9)^2 + (7,983-7,9)^2}{6 \cdot 5} + (0,2)^2} =$$

$$= 0,253 (\text{мм});$$

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta c}{\langle c \rangle} = \frac{0,253}{7,983} = 0,0317 \approx 3,2\% ;$$

$$c = (7,98 \pm 0,25) \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad \varepsilon_c = 3,2\%$$

Расчет плотности тела и ее погрешности:

$$\rho = \frac{m}{abc} = \frac{47,267 \cdot 10^{-3}}{38,40 \cdot 10^{-3} \cdot 19,70 \cdot 10^{-3} \cdot 7,983 \cdot 10^{-3}} = 7827 (\text{кг}/\text{м}^3);$$

В ответе оставить 4-5 значащих цифр (нули в конце числа считаются значащими цифрами, положение запятой не имеет значения).

Все величины подставить в «основных» единицах СИ.

Единицы измерения обязательны!

$$\varepsilon_\rho = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{\langle m \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{\langle a \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{\langle b \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{\langle c \rangle}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0,117}{47,267}\right)^2 + \left(\frac{0,274}{38,40}\right)^2 + \left(\frac{0,415}{19,70}\right)^2 + \left(\frac{0,253}{7,983}\right)^2} = 0,0387 \approx 3,9\%$$

В первом ответе (в относительных единицах) оставить 3-4 значащие цифры, во втором ответе (в процентах) оставить 2 значащие цифры (нули в начале числа не считаются, нули в конце числа считаются, положение запятой не имеет значения).

$$\Delta \rho = \rho \varepsilon_\rho = 7827 \cdot 0,0387 = 303 (\text{кг}/\text{м}^3).$$

В ответе оставить 3-4 значащие цифры (нули в начале числа не считаются, нули в конце числа считаются, положение запятой не имеет значения). Обратите внимание, что ε_p подставлено в относительных единицах и без окончательного округления.

Единицы измерения обязательны!

С учетом правил округления запишем:

$$\rho = (7,83 \pm 0,30) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \quad \varepsilon_p = 3,9\%$$

Запись «в рамочке» является *ответом* в лабораторной работе; при записывании ответа числа должны быть правильно округлены: сначала округляется *абсолютная погрешность* (необходимо оставить две значащие цифры: какие цифры являются значащими выше уже написано), затем округляется *среднее значение* (до того же разряда, до которого оказалась округлена *абсолютная погрешность*: в данном случае до сотых), *относительная погрешность* уже правильно округлена выше.

Для корректной записи округленных величин и для удобства считывания результата часто необходимо вынести за скобки 10 в какой либо степени (в данном случае 10^3).

Единицы измерения обязательны!

Сравнение с табличным значением ($\rho_{\text{табл}} = 7874 \text{ кг/м}^3$):

$$|\langle \rho \rangle - \rho_{\text{табл}}| = |7827 - 7874| = 47 \ll 303 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

Результат сравнения определить по приведенной ниже классификации:

- а) если $|\langle \rho \rangle - \rho_{\text{табл}}| \ll \Delta \rho$ (меньше в несколько раз), то «хорошо согласуется»;
- б) если $|\langle \rho \rangle - \rho_{\text{табл}}| \leq \Delta \rho$ (сравнимы, но всё же меньше), то «согласуется»;
- в) если $|\langle \rho \rangle - \rho_{\text{табл}}| > \Delta \rho$ (больше), то «не согласуется».

В данном случае 47 в 6,4 раза меньше 303 (кг/м³), поэтому стоит знак « \ll » и в Выводе написано «хорошо согласуется».

Вывод: познакомились с методами простейших измерений, научились обрабатывать их результаты, вычислили плотность твердого тела и погрешность ее измерения. Полученный результат *хорошо согласуется* с табличным значением плотности железа $\rho_{\text{табл}} = 7874 \text{ кг/м}^3$.

Слова «хорошо согласуется», означает, что **разность между табличным значением и средним значением существенно меньше абсолютной погрешности.**

Уважаемые студенты! Если Вы обнаружите неточности в представленном мной образце, я буду Вам искренне признателен (как правило, моя признательность оценивается дополнительным баллом).

И, разумеется, я с удовольствием отвечу на все Ваши вопросы.

П О Я С Н Е Н И Я (в отчет не писать):

1. Этот образец прежде всего предназначен для студентов 1-ой («моей») подгруппы; студентам второй подгруппы необходимо учесть требования Вашего преподавателя.

2. Для понимания процедуры обработки результатов необходимо прочесть методичку 22-124, особое внимание обратить на разделы (пункты и подпункты):

- 1.1, 1.2, 2.1 – основные определения;
- 2.2 – правила обработки результатов прямых измерений (массы, длины, ширины, толщины образца в данной работе);
- 3.1 – расчет погрешности при косвенных измерениях (плотность в данной работе); для этой работы в данном образце оформления формулы для расчета погрешности (формулы (1.2)) приведены в «готовом» виде, однако в дальнейшем эти формулы нужно будет научиться получать (именно этому посвящен пункт 3.1, а более общий вид формулы погрешности приведен в конце пункта 3.1 (формула (16) методички и две строчки текста после нее);
- Приложение 2 (стр. 25) – правила округления; обратите внимание, что по этим правилам округляется лишь окончательный результат (в образце те записи, что обведены рамочкой; однако, если величина (например, масса, длина,...) используется в дальнейшем (например, при вычислении плотности), то в формулу (плотности) необходимо подставить значения (массы, длины,...) в неокругленном виде, то есть сохранив одну-две последующие цифры (поэтому эти цифры сохранены там, где приведены расчеты).