

Ярославский государственный педагогический  
университет им. К.Д.Ушинского

*Вводный практикум*

В.К. Мухин

Лабораторная работа № 010

**Определение плотности  
твердых тел  
правильной геометрической  
формы**

Ярославль  
2013

## Оглавление

<i>Литература</i> .....	3
Вопросы для подготовки к работе.....	3
Теоретическое введение .....	3
Описание установки .....	4
Нониус.....	4
Микрометрический винт .....	5
Порядок выполнения работы .....	6
Задание 1. Определение плотности тела правильной геометрической формы. ....	7
Контрольные вопросы .....	8

## *Вводный практикум*

Лабораторная работа №010

### **Определение плотности твердых тел правильной геометрической формы.**

**Цель работы:** приобретение навыков работы со штангенциркулем, микрометром и торсионными весами; экспериментальное определение плотности твердых тел.

**Приборы и принадлежности:** штангенциркуль, микрометр, торсионные весы, справочник физических величин.

#### *Литература*

1. Физический практикум, Механика и молекулярная физика, под ред. В.И. Ивероной – М: «Наука», 1967.

2. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина, изд. 2-е, переработанное. – М: «Наука», 1973.

#### **Вопросы для подготовки к работе**

1. Для чего нужны нониусы и микрометрические винты (барabanы), как определить их точность?
2. Какие Вы знаете способы определения объема твердого тела?
3. Что такое плотность и способы ее определения?

#### **Теоретическое введение**

*Плотностью вещества называется масса его единичного объема.* Таким образом, проблема определения плотности сводится к определению массы тела и его объема.

$$\text{Плотность} = \frac{\text{Масса}}{\text{Объем}} \quad \text{или} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

Для измерения массы тел используются различного рода весы. В этой лабораторной работе мы будем определять массу тела на весьма простых в обращении торсионных весах. Вообще же проблема точного измерения массы нами будет исследована в специальной лабораторной работе в практикуме по механике.

Объем твердого тела **любой** формы может быть измерен либо по объему вытесненной жидкости, либо путем измерения выталкивающей силы в жидкости известной плотности ( $F_e = V\rho g$ ). Вычисление объема тел **правильной** геометрической формы – есть школьная геометрическая задача. Ниже мы приводим для справки формулы для вычисления объема некоторых тел правильной геометрической формы:

– параллелепипед  $V = abc$ , где  $a; b; c$  – стороны параллелепипеда;

– цилиндр  $V = \frac{1}{4}\pi D^2 h$ , где  $D$  – диаметр цилиндра,  $h$  – его высота;

– полый цилиндр  $V = \frac{1}{4}\pi(D^2 - d^2)h = \pi(D-l)lh$ , где  $D$  – внешний диаметр,  $d$  – внутренний диаметр,  $h$  – высота,  $l$  – толщина стенки;

– шар  $V = \frac{1}{6}\pi D^3$ , где  $D$  – диаметр шара.

### Описание установки

Специальная лабораторная установка в этой работе не нужна. Для измерения массы тела используются торсионные весы А250 фирмы “АХІS” (Польша).

Перед использованием весы должны быть установлены строго горизонтально по уровню, размещенному на задней стенке весов. После нажатия кнопки “ON” весами можно пользоваться через несколько секунд. Для измерения геометрических размеров тел будем использовать штангенциркуль (Рис. 1) и микрометр (Рис. 2).

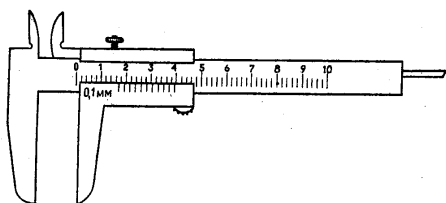


Рис. 1

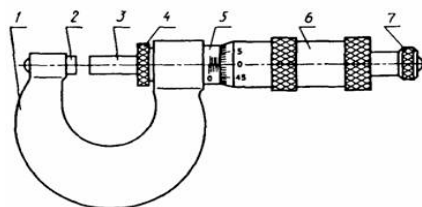


Рис. 2

ки “ON” весами можно пользоваться через несколько секунд. Для измерения геометрических размеров тел будем использовать штангенциркуль (Рис. 1) и микрометр (Рис. 2).

### Нониус

В штангенциркуле отсчет показаний производится по миллиметровой шкале масштабной линейки и, так называемому, нониусу – дополнительной линейке (Рис. 3), позволяющей увеличить точность отсчета до 0,1 мм или до 0,05 мм (в разных штангенциркулях). Отметим, что увеличение точности отсчета показаний с помощью нониуса используется во многих измерительных приборах, имеющих шкалы.

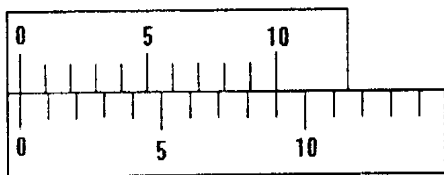


Рис. 3

приборах, имеющих шкалы.

В конкретном примере на рис. 3 на девять

делений масштабной линейки (или просто – масштаба) приходится десять делений нониуса, то есть, цена деления нониуса составляет 0,9 мм. По другому, одно деление нониуса короче одного деления масштаба на 0,1 мм. Эта разница называется *точностью нониуса*. В общем виде можно записать

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

где  $x$  – длина деления нониуса;  $y$  – длина наименьшего деления масштаба.

Заметим, что одно деление нониуса короче одного деления масштаба на  $\Delta x$ , и точность нониуса в общем виде будет

$$\Delta x = (y - x) = y/m.$$

Вернемся к конкретному примеру на рис. 3. Если измеряемый размер равен 0 мм, то нулевые деления масштаба и нониуса будут совпадать; если этот размер будет 0,4 мм, то совпадут четвертые деления; если – 0,7 мм, то совпадут седьмые деления, и т. д. С другой стороны, если измеряемый размер равен 5,3 мм, то ноль нониуса будет находиться между пятым и шестым делением масштаба, а третье деление нониуса будет совпадать с восьмым (а в общем то, не важно каким!) делением масштаба. Запишем это в общем виде:

$$l = ky + \Delta l,$$

где  $l$  – измеряемый размер (в примере – 5,3 мм);  $k$  – целое число делений масштаба (в примере – 5);  $y$  – цена деления масштаба (в примере 1 мм);  $\Delta l$  – неизвестная пока доля деления масштаба, которую нужно определить с помощью нониуса. Так как деления нониуса не равны делениям масштаба, то обязательно найдется такое деление  $n$  нониуса (в примере – 3), которое практически совпадет с  $(k+n)$  делением масштаба (в примере – 8). Окончательно запишем:

$$\Delta l = ny - nx = n(y - x) = n \cdot \Delta x; \quad l = ky + n \cdot \Delta x.$$

*Размер, измеряемый с применением нониуса, определяется как сумма целых делений масштабной линейки и точности нониуса умноженной на номер деления нониуса, совпадающего с некоторым делением линейки.*

### ***Микрометрический винт***

Микрометр (Рис. 2) представляет собой массивную жесткую металлическую скобу 1, в которой находятся друг против друга неподвижный упор 2 и *микрометрический винт* 3.

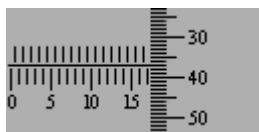
Деталь, которую надо измерить, зажимается между упором 2 и торцом подвижного винта 3, приводимого во вращение с помощью фрикционной головки 7 («трещотки»). Вращение фрикционной головки вызывает перемещение винта только до его упора в поверхность измеряемого предмета с определенным усилием (около 2,5 кг), после чего фрикционная головка прокручивается («трещит»).

Микрометрический винт – это винт, имеющий малый и строго постоянный шаг по всей длине. Шаг винта – это величина поступательного перемещения винта при повороте его на один оборот (шаг винта обычно составляет 0,5мм). Микрометрический винт снабжен жестко связанным с ним барабаном 6, который имеет 50 делений по окружности. Отсюда, цена деления барабана или точность микрометрического винта составляет  $0,5/50 = 0,01$  мм. Смещение мик-

рометрического винта на величину, меньшую его шага, находится умножением цены деления барабана на число делений барабана, на которое указывает продольная, осевая черта линейной шкалы.

Целое число миллиметров отсчитывается по линейной шкале 5 на микрометрическом винте. Деления этой шкалы в миллиметрах, нанесенные снизу, разделены пополам штрихами над шкалой (т.е. две шкалы смещены друг относительно друга на 0,5 мм). Отсчет размера детали осуществляется суммированием открытого барабаном показания линейной шкалы и показания шкалы барабана.

Пусть острый срез барабана открывает 17 делений на нижней части линейной шкалы и продольная черта линейной шкалы указывает на 37 деления барабана, то линейный размер детали составляет  $17.00+0.37=17.37$  мм.



Если острый срез барабана открывает 13 делений на нижней части линейной шкалы и деление на верхней части шкалы, а продольная черта линейной шкалы указывает на 37 деления барабана, то линейный размер данной детали составляет  $13.00+0.50+0.37=13.87$  мм.



Микрометрический винт может фиксироваться тормозным устройством 4. Это устройство может иметь и иную конструкцию, отличающуюся от изображенной на рис. 2.

### Порядок выполнения работы

Следует помнить, что в технике все размеры снимаются в миллиметрах, и мы не будем отступать от этого правила. Миллиметр – внесистемная единица измерения, поэтому в данной лабораторной работе объем тела, вычисленный в кубических миллиметрах, рекомендуется перевести в систему единиц СГС, то есть в кубические сантиметры. Отметим, что во многих случаях плотность вещества удобнее выражать в системе единиц СГС ( $\text{г/см}^3$ ), а не в более привычной для школьников системе СИ ( $\text{кг/м}^3$ ).

У неопытных людей при измерениях часто возникает проблема: каким измерительным прибором воспользоваться – штангенциркулем или микрометром. Здесь в любом случае следует помнить, что первоначальные измерения следует проводить с максимально возможной точностью. В дальнейшем, если точность прямых измерений оказалась излишней, можно сделать округление, что не займет много времени. Если же точность оказалась недостаточной, при наличии возможности ее увеличить, то измерения придется повторить.

В большинстве случаев физический эксперимент требует проведения косвенных измерений, то есть, прямые измерения в дальнейшем используются для расчетов по формулам. В этой ситуации следует обратить внимание на *относительную точность* прямых измерений, то есть, нужно выявить измерения с *большой относительной погрешностью* и попытаться ее уменьшить.

**Пример.** Требуется найти объем пластинки с приблизительными размерами  $a \times b \times c = 30 \times 40 \times 0,1$  мм. Понятно, что длину и ширину пластинки придется измерять штангенциркулем (его систематическая погрешность 0,05 мм), так как имеющиеся в нашей лаборатории микрометры (с систематической погрешностью 0,01 мм) имеют верхний предел измерения 25 мм. А вот толщину пластинки можно измерить и штангенциркулем и микрометром. Что выбрать? Относительная приборная погрешность при измерении штангенциркулем получается

$$\delta_c = \frac{\Delta c}{c} = \frac{0,05}{0,1} 100\% = 50\% .$$

Аналогичный расчет при измерении микрометром дает относительную погрешность 10%. Понятно, что следует выбрать микрометр (или еще более точный прибор, если он есть, так как  $\delta_a \approx 0,17\%$  и  $\delta_b = 0,125\%$ ).

### Задание 1. *Определение плотности тела правильной геометрической формы.*

Если тело имеет форму параллелепипеда, то таблица для записи и обработки результатов будет иметь следующий вид:

$$m = \text{_____ г}; \quad V = abc; \quad \rho = m/V;$$

№	$a_i$ (мм)	$b_i$ (мм)	$c_i$ (мм)	$V_i$ (мм <sup>3</sup> )	$V_i$ (см <sup>3</sup> )	$\rho_i$ (г/см <sup>3</sup> )	$\Delta\rho_i$	$(\Delta\rho_i)^2$
1								
2								
3								
4								
5								
						$\bar{\rho}$		$\Sigma$

$$\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n}; \quad \Delta\rho = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta\rho_i)^2}{n(n-1)}}, \quad \text{где } n \text{ – количество измерений.}$$

Результат запишите в виде:

$$\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta\rho) \text{ г/см}^3, \quad \text{при } \alpha \approx 2/3.$$

Оцените относительную погрешность  $\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{\rho} 100\%$ .

Аналогично выполняются таблицы для любых других тел правильной геометрической формы. Отличаться будет лишь количество столбцов в таблице и формула для вычисления объема.

Сравните полученный результат с табличным значением. Если по внешнему виду Вы не можете определить материал, из которого изготовлено тело, то обратитесь к преподавателю.

### **Контрольные вопросы**

1. Как правильно определить объем тонкостенного цилиндра?
2. По указанию преподавателя проведите измерения с помощью штангенциркуля.
3. По указанию преподавателя проведите измерения с помощью микрометра.