

Лабораторная работа № 1 - 01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПО ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ РАЗМЕРАМ И МАССЕ

1. Цель работы

Определение плотности однородных твердых тел по измерению их геометрических размеров и массы.

2. Теоретическое введение

Плотность тела

Распределение массы тела можно охарактеризовать с помощью величины, называемой *плотностью*.

*Если тело однородно, то есть свойства его во всех точках одинаковы, то **плотностью** называется величина, равная*

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

где m – масса тела; V – его объем.

В однородном теле плотность представляет собой массу единицы объема тела.

Для тела с неравномерно распределенной массой выражение (1.1) дает среднюю плотность. *Плотность неоднородного тела в определенной точке – это предел отношения массы Δm тела к его объему ΔV , когда объем стягивается в точку:*

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}. \quad (1.2)$$

В выражении (1.2) Δm – масса, заключенная в объеме ΔV , который при предельном переходе стягивается в точку, в которой определяется плотность (уменьшение ΔV производят до тех пор, пока не будет получен физически бесконечно малый объем).

Часто используют понятие *относительной плотности*. Например, плотность жидких и твердых веществ может определяться по отношению к плотности дистиллированной воды при 4 °С, а газов – по отношению к плотности сухого воздуха или водорода при нормальных условиях.

Единица плотности: в СИ – кг/м³, в системе СГС – г/см³.

Плотность (ρ) и удельный вес (γ) связаны между собой отношением:

$$\gamma = ag\rho, \quad (1.3)$$

где g – местное ускорение свободного падения; a – коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц измерения.

Плотность веществ, как правило, уменьшается с ростом температуры и увеличивается с повышением давления. (Плотность воды с понижением температуры до 4 °С растет, при дальнейшем понижении температуры – уменьшается). При переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое плотность изменяется скачкообразно: резко увеличивается при переходе из газообразного в жидкое состояние и, как правило, при затвердевании. (Плотность воды и чугуна аномально уменьшается при переходе из жидкой фазы в твердую).

Методы измерения плотности многообразны. Плотность идеальных газов определяется из уравнения состояния:

$$\rho = \frac{PM}{RT}, \quad (1.4)$$

где P – давление газа; M – молярная масса газа; R – универсальная газовая постоянная;

T – температура газа.

Плотность ρ сухого газа, имеющего при нормальных условиях ($P_n = 1 \text{ атм.} = 0,981 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $T_n = 273 \text{ К}$) плотность ρ_n , при давлении P и температуре T определяется формулой:

$$\rho = \frac{\rho_n P T_n}{P_n T_n k}, \quad (1.5)$$

где k – коэффициент сжимаемости, характеризующий отклонение реального газа от идеального.

Для влажного газа:

$$\rho = \frac{\rho_n (P - \varphi P_g) T_n}{P_n T_n k - \varphi \rho_g}, \quad (1.6)$$

где φ – относительная влажность газа; P_g и ρ_g – значения максимально возможного давления водяного пара при температуре T и максимально возможной его плотности при данных давлении P и температуре T (из таблиц).

Плотность жидкостей и твердых тел находят путем точного определения массы тела и его объема; используют также зависимость скорости распространения звуковых волн, изменение интенсивности γ - и β - излучения, прошедшего через вещество, от плотности. Приборы для определения плотности веществ называются плотномерами.

В данной работе определение плотности однородного твердого тела сводится к измерению его массы и объема.

Масса тела определяется прямым измерением – взвешиванием на лабораторных весах. В случае, когда тело покоится, вес тела совпадает с силой тяжести

$$P = mg, \quad (1.7)$$

где m – это масса тела, g – ускорение свободного падения в данном месте. Вес тела непосредственно измеряют с помощью пружинных весов, где используется

пропорциональность веса и массы. Лабораторные весы отградуированы таким образом, что их показания соответствуют массе тела.

Объем тела, имеющего форму цилиндра, вычисляется по формуле:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h, \quad (1.8)$$

где d – диаметр цилиндра; h – его высота.

Линейные размеры тела h и d определяются в результате прямых измерений штангенциркулем и микрометром.

Основы теории обработки результатов измерений физических величин

Результаты любых измерений, в том числе физических, как бы тщательно они не выполнялись, подвержены определенным погрешностям. Поэтому при проведении измерений встает задача не только получить значение измеряемой величины, но и оценить погрешность ее определения, а также, в случае необходимости, видеть пути уменьшения этой погрешности.

В данном разделе излагаются основные представления теории погрешностей (ошибок) измерений, знание которых необходимо для грамотного проведения любого эксперимента. Более подробно теория ошибок изложена в литературе, список которой приведен.

Физика – наука экспериментальная. Физические законы и закономерности рассматриваемых явлений устанавливаются и проверяются опытным путем. Целью физического эксперимента является: 1) определение тех или иных констант – фундаментальных (например, скорости света, заряда электрона, постоянной Планка и т. п.) и материальных (например, плотности вещества, удельного сопротивления, теплоемкости и т. п.) и 2) установление физических зависимостей (например, зависимостей от температуры линейных размеров тела, удельного сопротивления,

теплоемкости и т. п.; давления газа от им занимаемого объема, силы тока в проводнике от падения напряжения на нем и т. д.).

Результатом физического эксперимента является, как правило, измерение какой-либо физической величины. *Измерить данную физическую величину означает сравнить ее с величиной того же рода, принятой за единицу, и установить их отношение.*

Процесс измерения осуществляется с помощью того или иного измерительного прибора, у которого величина, принятая за единицу (сантиметр, миллиметр или его доля; грамм, миллиграмм или его доля; ампер или миллиампер и т. д.) устанавливается и проверяется путем сравнения с эталонным прибором. Таким образом, путем сравнения (вообще говоря, в несколько этапов) величины, принятой за единицу, данного измерительного прибора с образцовой мерой (эталонном, хранящимся в условиях ,гарантирующих постоянство его свойств) обеспечивается сопоставимость результатов измерений, выполненных с помощью разных приборов.

Прямые и косвенные измерения . В случае прямых измерений значение измеряемой величины непосредственно отсчитывается по шкале прибора (измерение линейных размеров тела микрометром или штангенциркулем; взвешиванием тел на весах и т. п.).

В большинстве случаев производят косвенные измерения, когда измеряемая величина определяется аналитической формулой, в которую входят величины, измеряемые путем прямых измерений. В формулу могут также входить табличные значения, а также точные числа (натуральные, рациональные и иррациональные числа; величины, известные с очень высокой степенью точности, например, число π).

Так, косвенное измерение сопротивления проволоки можно произвести в соответствии с формулой $R = \rho \frac{l}{\pi \frac{D^2}{4}}$ путем прямых измерений ее длины l и диаметра

D , используя табличное значение удельного сопротивления ρ материала проволоки. Числа π и 4 в формуле являются точными.

Систематические и случайные погрешности измерений. При измерении любой физической величины всегда определяется, как отмечалось, лишь приближенное ее значение, что обусловлено неизбежными для любого эксперимента ошибками.

Погрешности, возникающие при измерениях, делятся на систематические, случайные и грубые (промахи). Поясним различия между ними на примерах. Так, производя взвешивание, принято взвешиваемое тело помещать на левую чашку весов, а разновес – на правую. Поскольку плечи весов невозможно сделать в точности одинаковыми, то разница в длине плеч искажает результаты измерений, завышая или занижая измеряемый вес, причем всегда одинаковым образом. Другой пример – измерение длины тела в условиях, пусть незначительно, но непрерывно изменяющейся (возрастающей или уменьшающейся) температуры, не учитываемых экспериментатором. Погрешности в этих измерениях по указанным причинам относятся к числу систематических.

Систематическими погрешностями называются такие погрешности, которые сохраняют величину и знак от опыта к опыту, или изменяются по определенному закону.

Однако указанные погрешности при взвешивании или измерении длины тела не являются единственными. Качания коромысла весов происходят с трением. Поэтому не только сама измеряемая величина, но и ошибки ее измерения оказываются несколько различными как по величине, так и по знаку. В случае измерения длины тела случайные перекосы тела или разная сила нажима на измерительный инструмент (микрометр или штангенциркуль) также приводят к немного различающимся результатам. Рассматриваемые ошибки относятся к числу случайных.

Случайные погрешности – это погрешности, величина и знак которых изменяются случайным, непредсказуемым образом от одного измерения к другому, выполняемых одинаковым образом и в одинаковых условиях.

Третий вид погрешностей – *грубые погрешности или промахи*. Их источником является недостаточное внимание выполняющего измерения: неверная запись показаний прибора, неправильное определение цены деления прибора, грубое нарушение методики измерений.

Таким образом, при проведении физических измерений важно не только получить усредненное значение измеряемой величины, но и оценить погрешность ее определения. Измерения должны проводиться таким образом, чтобы погрешности измерений соответствовали поставленной задаче.

Предположим, что нужно измерить ускорение свободного падения g на широте Москвы с относительной точностью 5%. Пусть в ряде измерений каким-либо методом получено усредненное значение $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Ответить на вопрос, хорошо ли (точно ли) проведены измерения, хотя это значение совпадает с табличным, нельзя, пока не будет оценена погрешность этих измерений. Если абсолютная ошибка этих измерений оказалась равной $\Delta g = 3 \text{ м/с}^2$, то это означает, что измеряемая величина g находится где-то в интервале $6,8 \leq g \leq 12,8 \text{ м/с}^2$, что соответствует относительной погрешности

$\frac{\Delta g}{g} 100\% = 30\%$. Такое измерение, очевидно, признать хорошим (точным, в

соответствии с поставленной задачей) нельзя. Если же абсолютная ошибка будет равна

$\Delta g = 0,3 \text{ м/с}^2$, то есть величина g находится в интервале от 9,5 до 10,1 м/с^2 и

$\frac{\Delta g}{g} 100\% = 3\%$, то следует сделать вывод, что измерения соответствуют поставленной

выше задаче.

Не следует требовать от измерений большей точности, чем это необходимо для решения поставленной задачи, так как это ведет, как правило, к неоправданному значительному усложнению эксперимента.

Так, например, при изготовлении доски для книжной полки не требуется точность выше, чем $(0,5 \div 1)$ см, что составляет примерно 1% от длины доски; при изготовлении деталей шарикоподшипников не нужна точность больше, чем 0,001 мм, так как это уже примерно 0,01% от размера детали; при определении положения спектральной линии в ходе спектрального анализа на легирующую добавку конструкционной стали необходимая точность значительно выше 10^{-11} см, что составляет уже около $10^{-5}\%$ от длины волны этой линии, но и большая точность тоже не нужна.

Итак, точность измерений должна соответствовать поставленной задаче. Вместе с тем, следует иметь в виду, что в определенных случаях (например, при научных исследованиях) неоправданное, на первый взгляд, повышение точности измерений может привести к обнаружению нового факта или явления. Так, повышение точности измерения плотности воды, величина которой, казалось бы, была хорошо известна, привело в 1932 г. к открытию дейтерия – тяжелого изотопа водорода, ничтожное содержание которого в обычной воде немного увеличивало ее плотность.

Вычисление погрешностей прямых измерений

В случае прямых измерений значение измеряемой величины a непосредственно отсчитывается по шкале прибора (взвешивание тела на весах; измерение размеров тела микрометром, штангенциркулем или линейкой и т.п.). Обработку результатов прямых измерений можно проводить в следующем порядке:

1) Результаты каждого из n прямых измерений величины a записывают в таблицу экспериментальных данных.

2) Вычисляют среднее арифметическое \bar{a} из n измерений:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (1.9)$$

3) Находят ошибки отдельных измерений

$$\Delta a_i = \bar{a} - a_i \quad (1.10)$$

и вычисляют их квадраты.

4) Вычисляют среднеквадратичную погрешность прямого измерения величины :

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta a_i^2}{n(n-1)}}. \quad (1.11)$$

5) Определяют приборную погрешность измерительного прибора, которая принимается равной половине минимальной цены деления шкалы прибора

$$(\Delta a)_{\text{приб}} = 0,5 C_{\min}, \quad (1.12)$$

где C_{\min} – значение одного деления. В случае, если используется электроизмерительный прибор, то его погрешность вычисляется по классу точности и предельному значению шкалы прибора $A_{\text{пр}}$.

$$(\Delta a)_{\text{приб}} = \frac{\text{класс_точности}}{100} A_{\text{пр}}. \quad (1.13)$$

6) Результирующую (абсолютную) погрешность прямого измерения величины a с учетом погрешности прибора находят по формуле:

$$\Delta a = \sigma_a + (\Delta a)_{\text{приб}}. \quad (1.14)$$

Примечание: если определяемая величина измеряется только один раз, то абсолютная погрешность прямого измерения принимается равной приборной погрешности.

7) Результат расчета измерений величины a записывают в виде:

$$a = \bar{a} \pm \Delta a. \quad (1.15)$$

8) Для характеристики точности измерений находят относительную погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta a}{a} 100\% \quad (1.16)$$

Вычисление погрешностей косвенных измерений

В большинстве случаев, производят косвенные измерения, когда измеряемая величина Z определяется аналитически по формуле:

$$Z = f(a, b, c, \dots), \quad (1.17)$$

в которую входят величины (a, b, c, \dots) , определяемые путем прямых измерений. В формулу могут также входить табличные значения и точные числа (натуральные, рациональные и иррациональные), величины, известные с очень высокой степенью точности, например, число π .

Обработку результатов косвенных измерений проводят в следующем порядке:

- 1) Результаты прямых измерений величин a, b, c, \dots записывают в таблицу экспериментальных данных.
- 2) Вычисляют средние арифметические значения этих величин

$$\begin{aligned} \bar{a} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i, \\ \bar{b} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i, \\ \bar{c} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i, \dots \end{aligned} \quad (1.18)$$

- 3) Находят наиболее вероятное значение искомой величины Z , подставляя в формулу (1.17) значения из расчетов (1.18)

$$\bar{Z} = f(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \dots). \quad (1.19)$$

- 4) Вычисляют абсолютные ошибки прямых измерений каждой из величин a, b, c, \dots (см.(1.9) – (1.14))

$$\Delta a, \Delta b, \Delta c, \dots \quad (1.20)$$

- 5) Находят частные производные искомой величины Z при средних значениях $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \dots$

$$Z'_a = \left. \frac{df}{da} \right|_{\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \dots}$$

$$Z'_b = \left. \frac{df}{db} \right|_{\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \dots}$$

$$Z'_c = \left. \frac{df}{dc} \right|_{\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \dots} \quad (1.21)$$

- 6) Вычисляют абсолютную погрешность косвенного измерения величины Z по формуле

$$\Delta Z = Z'_a \cdot \Delta a + Z'_b \cdot \Delta b + Z'_c \cdot \Delta c + \dots \quad (1.22)$$

- 7) Результат расчета измерений величины Z записывают в виде

$$Z = \bar{Z} \pm \Delta Z. \quad (1.23)$$

- 8) Для характеристики точности измерений находят относительную погрешность

$$\delta = \frac{\Delta Z}{\bar{Z}} 100\%. \quad (1.24)$$

3. Описание измерительных приборов

Для измерения линейных размеров тела (в данной работе цилиндра) используют штангенциркуль и микрометр. Эти измерительные приборы имеют шкалу, разбитую на деления. Нанести на шкалу с высокой точностью мелкие деления в виде очень тонких

штрихов – задача весьма сложная, и для отсчета по такой шкале приходится использовать лупу или микроскоп. Поэтому для повышения точности измерения широко применяются нониусы и микрометрические винты.

Нониус. При измерении небольших длин для повышения точности измерения пользуются масштабной линейкой (основной шкалой), снабжённой нониусом. Нониусом называется дополнительный масштаб, позволяющий повысить точность измерения с данным масштабом в 10 раз и более. Он представляет собой скользящую вдоль основной шкалы небольшую линейку с нанесёнными делениями (рис.1).

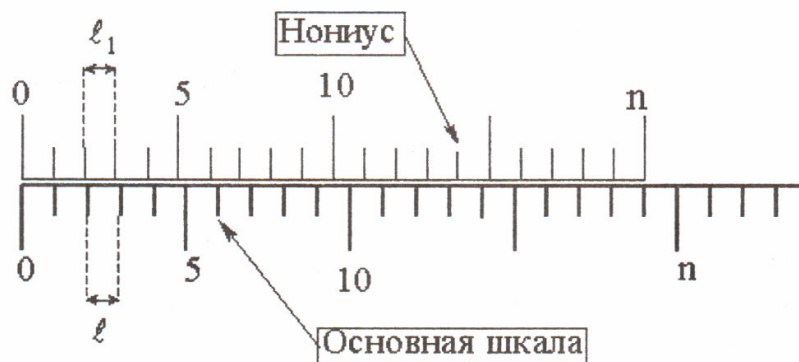


Рис. 1. Линейка с нониусом

Цена деления нониуса l_1 не равна цене деления основной шкалы l . В общем случае суммарная длина всех n делений нониуса равна длине $(n-1)$ делений основной шкалы т.е.

$$nl_1 = (n-1)l \Rightarrow l_1 = l - \frac{l}{n} \quad (1.25)$$

Следовательно, цена деления нониуса отличается от цены деления основной шкалы на величину

$$\Delta l = l - l_1 = \frac{l}{n} \quad (1.26)$$

Величина Δl называется *точностью нониуса*. Она даёт наименьшую величину, которую можно измерить с помощью линейки с нониусом, т.е. максимальную абсолютную погрешность нониуса (приборную погрешность).

Для шкал с ценой деления $l = 1\text{мм}$ нониус обычно имеет длину 9 мм и разделён на 10 равных частей. Следовательно, в этом случае цена деления нониуса $l_1 = 0,9\text{мм}$ и точность нониуса $\Delta l = 0,1\text{мм}$.

Рассмотрим процесс измерения длин с помощью линейки, снабжённой таким нониусом. Пусть начало предмета, длину L которого необходимо измерить, совпадёт с началом основной шкалы, а конец находится между 16-м и 17-м делениями основной шкалы прибора (рис.2). Тогда

$$L = 16l + \Delta L, \quad (1.27)$$

где ΔL – пока ещё неизвестная доля 17-го деления основной шкалы.

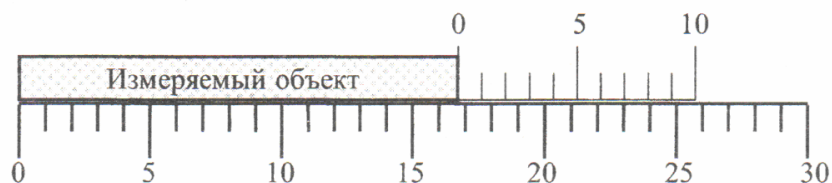


Рис.2. Измерения с помощью нониуса штангенциркуля

Так как цена деления нониуса не равна цене деления основной шкалы, то обязательно найдётся на нониусе такое деление (7-е на рис. 2), которое будет ближе всего находиться к соответствующему 23-му (16+7) делению основной шкалы. Из рис.2 видно, что

$$\Delta L = 7l - 7l_1 = 7(l - l_1) = 7\Delta l = 0,7\text{мм} \quad (1.28)$$

Следовательно, $L = 16,7\text{мм}$

Итак, *длина предмета, измеряемого при помощи нониуса, равна числу целых делений масштаба основной шкалы плюс произведение точности нониуса на номер деления нониуса, совпадающего (или ближе всего лежащего) с некоторым делением масштаба основной шкалы.*

Погрешность, которая может возникнуть при таком методе отсчета, обусловлена неточным совпадением деления нониуса с делением основной шкалы. Поэтому приборная погрешность равна точности нониуса.

Если для шкалы с ценой деления 1 мм нониус имеет длину 19 мм и разделен на 20 равных частей, то в этом случае цена деления нониуса 0,95 мм и точность нониуса (а следовательно, и абсолютная погрешность) равна 0,05 мм.

При более точных измерениях употребляется измерительная линейка с ценой деления основной шкалы 0,5 мм и нониус имеет такую шкалу, что его 50 делений соответствуют 49 делениям основной шкалы. Цена деления такого нониуса 0,49 мм и точность такого нониуса равна 0,01 мм.

Порядок измерений с помощью приборов с линейным нониусом аналогичен и для приборов с угловым нониусом, которым снабжены, например, теодолит и другие приборы.

Штангенциркуль (рис. 3) состоит из стальной линейки *A* с миллиметровыми делениями, с одной стороны которой имеется неподвижная ножка *B*. На подвижной части штангенциркуля находятся ножка *D* и нониус *C*, которые могут перемещаться вдоль линейки *A*. Когда ножки *B* и *D* соприкасаются, ноль линейки и ноль нониуса должны совпадать. Для того чтобы измерить линейные размеры предмета *M*, его помещают между ножками, которые сдвигают до соприкосновения с предметом (без сильного нажима) и закрепляют винтом *E*. После этого делают отсчет по линейке и нониусу и вычисляют длину предмета.

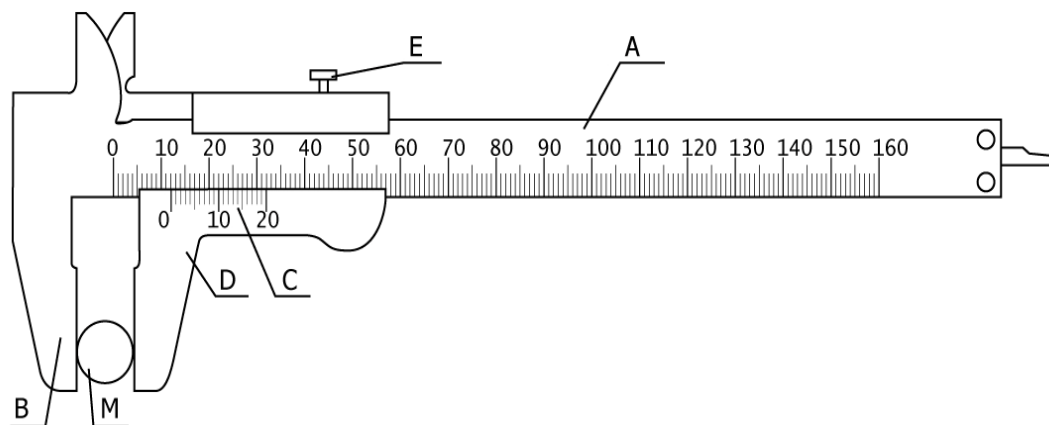


Рис.3. Штангенциркуль

Микрометр (рис. 4) состоит из двух основных частей: скобы *B* и микрометрического винта *A*.

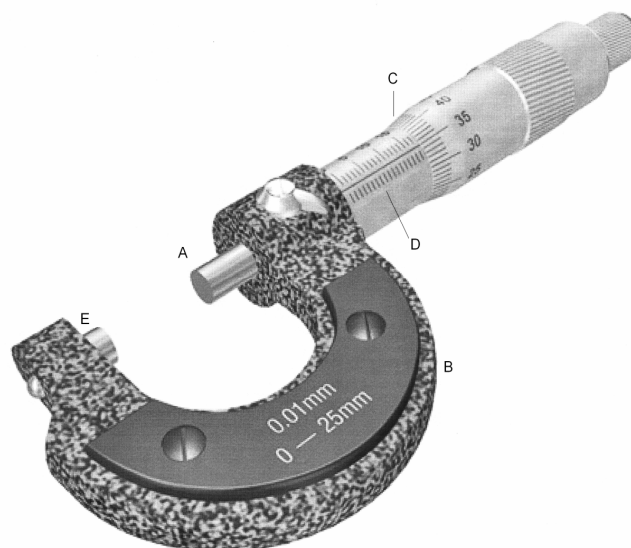


Рис.4. Микрометр

Микрометрический винт *A* проходит через отверстие скобы *B* с внутренней резьбой. Против микрометрического винта, на скобе, имеется упор *E*. На микрометрическом винте закреплен полый цилиндр (барaban) *C* с делениями по

окружности, при вращении микрометрического винта барабан скользит по линейной шкале, нанесенной на стебле *D*.

Для измерения микрометром предмет помещают между упором *E* и микрометрическим винтом *A* (рис. 4) и вращают винт *A* за фрикционную головку *M* до появления звука трещотки. При этом измеряемый объект будет зажат между упором *E* и концом винта *A* (вращение винта *A* производится только за головку *M*, так как в противном случае легко сбить совпадение нулей шкалы стебля *D* и барабана *C*).

Действие микрометра основано на свойстве винта при повороте совершать перемещение в направлении оси, пропорциональное углу поворота. За один оборот винт перемещается на расстояние, равное шагу. Наиболее распространенным является микрометр с шагом винта 0,5 мм: для того чтобы микрометрический винт *A* передвинуть на один миллиметр, необходимо сделать два оборота барабана *C*. Линейная (основная) шкала расположена по обе стороны от продольной черты на стебле *D*: верхние и нижние риски шкалы сдвинуты относительно друг друга на полмиллиметра; цифры проставлены только для делений нижней шкалы, которая представляет собой обычную миллиметровую шкалу (см. рис. 4).

Так как барабан разделен на 50 делений, то поворот барабана на одно деление соответствует продольному перемещению винта на 0,01 мм. Эта величина (цена одного деления барабана) и представляет собой точность микрометра. При отсчете по микрометру число сотых долей микрометра, отсчитанных по шкале барабана против продольной черты основной шкалы, прибавляют к числу целых миллиметров, если последним открывается из-под края барабана нижнее деление основной шкалы. Если же последним открылось верхнее деление, то к целому числу миллиметров, определенному последним видимым нижним делением, добавляют 0,5 мм и число сотых долей, отсчитанных по барабану.

Отсчет показаний микрометра производится по нижней линейной шкале на стебле *D* и по круговой шкале на барабане *C*. По нижней линейной шкале отсчитывается число целых миллиметров, по верхней шкале - их половинные доли (если они есть), а по круговой шкале - сотые доли миллиметра.

При измерениях возможны два случая:

а) левый край барабана закрывает штрих верхней линейной шкалы, делящей последний миллиметр, отсчитанный по нижней шкале, пополам (рис. 5,а). В этом случае показания микрометра складываются из целого числа миллиметров, отсчитанных по нижней линейной шкале до левого края барабана, и сотых долей миллиметра, отсчитанных по круговой шкале при совпадении ее штриха с горизонтальной линией продольной шкалы. Например, показание микрометра на рис. 5,а соответствует $7 \text{ мм} + 0,34 \text{ мм} = 7,34 \text{ мм}$.

б) левый край барабана находится правее того штриха верхней линейной шкалы, который делит последний видимый миллиметр нижней шкалы пополам (рис. 5,б). В этом случае к показаниям нижней линейной шкалы и круговой шкалы прибавляется $0,50 \text{ мм}$. Например, на рис. 5,б показание микрометра: $7 \text{ мм} + 0,50 \text{ мм} + 0,34 \text{ мм} = 7,84 \text{ мм}$.

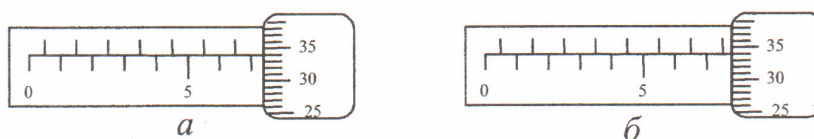


Рис.5. Измерения с помощью микрометрического винта

Масса тела определяется прямым измерением – взвешиванием на учебных лабораторных (электронных) весах типа ВУЛ-100. Учебные лабораторные весы типа ВУЛ-100 – это цифровой прибор. Приборную погрешность в таком случае принимают равной единице последнего разряда. Например, при взвешивании тела №1 весы показали значение $16,8 \text{ г}$, а при взвешивании тела №2 весы показали значение $11,0 \text{ г}$.

Так как весы электронные, их показания точные, взвешивание проводят один раз. В таком случае значения средних масс тел будут равны соответствующим показаниям весов, а приборная погрешность определения массы для каждого тела будет равна 0,1г.

Таблица 1. Технические данные приборов

Прибор	Пределы измерений	Цена деления	Приборная погрешность
Штангенциркуль			
Микрометр			

4. Порядок выполнения работы

При выполнении работы необходимо соблюдать общие требования по технике безопасности и охране труда, установленные на рабочем месте студента в лаборатории.

4.1. Заполните таблицу 1.

4.2. Взвешиванием определите массу образца и погрешность определения массы.

4.3. Измерьте (5 раз) штангенциркулем высоту цилиндра h .

4.4. Измерьте микрометром диаметр цилиндра d (также 5 раз).

4.5. Результаты измерений занесите в таблицу 2.

4.6. Произведите обработку результатов измерений.

Масса образца $\bar{m} =$ _____ кг.

Погрешность измерения массы $\Delta m =$ _____ кг.

Таблица 2. Таблица измерений

№ опыта	d_i , м	Δd_i , м	h_i , м	Δh_i , м
1				
2				
3				
4				
5				
	$\bar{d} =$, м	$\sigma_d =$, м	$\bar{h} =$, м	$\sigma_h =$, м

5. Обработка результатов измерений

5.1. Рассчитайте средние значения диаметра \bar{d} и высоты \bar{h} образца:

$$\bar{d} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 d_i =$$

$$\bar{h} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 h_i =$$

Результаты расчетов занесите в таблицу 2.

5.2. Вычислите среднеквадратичные погрешности измерений диаметра σ_d и высоты σ_h , предварительно определив погрешности отдельных измерений

$$\Delta d_i = \bar{d} - d_i \text{ и } \Delta h_i = \bar{h} - h_i :$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\Delta d_1^2 + \Delta d_2^2 + \Delta d_3^2 + \Delta d_4^2 + \Delta d_5^2}{5 \cdot 4}} =$$

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\Delta h_1^2 + \Delta h_2^2 + \Delta h_3^2 + \Delta h_4^2 + \Delta h_5^2}{5 \cdot 4}} =$$

Результаты расчетов занесите в табл. 2.

5.3. Рассчитайте абсолютные погрешности прямых измерений диаметра Δd и высоты Δh ($(\Delta d)_{\text{приб}}$ и $(\Delta h)_{\text{приб}}$ – приборные погрешности измерений диаметра образца микрометром и высоты образца штангенциркулем соответственно):

$$\Delta d = \sigma_d + (\Delta d)_{\text{приб}} =$$

$$\Delta h = \sigma_h + (\Delta h)_{\text{приб}} =$$

Результаты расчетов также занесите в табл. 2:

5.4. Вычислите среднее значение плотности образца:

$$\bar{\rho} = \frac{4\bar{m}}{\pi \cdot \bar{d}^2 \cdot \bar{h}} =$$

5.5. Рассчитайте абсолютную ошибку косвенного измерения плотности образца $\Delta\rho$, предварительно вычислив частные производные при средних значениях диаметра, высоты и массы образца:

$$|\rho'_d| = \left| \frac{d\rho}{dd} \right| = \frac{8\bar{m}}{\pi \cdot \bar{d}^3 \cdot \bar{h}} =$$

$$|\rho'_h| = \left| \frac{d\rho}{dh} \right| = \frac{4\bar{m}}{\pi \cdot \bar{d}^2 \cdot \bar{h}^2} =$$

$$|\rho'_m| = \left| \frac{d\rho}{dm} \right| = \frac{4}{\pi \cdot \bar{d}^2 \cdot \bar{h}} =$$

$$\Delta\rho = |\rho'_d| \cdot \Delta d + |\rho'_h| \cdot \Delta h + |\rho'_m| \cdot \Delta m =$$

5.6. Относительную ошибку косвенного измерения плотности образца определите по формуле

$$\delta = \frac{\Delta\rho}{\bar{\rho}} \cdot 100\% =$$

5.7. Запишите окончательный результат расчётов в виде:

$$\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta\rho) = \text{_____} (\text{кг/м}^3)$$

$$\delta = \text{_____} \%$$

5.8. Используя таблицу плотности тел, определите:

- а) материал, из которого изготовлено тело;
- б) попадает ли табличное значение плотности тела в интервал $\bar{\rho} - \Delta\rho < \rho_{таб} < \bar{\rho} + \Delta\rho$.

5. Библиографический список

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Кн.1. Механика. М.: Издательство Астрель. 2003.-253с.
2. Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. (№ 805). М.: МИСиС. «Учеба». 2007.-108с.
3. Красильников О.М. Методическое руководство по обработке результатов измерений. М.: МИСиС. 1985.
4. Физическая энциклопедия. Т.1 иТ.3. М.: Большая Российская энциклопедия. 1992.

6. Контрольные вопросы

1. Дайте определение плотности тела.
 2. С какой точностью измеряется диаметр образца в данной работе?
 3. Как определяется абсолютная ошибка прямых измерений?
 4. Как вычисляется абсолютная ошибка косвенных измерений?
 5. Перечислите ошибки, возникающие при измерениях физических величин.
- 6. Задача.** Найдите плотность вещества, из которого изготовлен шарик радиусом 10 см, если масса шарика равна массе цилиндра высотой 22 см и радиусом 14 см, изготовленного из алюминия (плотность алюминия $\rho = 2,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$).