

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Кафедра физики

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТЕЛ ПРАВИЛЬНОЙ
ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

Методические указания к виртуальной лабораторной работе по физике

Екатеринбург

Составители: В.П. Левченко, В.С. Черняев
Научный редактор: проф., д-р физ.–мат. наук А.А. Повзнер

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТЕЛ
ПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ
Методические указания к виртуальной
лабораторной работе по курсу «Физика» для
студентов для студентов всех форм обучения
всех специальностей.
Екатеринбург: УрФУ, 9 с.

В данной работе определяется плотность тел правильной геометрической формы. Экспериментальная часть включает описание методик измерений массы тела с помощью электронных весов и линейных размеров тел с помощью микрометра и штангенциркуля. Приведены формулы для статистической обработки результатов прямых и косвенных измерений.

Подготовлено кафедрой физики.

ВВЕДЕНИЕ

Плотностью однородного тела называется физическая величина, численно равная отношению массы тела к его объёму:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m - масса тела;

V - объем тела.

Как видно из формулы (1), для нахождения плотности тела необходимо измерить его массу и определить его объём. Масса определяется взвешиванием на электронных или аналитических весах, обладающих различной погрешностью. Так как тела, исследуемые в работе, имеют правильную геометрическую форму, то для определения объема достаточно измерить их размеры и вычислить объём по соответствующим математическим формулам.

1. ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ

При измерении длины цилиндра масштабной линейкой отсчитывается число делений и на глаз оценивается доля деления. Для повышения точности отсчета долей деления линейки (до десятых и сотых миллиметра) масштабную линейку снабжают дополнительным устройством, называемым нониусом. Нониус представляет собой дополнительную линейку с делениями, свободно передвигающуюся вдоль основной масштабной линейки.

Существует несколько типов нониусов, но чаще используется два. В одном из них (рис. 1,а) $(n-1)$ делений масштабной линейки равно делениям нониуса (9 делений масштабной линейки равно 10 делениям нониуса). В другом $(2n - 1)$ делений масштабной линейки (рис. 1,б) равно n делениям нониуса (19 делений масштабной линейки равно 10 делениям нониуса).

Таким образом, одно деление нониуса оказывается несколько меньшим одного (рис. 1,а) либо двух (рис. 1,б) делений масштабной линейки.

Разность между длиной одного (рис. 1,а) или двух (рис. 1,б) делений масштабной линейки и одного деления нониуса называется точностью нониуса, или его постоянной, она равна отношению цены наименьшего деления масштабной линейки к числу делений нониуса.

На рис. 1,а и 1,б изображены нониусы, точность которых равна $1/10$ деления масштаба. Бывают нониусы с точностью $1/5$, $1/25$, $1/50$ и $1/100$ деления масштаба.

Применение нониуса основано на способности человеческого глаза с высокой точностью фиксировать совпадение штрихов.

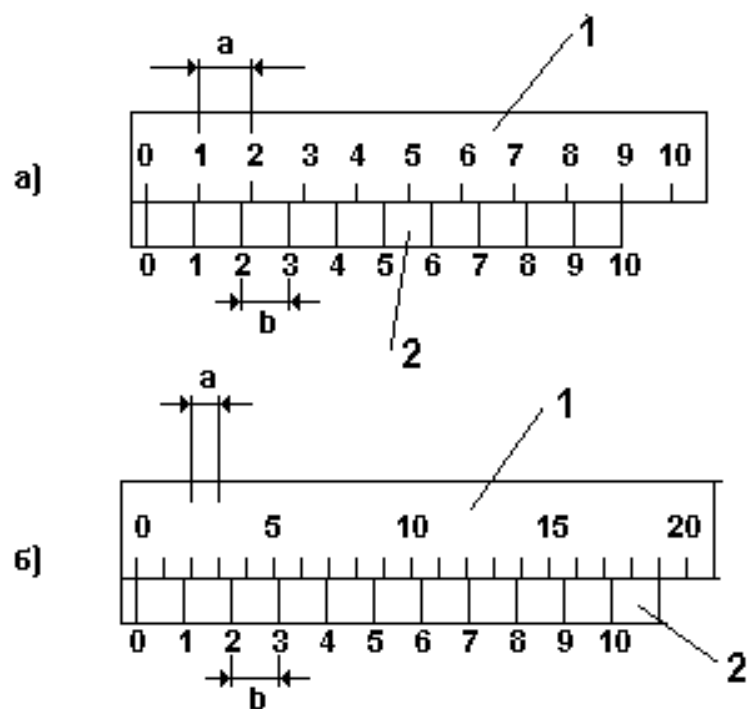


Рис. 1. Схема устройства нониусов двух типов:
 1 - масштабная линейка, 2 - нониус

Измерение длины какого-либо тела (образца) масштабной линейкой с нониусом производится следующим образом. Масштаб прикладывается своим нулевым делением к одному краю образца (рис. 2), а к другому подводится нулевое деление нониуса. Отсчитывают целое число делений масштабной линейки, находящееся слева от нуля нониуса (на рис. 2 - три деления). Затем смотрят, какое деление нониуса сливается в одну линию с делением масштабной линейки. Номер совпавшего деления нониуса (на рис. 2 - 6-е деление) умножают на точность нониуса ($1/10$) и получают дробную часть длины образца ($6/10$). Окончательный результат измерения равен сумме найденных величин, т.е. 3,6 деления.

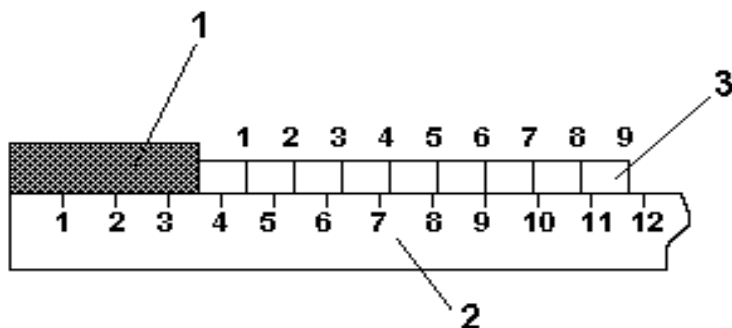


Рис. 2. Измерение длины образца масштабной линейкой с нониусом:
 1 - образец, 2 - масштабная линейка, 3 - нониус

Таким образом, прежде чем пользоваться нониусом, нужно определить точность.

Штангенциркуль (рис. 3) представляет собой масштабную линейку (с делением через 1 или 0,5 мм), на конце которой имеется клювовидный выступ А.

На линейку надета скользящая обойма с прорезью, снабженная выступом В. На скосе прорези обоймы нанесены деления нониуса. Когда выступы масштабной линейки и обоймы расположены вплотную друг к другу, нулевые деления масштаба и нониуса совпадают. Штангенциркуль обычно снабжен дополнительными выступами А' и В', позволяющими определить внутренние размеры предмета (например, внутренний диаметр трубок). У некоторых штангенциркулей на масштабную линейку надет еще хомутик с микровинтом 6 и винтом 3. Для измерения размеров предмета его помещают между выступами А' и В', закрепляют хомутик винтом 3 и с помощью микровинта 6 зажимают предмет (без больших усилий) так, чтобы он не выпадал из выступов. Затем винтом 2 зажимают обойму и отсчитывают длину по масштабной линейке и нониусу, как указано выше (рис. 2). Предел основной погрешности штангенциркулей равен точности их нониусов.

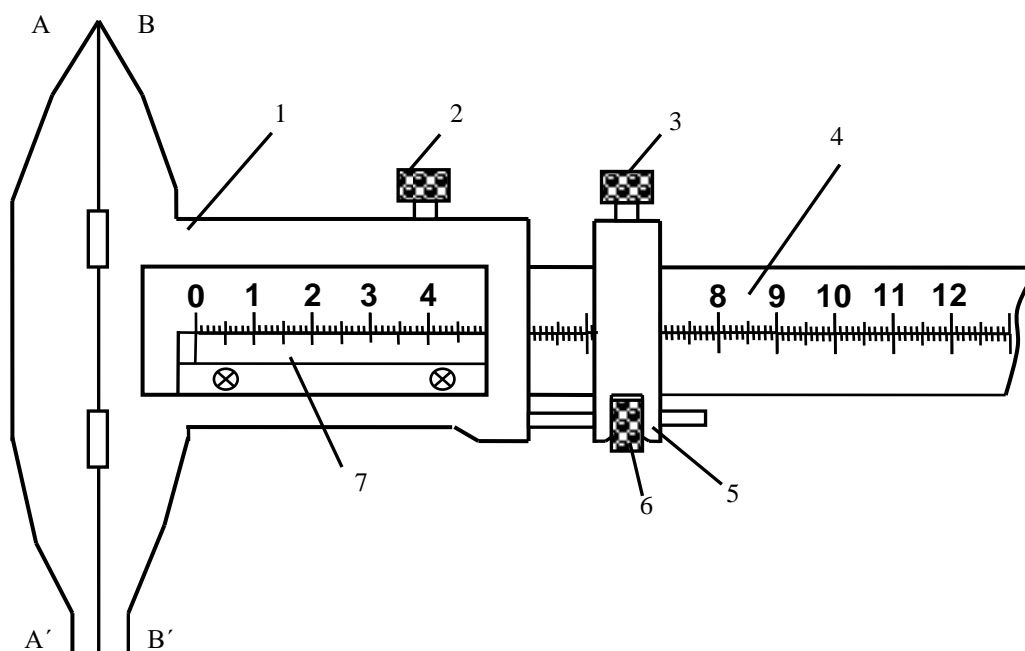


Рис. 3. Штангенциркуль:

1 – обойма; 2 и 3 – винты обоймы и хомутика; 4 – масштабная линейка;

5 – хомутик; 6 – микровинт; 7 – нониус

2. МИКРОМЕТР

Для измерения малых размеров с точностью до 0,01 мм применяется микрометр. Он основан на принципе преобразования угловых перемещений в линейные с помощью винтовой пары (гайка-болт) с малым шагом винта. Такую пару называют микрометрическим винтом.

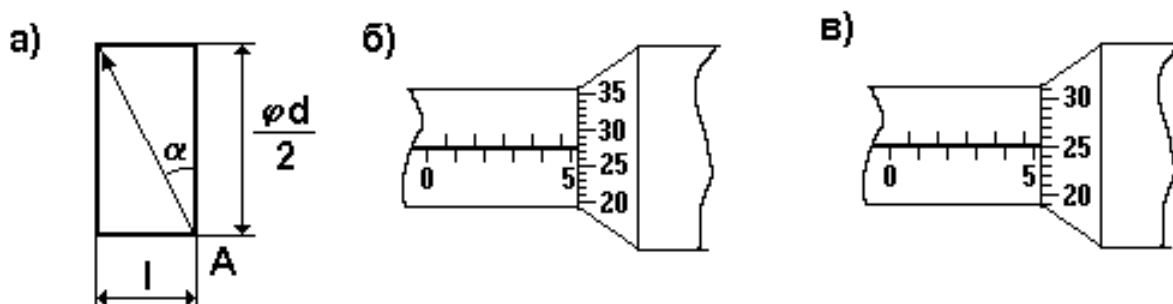


Рис. 4. Принципиальная схема измерения малых линейных размеров (а) и примеры отсчета с помощью микрометрического инструмента (б и в)

$$l_1 = (5,00 + 0,27) \text{ мм} = 5,27 \text{ мм};$$

$$l_2 = (5,50 + 0,25) \text{ мм} = 5,25 \text{ мм}.$$

В этом устройстве линейное перемещение пропорционально шагу винта и углу поворота:

$$l = h \frac{\varphi}{2\pi}, \quad (2)$$

где l - линейное перемещение винта;

φ - угол поворота винтов в радианах;

h - шаг винта — смещение барабана вдоль линейной шкалы за один оборот.

Из рис. 4,а видно, что при движении точки А по винтовой линии с небольшим углом подъема α ее малые линейные перемещения l в осевом направлении значительно легче и точнее измерять, отсчитывая угловое перемещение. С этой целью на окружности отсчетного барабана нанесены деления (рис. 4,б), позволяющие отсчитывать малые линейные перемещения винта. Для измерения числа целых оборотов служит линейная шкала.

Пусть h - шаг винта, n - число делений, на которое разделен барабан. Тогда цена деления микрометрического инструмента (соответствующая его повороту на одно деление барабана), равна отношению шага винта к числу делений круговой шкалы и называется точностью прибора;

$$l = \frac{h}{n}. \quad (3)$$

Например, если шаг винта $h = 0,5$ мм, а число делений на барабане $n = 50$, то точность круговой шкалы

$$l = \frac{0,5\text{мм}}{50\text{дел}} = 0,01 \text{ мм/дел.}$$

Размер предмета, измеряемый микрометрическим инструментом, определяется расстоянием от края скоса барабана до нулевого деления линейной шкалы инструмента. Следовательно, длина предмета с точностью до 0,5 деления отсчитывается по линейной шкале, а десятые и сотые доли миллиметра - по круговой шкале барабана.

Примеры отсчета указаны на рис. 4,б и 4,в.

Микрометр (рис. 5) состоит из скобы 1, на которой крепятся основные детали, стопорного винта 2, вращающегося шпинделя 3 с микровинтом, стопорного винта 4 для закрепления шпинделя, гильзы 5 с линейной основной шкалой 6, барабана 8 с круговой шкалой 7, колпачка 9 для крепления барабана на шпинделе и трещотки 10, служащей для равномерного нажатия шпинделя на измеряемый образец.

Линейная шкала 6 на гильзе 5 имеет цену деления 0,5 мм/дел. Скошенный край барабана 8 разделен на 50 делений и при вращении движется поступательно вдоль линейной шкалы микрометра, смещаясь при этом на 0,5 мм за один оборот.

Перед работой с микрометром необходимо проверить правильность установки нуля. Для этого необходимо, вращая барабан при помощи трещотки, привести шпиндель в соприкосновение с пяткой. При правильной установке нуля линейной и круговой шкал совпадают (установка нуля производится лаборантом или преподавателем).

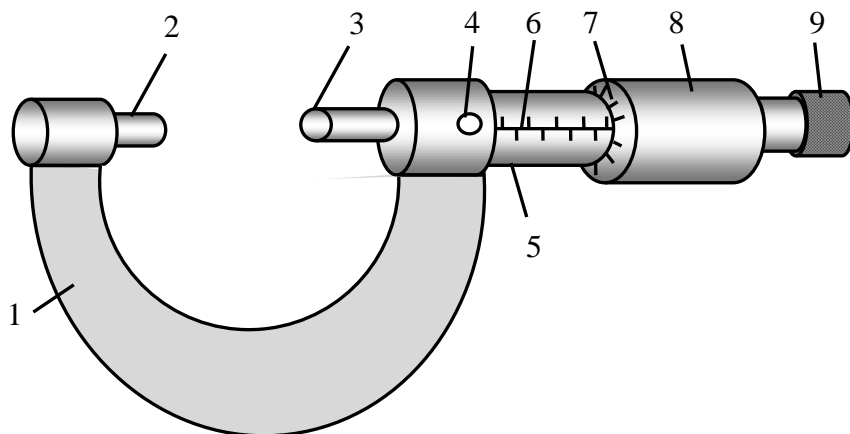


Рис. 5. Общий вид микрометра:

1 – скоба; 2 – пятка; 3 – шпиндель; 4 – стопорный винт; 5 – гильза; 6 – линейная шкала;

7 – шкала барабана; 8 – барабан; 9 – трещотка

Измерение с помощью микрометра производится следующим образом. Предмет помещают между пяткой 2 и шпинделем 3 и, вращая барабан при помощи трещотки 10, доводят шпиндель до упора, сигналом чего служат щелчки трещотки. По положению скошенного края барабана отсчитывают целое число делений

линейной шкалы, десятые и сотые доли миллиметра отсчитывают по делению круговой шкалы, оказавшемуся против горизонтальной линии основной шкалы (рис. 4,б и в).

Так как наименьшее деление равно 0,01 мм, то в качестве систематической погрешности при однократном измерении (а также при многократных измерениях, дающих одно и то же значение) принимают половину этой величины, т.е. 0,005 мм (ГОСТ 6507-60).

3. ВЗВЕШИВАНИЕ ТЕЛА

Масса тела в работе определяется на электронных цифровых весах.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) В главном меню программы щелкните кнопку «Измерение массы (цифровые весы»).
- 2) Щелкните левой кнопкой мыши на изображении цилиндра и, удерживая кнопку нажатой, перетащите его на чашку цифровых весов; весы отобразят массу цилиндра – занесите её в п. 3.1 отчета.
- 3) Щелкните кнопку «к микрометру», чтобы перейти к измерению диаметра образца.
- 4) Щелкните левой кнопкой мыши на изображении цилиндра и, удерживая кнопку нажатой, перетащите его в область между пяткой и шпинделем микрометра, показанную голубым кружком (для получения подробной инструкции по названиям деталей микрометра и его использованию щелкните на кнопке «показать инструкцию»); в момент, когда цилиндр оказывается между пяткой и шпинделем микрометра, его продольное изображение изменяется на поперечное, т.к. с помощью микрометра осуществляется измерение диаметра (а не высоты) цилиндра.
- 5) С помощью нажатия кнопки «влево» на клавиатуре добейтесь, чтобы шпиндель микрометра вплотную подошел к цилиндру – при этом дальнейшие нажатия кнопки «влево» не будут приводить к изменениям (цилиндр зажат); если же шпиндель проходит мимо цилиндра, вы установили цилиндр недостаточно точно; точное позиционирование объекта необходимо для проведения корректных измерений, поэтому установите цилиндр в точности, как указывает голубой кружок.
- 6) После того, как цилиндр оказался зафиксирован, измерьте его диаметр в соответствии с инструкцией по использованию микрометра и занесите полученное значение в таблицу п. 3.2 отчета.
- 7) Для повторного измерения диаметра (предполагается, что цилиндр при этом смещается относительно своей оси) нажмите кнопку «вправо» на клавиатуре (два-три раза), после чего переместите цилиндр в любую точку экрана, а затем

повторно установите цилиндр и проделайте действия п. 5-6; повторите действия данного пункта еще три раза, занесите все значения в таблицу п. 3.2 отчета.

8) Щелкните кнопку «к штангенциркулю», чтобы перейти к измерению высоты цилиндра.

9) Щелкните левой кнопкой мыши на изображении цилиндра и, удерживая кнопку нажатой, перетащите его в область между ножками штангенциркуля, показанную голубым прямоугольником.

10) С помощью нажатия кнопки «влево» на клавиатуре добейтесь, чтобы цилиндр оказался зажат между ножками штангенциркуля (при этом повторные нажатия кнопки «влево» не будут приводить к изменениям), после чего измерьте высоту цилиндра согласно инструкции по использованию штангенциркуля (чтобы увидеть инструкцию, щелкните на кнопке «показать инструкцию»), занесите полученное значение в первую строку таблицы п. 3.3 отчета.

11) Для повторного измерения высоты цилиндра удерживайте нажатой кнопку «вправо» на клавиатуре; после чего переместите цилиндр в любую точку экрана, а затем повторно установите цилиндр и проделайте действия п. 10; повторите действия данного пункта еще три раза (заполните все строки таблицы п. 3.3 отчета).

12) Выполните все необходимые расчеты и оформите отчет. Загрузите отчет в систему.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте цель работы.
2. Перечислите основные измерительные операции и их последовательность.
3. Выведите формулу для плотности образца, имеющего цилиндрическую форму.
4. Что такое нониус?
5. Что называется постоянной нониуса и как она определяется?
6. Как определить цену деления на барабане микрометра?
7. Как проверить правильность установки нуля микрометра?
8. Какова последовательность операций при взвешивании на электронных весах?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Плотность некоторых материалов (кг/м³)

Алюминий	2700	Бронза	8700-8900
Железо	7870	Латунь	8400-8700
Золото	19300	Сталь	7500-7900
Медь	8930	Лёд	913
Титан	4500	Стекло	2400-2800
Уран	18700		