

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Кафедра Общей и технической физики

Физика
Определение плотности твердых
тел по их геометрическим
размерам и массе

*Методические указания к лабораторной работе
для студентов всех специальностей и направлений подготовки
бакалавриата*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2016

УДК 531/534 (075.8)

ФИЗИКА. Определение плотности твердых тел по их геометрическим размерам и массе: Методические указания к лабораторной работе. Составители Водкайло Е.Г., Кожокарь М.Ю./ Национально минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2016, 30.

Методические указания к лабораторной работе курса физики предназначена для студентов всех специальностей и направлений подготовки бакалавриата.

С помощью методического указания студент имеет возможность, в предварительном плане, ознакомиться с физическими явлениями, методикой выполнения лабораторного исследования и правилами оформления лабораторных работ.

Выполнение лабораторных работ проводится студентом индивидуально по графику.

Табл. 5. Ил. 9. Библиогр.: 8 назв.

Научный редактор доц. Н.Н. Смирнова

© Национально минерально-сырьевой университет «Горный», 2016 г.

ВВЕДЕНИЕ

Цель проведения лабораторных работ, как и проведения дисциплины в целом – обеспечить приобретение знаний и умений по физике в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) по различным направлениям подготовки специалистов и бакалавров.

В соответствии с требованиями ФГОС к результатам освоения дисциплины лабораторный практикум направлен на формирование компетенций заключающихся в способностях:

- организовать свою работу для достижения поставленных целей;
- применять на практике приобретенные навыки при поведении и описании исследований, в том числе экспериментальных;
- работать самостоятельно;
- использовать инновационные идеи;
- принимать участие в научно-исследовательских разработках по профилю подготовки.

Лабораторный практикум по физике в рамках дополнения натурального эксперимента, при обеспечении требуемой точности, делает эксперимент существенным элементом повышения качества обучения и усиления его мотивации. Кроме того, физические задачи, выраженные не только в текстовом виде, но и представленные в модельно объёмном лабораторном варианте, позволяют обучать принятию технических решений различных уровней. Это является весьма важным элементом инженерного образования.

В методическом указании приведено описание лабораторной работы по определению линейных размеров тел с помощью штангенциркуля и микрометра, массы тел с помощью технических и аналитических весов, определению плотности твердых тел правильной геометрической формы.

Студенты при выполнении базовых заданий на основе экспериментальных данных определяют такие параметры как масса m , объем V , плотность тела ρ , материал, из которого изготовлено тело, прямые и косвенные погрешности.

Методика проведения измерений, обработки экспериментальных данных, оценки погрешностей прямых и косвенных измерений, а также процедура подготовки студентов к выполнению работы и защиты отчетов производится в соответствии с требованиями кафедры общей и технической физики.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

1.1. 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/м^3 , в системе СГС – г/см^3 .

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

$$y = agp, \quad (1.3)$$

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:

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

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

Для влажного газа:

$$\rho = \frac{\rho_n (P - \varphi P_B) T_n}{P_n T k - \varphi \rho_B}, \quad (1.6)$$

где φ – относительная влажность газа, P_B и ρ_B – 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.

Плотность это свойство природных объектов, в том числе горных пород. У минералов плотность изменяется от 0.8 до 20 г/см³. В магматических породах щелочноземельного ряда наблюдается увеличение плотности от кислых к ультраосновным породам. У метаморфических пород одноименного минерального состава наблюдается увеличение плотности по мере усиления степени метаморфизма. Для осадочных пород в пределах одноименных стадий литогенеза тенденция изменения плотности определяется вещественно-петрографическим составом и соответствует изменению плотности твердой фазы.

Плотность дистиллированной воды составляет 1,01 г/см³, а у нефти она изменяется от 1,3 до 1,5 г/см³. При увеличении степени минерализации плотность воды возрастает.

Воздух, газо-воздушные смеси и чистые газы (метан, пентан и др.) имеют плотность $< 0,001$ г/см³.

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

1.2. Определение массы тела

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 различных весов. Лабораторные весы отградуированы таким образом, что их показания соответствуют массе тела.

Технические весы. Это рычажные весы (рис. 1). Основная часть весов – коромысло 1 со стрелкой 2. Посередине коромысла имеется опорная призма, по краям – сержки 3 с подвесками и чашками. Винты с гайками 4 служат для регулировки равновесия коромысла.

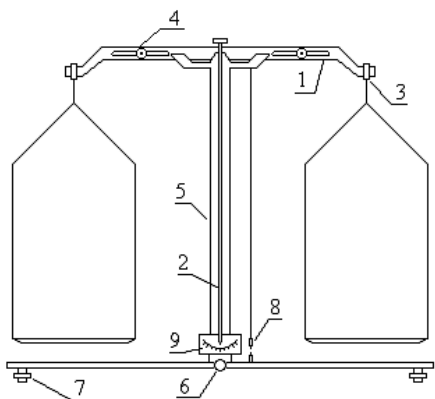


Рис. 1. Устройство технических весов

При измерениях массы коромысло опускается острием опорной призмы на стальную подушку, находящуюся в верхней части колонки 5. В отсутствие измерений коромысло немного приподнимают, тем самым предохраняют опорную призму от изнашивания. Подъем и опускание коромысла осуществляют ручкой 6 специального устройства –

арретира. Для этого ручку 6 поворачивают до упора влево или вправо (весы разарретированы), затем до упора в другую сторону (весы арретированы, т.е. в нерабочем состоянии). Уравнивающие винты 7 обеспечивают вертикальность колонки 5; что контролируется отвесом 8.

Взвешивание на рычажных весах – это определение массы тела путем её сравнения с массой эталонного груза – разновеса. Процесс взвешивания состоит из последовательных операций уравнивания весов и включает следующие этапы.

1. Подготовка весов к взвешиванию: установка весов по отвесу и уравнивание коромысла ненагруженных весов с помощью гаек 4. Весы уравновешены, если при разарретировании стрелка 2 отклоняется приблизительно на равные расстояния от среднего деления шкалы 9 (это взвешивание в грубом приближении).

2. Взвешивание: на левую чашку арретированных весов помещают взвешиваемое тело, на другую – пинцетом разновес, добиваясь такого же равновесия, как и в случае ненагруженных весов. При этом испытывают гирьки разновеса, начиная с наибольшей в той последовательности, в которой они уложены в коробке разновеса. В момент снятия и накладывания грузов и разновеса на чашки, весы обязательно арретируются. Не допускается раскачивание чашек при взвешивании, загрязнение и т.д.

В грубом приближении за точность измерения массы можно принять разность масс тела, полученных при взвешивании с избытком и недостатком. При этом, если в уравновешенных нагруженных весах положение равновесия стрелки 2 немного смещено вправо от середины шкалы 9, то масса определена с недостатком (m_H), если влево – то с избытком ($m_{И}$). Погрешность измерения массы равна для этого случая:

$$\Delta m = \frac{1}{2}(m_{И} + m_H). \quad (1.8)$$

Если стрелка остановилась на «0» – делении, то:

$$\Delta m = \frac{1}{2} m_{ИЗМЕРН}. \quad (1.9)$$

Электронные весы. Масса тела также определяется прямым измерением – взвешиванием на лабораторных электронных весах. Учебные лабораторные весы – это цифровой прибор. Приборную погрешность в таком случае принимают равной единице последнего

разряда. Например, при взвешивании тела №1 весы показали значение 16,8 г, а при взвешивании тела №2 весы показали значение 11,0 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.

1.3. Нониус. Измерения с помощью нониуса

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.2). 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.

Цена деления нониуса отличается от цены деления основной шкалы на величину

$$\Delta l = l - l_1 = \frac{l}{n}. \quad (1.10)$$

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

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



Рис. 2. Линейка с нониусом

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.3). Тогда

$$L = 16l + \Delta L, \quad (1.11)$$

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

Так как цена деления нониуса не равна цене деления основной шкалы, то обязательно найдётся на нониусе такое деление (7-е на рис. 3), которое будет ближе всего находиться к соответствующему 23-му (16+7) делению основной шкалы. Из рис.3 видно, что

$$\Delta L = 7l - 7l_1 = 7(l - l_1) = 7\Delta l = 0,7\text{мм} \quad (1.12)$$

Следовательно, $L=16,7$ 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.

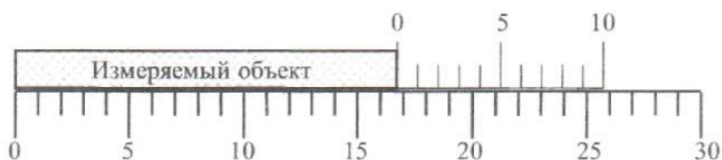


Рис. 3. Измерения с помощью нониуса штангенциркуля

1.4. Штангенциркуль. Определение длины тела с помощью штангенциркуля

Штангенциркуль служит для измерений контактным способом линейных размеров тел, при которых не требуется высокая точность, т.е. с абсолютной погрешностью от 0,02 мм до 0,1 мм. Штангенциркуль предназначен для наружных и внутренних измерений, а также для измерения глубины или высоты выступа.

Основной частью штангенциркуля (рис. 4) является масштабная линейка 1 или штанга, на которой нанесена миллиметровая шкала. Продольные грани штанги параллельны между собой. Вдоль штанги скользит подвижная рамка 6 с нониусом 8. Точность нониуса обычно указана на штанге. Положение рамки на штанге может быть зафиксировано с помощью винта 7.

Неподвижная ножка (губка) 3 жестко скреплена (или составляет одно целое) со штангой и является упором. Измерительная поверхность ножки строго перпендикулярна

продольным граням штанги. Подвижная рамка и подвижная ножка 2 также представляют одно целое.

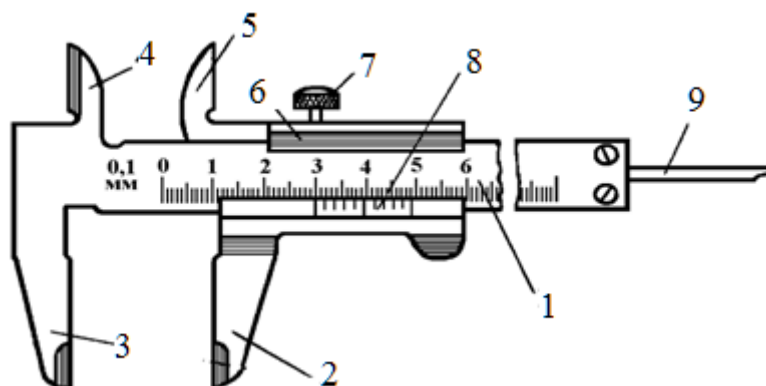


Рис. 4. Штангенциркуль ШЦ-I: 1 – штанга; 2 – подвижная нижняя ножка; 3 – неподвижная нижняя ножка; 4 – неподвижная верхняя ножка; 5 – подвижная верхняя ножка; 6 – рамка; 7 – винт для зажима рамки; 8 – нониус; 9 – линейка глубиномера

Рамка обеспечивает плавное передвижение подвижной ножки и ее устойчивое положение относительно штанги. Внутренние грани рамки плотно прилегают к наружным граням штанги – это обеспечивает параллельность измерительных поверхностей ножек, что очень важно при измерениях.

Когда измерительные поверхности ножек соприкасаются, нулевой штрих нониуса совпадает с нулевым штрихом масштаба. Если измерительные поверхности не соприкасаются, то расстояние между ними равно расстоянию между нулевыми штрихами масштаба и нониуса.

Штангенциркуль типа ШЦ-I с пределами измерений 0 – 125 мм (рис. 4) имеет две пары измерительных ножек. Две нижние ножки (2 и 3) служат для наружных измерений (рис. 5, а), а две верхние ножки (4 и 5) – для внутренних (рис. 5, б). Верхние ножки расположены так, что при измерении внутренних размеров

отсчет ведется от нуля, т.е. так же, как и при измерении наружных размеров.

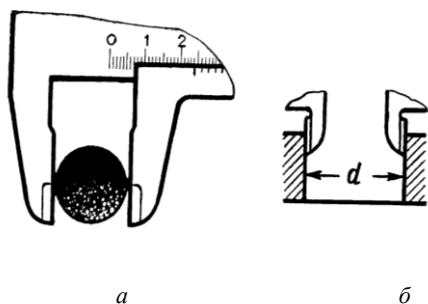


Рис. 5. Измерение с помощью штангенциркуля ШЦ-I: *a* – наружных размеров; *б* – внутренних размеров

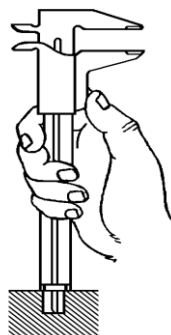


Рис. 6. Измерение глубины отверстия

Штангенциркуль ШЦ-I снабжен глубиномером в виде линейки или стержня 9 (рис. 4), который жестко скреплен с подвижной рамкой. Если измерительные поверхности ножек соприкасаются (нулевые штрихи совпадают), то торец глубиномера совпадает с торцом штанги. При перемещении рамки линейка глубиномера выдвигается. На сколько нулевой штрих нониуса сдвинут относительно нулевого штриха масштаба, на столько же линейка глубиномера выступает за торец штанги. Линейка глубиномера применяется для измерения глубины или высоты выступа (рис. 6).

Существует несколько видов штангенциркулей. Они отличаются типом и количеством измерительных ножек, длиной штанги, типом нониуса и наличием некоторых вспомогательных деталей.

Для того чтобы измерить длину тела, необходимо поместить его между ножками штангенциркуля, *сдвинуть измерительные*

поверхности ножек до соприкосновения с телом и закрепить рамку стопорным винтом. Длина тела равна расстоянию между нулевыми штрихами масштаба и нониуса. Это расстояние равно сумме двух слагаемых – целому числу миллиметров, сложенному с дробной частью. Целое число k миллиметров равно числу целых делений масштаба, находящихся слева от нулевого штриха нониуса. Дробная часть равна произведению точности нониуса на номер m штриха нониуса, совпадающего со штрихом масштаба.

1.5. Микрометр. Определение длины тела с помощью микрометра

Основной деталью микрометра является подвижный микрометрический винт. Микрометр служит для измерений контактным способом линейных размеров тел с точностью до 0,01 мм (у некоторых микрометров – до 0,001 мм).

Микрометр (рис. 7) состоит из массивной скобы 1, в муфтах 2 и 5 которой находятся с одной стороны стержень 4 микрометрического винта, с другой – опорная пята 3. Отполированные поверхности торцов опорной пяты и стержня микрометрического винта являются измерительными поверхностями. На другом конце стержня нанесена внешняя микрометрическая резьба. Этот конец находится внутри неподвижной полый трубки (стебля) 6, имеющей внутреннюю резьбу, и прочно соединен с подвижной полый трубкой 7, которую называют барабаном. С помощью барабана происходит перемещение микрометрического винта.

Предел измерения микрометрическим инструментом ограничивается 25 мм. Это вызвано технологическими причинами – необходимостью обеспечивать требуемую точность при нарезании микрометрической резьбы.

На неподвижной трубке нанесены *продольная линия и основная (неподвижная) шкала*. Расстояние между ближайшими

штрихами этой шкалы равно шагу микрометрического винта. Если на неподвижной трубке нанесены только миллиметровые деления, то шаг винта равен 1 мм; если же обозначены еще и половинки миллиметров, то шаг винта равен 0,5 мм. Продольная линия служит нулевой линией для отсчета долей миллиметра по барабану.

Цена деления неподвижной шкалы стебля 0,5 мм. Штрихи нанесены как под нулевой продольной линией, так и над ней.

Шаг винта равен

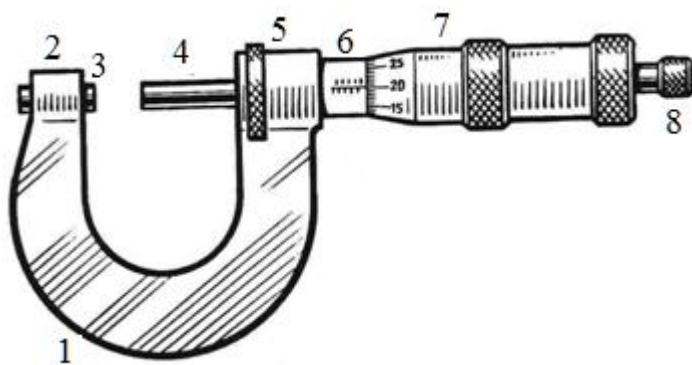


Рис. 7. Микрометр: 1 – скоба; 2 – левая муфта; 3 опорная пятя; 4 – стержень микрометрического винта; 5 – правая муфта; 6 – неподвижная полая трубка (стебель); 7 – подвижная полая трубка (барабан); 8 – головка трещотки

расстоянию между ближайшими верхним и нижним штрихами. Цифры проставлены только у нижних штрихов, то есть нижняя шкала представляет собой обычную миллиметровую линейку.

На барабане наискось срезан один конец. На этом срезе нанесена шкала, которая является подвижной. На шкале барабана нанесено 50 равных делений. Поворот барабана на одно деление соответствует перемещению микрометрического винта и его стержня вдоль оси на $1/50$ шага винта, что составляет 0,01 мм. Это сделано для удобства отсчета.

При работе с микрометром нужно помнить, что главным источником ошибок является *неконтролируемость нажатия* микрометрического винта на измеряемый предмет. Винт с малым шагом превращает незначительные усилия руки, поворачивающей винт, в большие силы, действующие на измеряемый предмет и на микрометрическую резьбу. Это может привести как к деформации предмета, так и к преждевременному износу и повреждению микрометрической резьбы.

Для устранения этого недостатка рукоятка микрометра снабжена специальной головкой 8 – «трещоткой». Трещотка имеет холостой ход, т.е. *продолжает вращаться, когда винт и барабан уже неподвижны*. Это позволяет *создать небольшие и всякий раз одинаковые, заданные ГОСТом, мерительные силы давления на измеряемый объект*.

Перед измерением необходимо определить начальное показание инструмента. Для этого нужно *привести в соприкосновение измерительные поверхности* стержня микрометрического винта и опорной пяты (рис. 8). Кромка среза барабана при этом должна совпадать с нулевым штрихом неподвижной шкалы стебля, вся неподвижная шкала должна быть закрыта, а нулевой штрих барабана должен совпадать с нулевой линией. Если такого совпадения нет, то нужно либо учесть систематическую погрешность, введя поправку к отсчету, либо устранить этот недостаток.

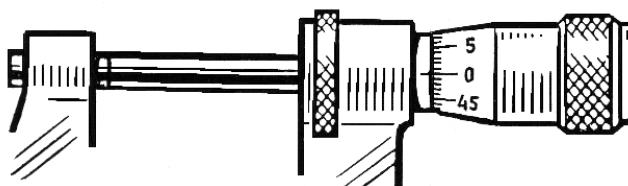


Рис. 8. Проверка начального показания микрометра

Для измерения микрометром предмет помещают между опорной пяткой и стержнем микрометрического винта и *вращают винт заголовку (трещотку) до появления 2-3 щелчков!*

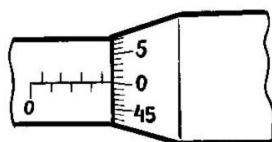
Все возможные показания микрометра представлены на рис. 9:

а) показания, в которых имеется лишь целое число миллиметров, а дробная часть равна нулю, например, 4,00 мм;

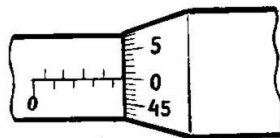
б) показания, в которых дробная часть равна половине миллиметра, например, 4,50 мм;

в) показания, в которых дробная часть меньше половины миллиметра, например, 4,19 мм;

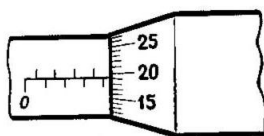
г) показания, в которых дробная часть больше половины миллиметра, например, 4,69 мм.



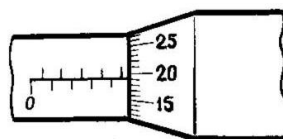
а



б



в



г

Рис. 9. Установка микрометра: а – на размер 4,00 мм; б – на размер 4,50 мм; в – на размер 4,19 мм; г – на размер 4,69 мм

В первых двух случаях с продольной линией стебля совпадает нулевой штрих барабана, причем кромка среза барабана касается штриха неподвижной шкалы. Этот последний штрих в

первой группе показаний расположен на нижней части шкалы (целые миллиметры); а во второй группе – на верхней части шкалы (половинки миллиметра), во втором случае к целому количеству миллиметров нижней шкалы добавляется половина миллиметра.

В последних двух случаях с продольной линией стебля может совпадать любой штрих барабана, кроме нулевого. При показаниях 4,19 мм и 4,69 мм положение штрихов барабана относительно продольной линии стебля одинаково (с продольной линией совпадает 19-ый штрих), но в третьем случае виден миллиметровый штрих ($4 \text{ мм} + 0,19 \text{ мм} = 4,19 \text{ мм}$), а в четвертом – полумиллиметровый ($4 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} + 0,19 \text{ мм} = 4,69 \text{ мм}$).

Таким образом, *длина тела равна сумме отсчетов по основной (неподвижной) шкале и по шкале барабана. По основной шкале определяют целое число миллиметров, которое равно порядковому номеру видимого нижнего штриха перед кромкой среза барабана. Если перед кромкой виден еще и штрих сверху, то нужно прибавить 0,5 мм. Показание шкалы барабана, выраженное в сотых долях миллиметра, определяется номером штриха барабана, совпадающего с продольной линией неподвижной шкалы.*

Инструментальная погрешность микрометра равна цене деления барабана 0,01 мм.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПО ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ РАЗМЕРАМ И МАССЕ

Цель работы:

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

Теоретическое содержание работы представлено в первом разделе методических указаний.

Порядок выполнения работы

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

Определение плотности тела неправильной формы

1. Ознакомиться с устройством технических весов и правилами взвешивания.

2. Взвесить на технических и электронных весах образцы, выбранные на усмотрение преподавателя. Записать значение массы и погрешность измерения.

Масса образца $m = \text{_____}$ кг.

Погрешность измерения массы $\Delta m = \text{_____}$ кг.

3. Определить объём образцов с помощью мензурки.

4. Рассчитать плотность образцов по формуле (1.1).

5. Оценить абсолютную ($\Delta\rho$) и относительную (σ_ρ) погрешности измерений, используя формулы:

$$\sigma_\rho = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2},$$

$$\Delta\rho = \sigma_\rho \rho.$$

6. Записать результат с учётом погрешности в следующем виде: $\rho = \rho \pm \Delta\rho$.

Определение плотности тела правильной формы (цилиндр или выбранные преподавателем образцы).

1. Заполните таблицу 1.

Таблица 1. Технические данные приборов

Прибор	Пределы измерений	Цена деления	Приборная погрешность
Штангенциркуль			
Микрометр			

2. Взвешиванием на технических и электронных весах определите массу образцов и погрешность определения массы.

Масса образца $m =$ _____ кг.

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

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

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

5. Результаты измерений занесите в таблицу 2.

Таблица 2. Таблица измерений

№ опыта	$d_i, \text{м}$	$\Delta d_i, \text{м}$	$h_i, \text{м}$	$\Delta h_i, \text{м}$
1				
2				
3				
4				
5				
	$d =$ _____, м	$\sigma_d =$ _____, м	$h =$ _____, м	$\sigma_h =$ _____, м

6. Произведите обработку результатов измерений.

Обработка результатов измерений

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.

2. Вычислите среднеквадратичные погрешности измерений диаметра σ_d и высоты σ_h , предварительно определив погрешности отдельных измерений $\Delta d_i = d - d_i$ и $\Delta h_i = h - h_i$:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\Delta d_1^2 + \Delta d_2^2 + \Delta d_3^2 + \Delta d_4^2 + \Delta d_5^2}{5 \cdot 4}} =$$
$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\Delta h_1^2 + \Delta h_2^2 + \Delta h_3^2 + \Delta h_4^2 + \Delta h_5^2}{5 \cdot 4}} =$$

Результаты расчетов занесите в табл. 2.

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.

4. Вычислите среднее значение плотности образца:

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

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

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

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

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

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

6. Относительную ошибку косвенного измерения плотности образца определите по формуле:

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

7. Запишите окончательный результат расчётов в виде:

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

8. Используя таблицу плотности тел, определите:

а) материал, из которого изготовлено тело;

б) попадает ли табличное значение плотности тела в интервал $\bar{\rho} - \Delta\rho < \bar{\rho} + \Delta\rho$.

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. Выведите формулу плотности для образца, имеющего цилиндрическую форму.
6. Что такое нониус? Как он устроен?
7. Что называется постоянной нониуса и как ее определить? Какова единица ее измерения?
8. Как определить цену деления на барабане микрометра?
9. Как проверить правильность установки нуля микрометра?
10. Какова последовательность операций по определению длины, диаметра и массы образца? Перечислите ошибки, возникающие при измерениях физических величин.
11. **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 $\rho = 2,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$).

3. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет оформляется в печатном виде на листах формата А4 в соответствии с требованиями, предъявляемыми кафедрой ОТФ, в котором помимо стандартного титульного листа должны быть раскрыты следующие пункты:

- I. Цель работы.
- II. Краткое теоретическое содержание:
 1. явления, изучаемые в работе;

2.определение основных физических понятий, объектов, процессов и величин;

3.законы и соотношения (использованные при выводе расчетной формулы);

4.пояснения к физическим величинам, входящим в формулы, и единицы их измерений.

III. Схема установки.

IV. Основные расчетные формулы.

V. Формулы погрешности косвенных измерений.

VI.Таблицы с результатами измерений и вычислений. Таблицы должны иметь номер и название. Единицы измерения физических величин должны быть указаны в отдельной строке.

VII. Пример вычислений (для одного опыта):

1.исходные данные;

2.погрешности прямых измерений;

3.вычисления: [*величина = формула = подстановка чисел = результат вычисления, единицы измерений*].

4.вычисление погрешностей косвенных измерений.

VIII. Графический материал:

1.аналитическое выражение функциональной зависимости, которую необходимо построить;

2.на осях координат указать масштаб, наименование физической величины и единицы измерения;

3.на координатной плоскости должны быть нанесены экспериментальные точки;

4.по результатам эксперимента, представленным на координатной плоскости, провести плавную линию – аппроксимирующую функциональную теоретическую зависимость в соответствии с методом наименьших квадратов.

IX.Окончательны результат с указанием погрешности косвенных измерений.

X.Анализ полученного результата. Выводы.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ ОТЧЕТА

К защите допускаются студенты, подготовившие отчет в соответствии с требованиями к его содержанию в установленные сроки. После проверки преподавателем содержания отчета, при наличии ошибок и недочетов, работа возвращается студенту на доработку.

При правильном выполнении лабораторной работы, соблюдении всех требований к содержанию и оформлению отчета, студент допускается к защите.

Для успешной защиты отчета необходимо изучить теоретический материал по теме работы, а также освоить математический аппарат, необходимый для вывода расчетных формул работы.

При подготовке к защите, помимо данного методического указания, необходимо использовать учебники и другие учебные пособия, рекомендованные к учебному процессу кафедрой ОТФ и Министерства образования и науки.

Во время защиты студент должен уметь ответить на вопросы преподавателя в полном объеме теоретического и методического содержания данной лабораторной работы, уметь самостоятельно вывести необходимые расчетные формулы, выполнить анализ полученных зависимостей и прокомментировать полученные результаты.

5. РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. М.: Высшая школа, 2010, 718 с.
2. *Иродов И.Е.* Электромагнетизм. М.: Бинум, 2008, 320 с.
3. *Калашиков Н.П.* Основы физики. М.: Дрофа, 2009. Т. 1, 445 с.
4. *Савельев И.В.*, Курс физики. М.: Наука, 2005. Т. 2., 336 с.
5. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. М.: Наука, 2007, 944 с.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.

6. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru/>).

7. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/>.

8. Электронные версии учебников, пособий, методических разработок, указаний и рекомендаций по всем видам учебной работы, предусмотренных вузовской рабочей программой, находящиеся в свободном доступе для студентов, обучающихся в вузе, на внутри сетевом сервере <http://www.spmi.ru/>.

6. ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 3

Множители и приставки для образования десятичных и кратных единиц

Множитель	Приставка		Множитель	Приставка	
	Наименование	Обозначение		Наименование	Обозначение
10^3	кило	к	10^{-3}	милли	м
10^6	мега	М	10^{-6}	микро	мк
10^9	гига	Г	10^{-9}	нано	н
10^{12}	тера	Т	10^{-12}	пико	п

Таблица 4

Плотности некоторых твердых тел
(при норм. атм. давл., $t = 20^\circ\text{C}$)

Твердое тело	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Твердое тело	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Иридий	22 400	22,4	Мрамор	2700	2,7
Золото	19 300	19,3	Стекло оконное	2 500	2,5
Свинец	11 300	11,3	Фарфор	2 300	2,3
Серебро	10 500	10,5	Бетон	2 300	2,3
Медь	8 900	8,9	Кирпич	1 800	1,8

Продолжение таблицы 4
Плотности некоторых твердых тел
(при норм. атм. давл., $t = 20^{\circ}\text{C}$)

Латунь	8 500	8,5	Оргстекло	1 200	1,2
Сталь, железо	7 800	7,8	Капрон	1 100	1,1
Олово	7 300	7,3	Полиэтилен	920	0,92
Цинк	7 100	7,1	Парафин	900	0,90
Чугун	7 000	7,0	Лёд	900	0,90
Алюминий	2 700	2,7	Дуб (сухой)	700	0,70

Таблица 5

Плотности некоторых жидкостей
(при норм. атм. давл., $t = 20^{\circ}\text{C}$)

Жидкость	ρ , кг / м ³	ρ , г / см ³	Жидкость	ρ , кг / м ³	ρ , г / см ³
Ртуть	13 600	13,60	Керосин	800	0,80
Вода морская	1 030	1,03	Спирт	800	0,80
Вода чистая	1000	1,00	Нефть	800	0,80
Масло машинное	900	0,90	Бензин	710	0,71

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Теоретическое введение	
1.1. Плотность тела.....	5
1.2. Определение массы тела.....	7
1.3. Нониус. Измерения с помощью нониуса	10
1.4. Штангенциркуль. Определение длины тела с помощью штангенциркуля	12
1.5. Микрометр. Определение длины тела с помощью микрометра.....	15
2. Лабораторная работа. Определение плотности твердых тел по их геометрическим размерам и массе.....	20
3. Требования к содержанию отчета по лабораторной работе.....	24
4. Рекомендации по защите отчета.....	26
5. Рекомендательный библиографический список.....	26
6. Приложение.....	28