

## Лабораторная работа № 1

### ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

**Цель работы:** ознакомиться с устройством и проведением измерений с помощью штангенциркуля и микрометра; освоить математическую обработку результатов измерений.

#### Приборы и принадлежности.

1. Штангенциркуль.
2. Микрометр.
3. Плоская пластина.
4. Проволока.

## 1 ВВЕДЕНИЕ

### Линейный нониус

*Линейным нониусом* называется маленькая линейка с делениями, которая может скользить вдоль большой линейки также с делениями, называемой *масштабом* (рисунок 1.1).

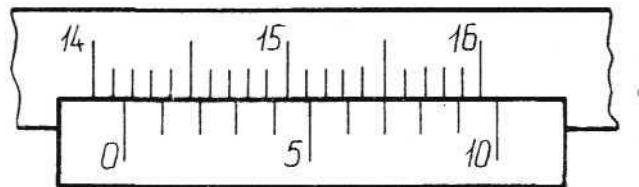


Рисунок 1.1 – Нониус

Деления на нониусе наносятся обычно так, что одно деление нониуса составляет  $\frac{m-1}{m} = 1 - \frac{1}{m}$  делений масштаба, где  $m$  – число делений нониуса. Именно это позволяет, пользуясь нониусом, производить отсчеты с точностью до  $1/m$  части наименьшего

деления масштаба. Пусть расстояние между соседними штрихами масштаба равно  $y$ , а между соседними штрихами нониуса –  $x$ .

Можно написать, что  $x = y - (y/m)$ , откуда получаем

$$mx = (m - 1)y.$$

Величина

$$\Delta x = y - x = y/m \quad (1.1)$$

носит название *точности нониуса*, она определяет максимальную погрешность нониуса.

В любом положении нониуса относительно масштаба одно из делений нониуса совпадает с каким-либо делением масштаба. Отсчет по нониусу основан на способности глаза фиксировать это совпадение делений нониуса и масштаба.

## 2 ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ ШТАНГЕНЦИРКУЛЕМ

**Описание штангенциркуля.** Штангенциркуль состоит из разделенной на миллиметры масштабной линейки, вдоль которой может перемещаться перпендикулярная к его длине ножка с зажимным винтом, служащим для ее фиксирования. Отсчетным приспособлением у всех конструкций штангенциркулей служит шкала штанги и линейный нониус. При нулевом показании инструмента нули нониуса и масштабной линейки совпадают. Измеряемая деталь зажимается между губками штангенциркуля и производится отсчет. Так как ножка, а следовательно, нуль нониуса, переместилась на длину детали, по масштабной линейке отсчитывают целое число миллиметров до нуля нониуса и смотрят, какое деление нониуса совпадает с некоторым делением масштабной линейки. Измерение обычно повторяют не менее пяти раз.

Штангенциркули рассчитаны на измерение длины, не превышающей 25–30 см, с точностью от 0,10 до 0,05 мм. Для измерения внутренних размеров штангенциркуль снабжен еще одной парой ножек.

## 2.1 Рабочее задание

1. Изучить устройство и методику измерения с помощью штангенциркуля.
2. Измерить толщину плоской пластины, повторив не менее пяти раз.
3. Провести обработку результатов измерений, в соответствии с теорией погрешностей, и заполнить таблицу 1.1.

*Таблица 1.1 – Результаты измерений*

№	$l_i, \text{мм}$	$\langle l \rangle, \text{мм}$	$\Delta l_i, \text{мм}$	$\langle \Delta l \rangle, \text{мм}$	$\varepsilon, \%$
1	<b>6.5</b>				
2	<b>6.3</b>				
3	<b>6.6</b>				
4	<b>6.5</b>				
5	<b>6.4</b>				

## Контрольные вопросы

1. Что значит измерить физическую величину?
2. Какие ошибки называются систематическими, случайными и грубыми (промахами)?
3. Какие измерения называются прямыми и косвенными?
4. Как правильно записать результат измерения физических величин?
5. Как рассчитываются среднее арифметическое значение физической величины и абсолютные погрешности отдельных измерений?
6. Как определяется доверительная граница погрешности измерений?
7. Что такое достоверность (вероятность) результата измерений?
8. Как представить полный результат измерений?

## **Лабораторная работа № 2**

### **ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ И ТВЕРДОГО ТЕЛА**

**Цель работы:** определить плотности жидкостей и твердых тел произвольной формы; освоить методики обработки результатов косвенных измерений.

#### **Приборы и принадлежности.**

1. Штангенциркуль или микрометр.
2. Весы с разновесками.
3. Пикнометр.
4. Сообщающиеся сосуды.
5. Пипетки.
6. Дистиллированная вода.
7. Образцы твердых тел правильной и неправильной формы.
8. Несмешивающаяся с водой жидкость.

#### **1 ВВЕДЕНИЕ**

Плотностью вещества называется физическая величина, равная отношению массы тела к его объему

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (2.1)$$

где  $m$  и  $V$  – соответственно масса и объем тела. В системе СИ единицей измерения плотности является  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Формула (2.1) справедлива лишь для однородных тел. В неоднородных телах плотность различных участков различна. В этом случае выбирают малый объем  $\Delta V$ , внутри которого тело можно считать однородным и вычисляют плотность по формуле

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}.$$

Переходя к пределу, получим:

$$\rho = \frac{dm}{dV}.$$

Определение плотности по формуле (2.1) сводится к определению массы тела и его объема. Массу тела можно определить путем его взвешивания. Непосредственно измерить объем тела сложной формы не всегда удается, поэтому поступают так: тело взвешивают в воде и, пользуясь законом Архимеда, определяют массу воды, вытесненную телом; зная плотность воды, вычислением находят объем. Для точных вычислений плотность воды соответствующей температуры берется из таблиц.

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

1. Масса тела определяется взвешиванием его на рычажных весах. Перед взвешиванием необходимо проверить установку нуля весов. Взвешиваемое тело кладется на левую чашку весов, а разновески на правую, постепенно переходя от более крупных к более мелким. Взвешивание провести не менее трех раз.
2. После взвешивания нужно измерить геометрические размеры  $a$ ,  $b$  и  $c$  тела штангенциркулем или микрометром. Измерения следует проводить не менее трех раз.
3. Заполнить таблицу 2.1.
4. По средним значениям геометрических размеров и массы тела найти его плотность.
5. Определить среднее значение плотности по формуле

$$\langle \rho \rangle = \frac{\langle m \rangle}{\langle v \rangle}. \quad .(2.2)$$

6. Определить относительную погрешность по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta m}{\langle m \rangle} + \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} + \frac{\Delta c}{\langle c \rangle}, \quad .(2.3)$$

где  $\Delta m$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta c$  – цена деления измерительных приборов (инструментов).

7. Определить среднее значение абсолютной погрешности по формуле

$$\langle \Delta\rho \rangle = \varepsilon \langle \rho \rangle. \quad (2.4)$$

8. Результаты измерений записать в виде:

$$\rho_{ucm} = \langle \rho \rangle \pm \langle \rho \rangle; \quad \varepsilon = \dots \%. \quad (2.5)$$

*Таблица 2.1 – Результаты измерений*

№	$m, \text{ кг}$	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$c, \text{ м}$	$\langle \rho \rangle, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\langle \Delta\rho \rangle, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\varepsilon, \%$
1							
2							
3							

### 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ ПИКНОМЕТРОМ

Пикнометр представляет собой сосуд определенного неизменного объема; обычно это – небольшой стеклянный сосуд с кольцевой меткой на узкой шейке. В зависимости от назначения, пикнометры имеют разнообразную форму. Методом пикнометра можно с большой точностью определить плотность твердых тел неправильной формы, или когда они находятся в измельченном (порошкообразном) состоянии: песок, соль, каменный уголь и т. д.

Для измерения плотности твердых тел в пикнометр наливается такая жидкость, в которой вещество тела не растворяется. В процессе измерений необходимо выполнить несколько взвешиваний в ниже следующем порядке.

1. Наполнить пикнометр жидкостью (водой) до метки и, взвесив пикнометр, записать массу  $m_2$ .

2. Опустить в пикнометр кусочки исследуемого твердого тела и, взвесив пикнометр, записать массу  $m_3$ .

3. Удалить из пикнометра избыток жидкости (воды), который поднялся над меткой пикнометра при опускании твердого тела. Объем удаленной воды будет равен объему твердого тела. Взвесив пикнометр с содержимым снова, записать их массу  $m_4$ . Масса исследуемого тела равна разности

$$m_T = m_3 - m_2 . \quad (2.6)$$

4. Объем тела равен

$$V_T = \frac{(m_3 - m_4)}{\rho}, \quad (2.7)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости (воды) при температуре опыта.

Плотность воды при  $t = 20^{\circ}\text{C}$  равна  $998,2 \text{ кг/м}^3$ .

5. Плотность исследуемого твердого тела определяется по формуле

$$\rho_T = \frac{m_T}{V_T} = \frac{(m_3 - m_2)\rho}{(m_3 - m_4)} . \quad (2.8)$$

Если пикнометр наполняется не водой, а другой жидкостью, то в формуле (2.8)  $\rho$  – плотность соответствующей жидкости.

Измерения провести не менее трех раз, и результаты занести в таблицу 2.2.

*Таблица 2.2 – Результаты измерений*

№	$m_2, \text{ кг}$	$m_3, \text{ кг}$	$m_{4i}, \text{ кг}$	$\rho_{\partial}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\langle \rho_{\partial} \rangle, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\langle \Delta \rho_{\partial} \rangle, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\varepsilon, \%$
1							
2							
3							

7. Найти среднеарифметическое значение измеренной плотности твердого тела

$$\langle \rho_{\partial} \rangle = \frac{\rho_{\partial 1} + \rho_{\partial 2} + \rho_{\partial 3}}{3} . \quad (2.9)$$

8. Найти абсолютные погрешности отдельных измерений и их среднеарифметическое значение:

$$\Delta\rho_{\partial i} = \rho_{\partial i} - \langle \rho_{\partial} \rangle, \quad (2.10)$$

$$\langle \Delta\rho \rangle = \frac{|\Delta\rho_{\partial 1}| + |\Delta\rho_{\partial 2}| + |\Delta\rho_{\partial 3}|}{3}. \quad (2.11)$$

9. Найти относительную погрешность измерений:

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta\rho_{\partial} \rangle}{\langle \rho_{\partial} \rangle} 100\%. \quad (2.12)$$

10. Результаты измерений записать в виде:

$$\rho = \langle \rho_{\partial} \rangle \pm \langle \Delta\rho_{\partial} \rangle, \quad \varepsilon = \dots \%$$

#### 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ ПИКНОМЕТРОМ

Для определения плотности жидкости необходимо провести следующие измерения не менее трех раз.

1. Взвесить пустой пикнометр и записать его массу  $m_1$ .
2. Наполнить пикнометр водой до метки и, взвесив, записать массу  $m_2$ .
3. Освободив пикнометр от воды, наполнить его исследуемой жидкостью до метки и, взвесив, записать массу  $m_3$ .
4. Плотность исследуемой жидкости определяется по формуле

$$\rho_a = \frac{(m_3 - m_1)\rho_a}{(m_2 - m_1)}. \quad (2.13)$$

5. Результаты измерений занести в таблицу.

*Таблица 2.3 –Результаты измерений*

<b>№</b>	$m_1, \text{ кг}$	$m_2, \text{ кг}$	$m_3, \text{ кг}$	$\rho_{\alpha}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
1				
2				
3				

6. По формулам (2.9)–(2.12) найти среднее значение плотности жидкости и соответствующие погрешности.

7. Результаты измерений записать в виде:

$$\rho = (\langle \rho_{\alpha} \rangle \pm \langle \Delta \rho_{\alpha} \rangle), \text{ кг/м}^3 \quad \varepsilon = \dots \%$$

### **Контрольные вопросы**

1. Каков физический смысл массы? Что такое плотность?
2. В чем заключается метод определения плотности твердых тел и жидкостей методом пикнометра?
3. Как определяется объем тела правильной формы?
4. Как можно определить объем тела неправильной формы?