ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
"ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждаю
Зам. директора по УР ЮТИ ТПУ
_____________ А.Б.Ефременков
«_____» ______________ 2007г.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ

Методические указания для студентов 1 курса
очной, очно-заочной и заочной формы обучения всех специальностей

Издательство ЮТИ ТПУ
Юрга 2007

УДК 53.08

Измерительный практикум
Методические указания для студентов 1 курса очной, очно-заочной и заочной формы обучения всех специальностей: – Юрга: Изд-во Юргинского технологического института (филиала) Томского политехнического университета, 2007. – 47 с.

Составитель ст. преподаватель,
канд. физ.-мат. наук Е.П. Теслева

Рецензент профессор ТСХИ НГАУ,
док. физ.-мат. наук В.Н. Беломестных

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры естественно-научного образования протокол №76 "19" апреля 2007 г.

Зав. кафедрой:
доц., канд. техн. наук Д.А. Чинахов

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Выполнение лабораторных работ является очень важным элементом процесса изучения физики. Производя измерения различных величин необходимо уметь оценить погрешность результатов измерений с учетом требуемой надежности. Процесс любого измерения только тогда считается полностью завершенным, когда указаны абсолютные и относительные погрешности измерений. Поэтому знакомство с основными методами расчета погрешностей является важной задачей лабораторного практикума, который должен помочь студентам глубже осознать основные физические законы и явления, приобрести элементарные навыки экспериментирования и практически освоить наиболее важные методы измерений физических величин.

Предлагаемые методические указания содержат рекомендации по выполнению первой лабораторной работы по разделу механика “Измерительный практикум”; элементы теории погрешностей, позволяющие математически обработать результаты эксперимента и оценить качество проделанной работы; описания простейших измерительных приборов и правила работы с ними. Приведены примеры расчета погрешностей и задания для контроля.

Методические указания предназначены для студентов очной, очно-заочной и заочной формы обучения всех специальностей.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Задача измерений

Одной из основных задач физической лаборатории является определение численных значений физических величин.

Физическими величинами называют характеристики процессов или свойств тел. Например, работа характеризует свойства материальных тел при их взаимодействии передавать друг другу некоторое количество энергии, плотность характеризует массу единицы объема и т. д.

Измерить какую-либо физическую величину значит сравнить ее с другой однородной ей физической величиной, принятой за единицу меры (эталон). При этом за значение измеряемой величины принимают число, показывающее, сколько раз в измеряемой величине содержится эталон. За единицу меры длины принят 1 метр, массы – 1 килограмм, времени – 1 секунда и т.д. При измерении физических величин пользуются измерительными приборами, которые тем или иным способом сверены с эталонами, хранимыми в специальных государственных метрологических учреждениях. Это относится к приборам, с помощью которых измеряют длину – различного вида линейкам, микрометру, измерительному микроскопу, так и к приборам, измеряющим время (часы), массу (весы и гири), а также электроизмерительным приборам (амперметры, вольтметры) и т. д. Сравнение наших измерительных инструментов и приборов с эталонами, обязательно сопровождается некоторой ошибкой в их калибровке. Электроизмерительные и другие приборы содержат ошибки, связанные с особенностью их конструкции и принципа действия (трение, люфты между деталями, влияние внешних электрических и магнитных полей, температуры, влажности и пр.). Очевидно, что, измеряя с помощью такого инструмента, мы делаем некоторую ошибку. Т. о. вследствие неточности измерительных приборов, кроме того, несовершенства наших органов чувств, неполноты наших знаний, трудностей учета всех побочных явлений, при измерениях неизбежно возникают погрешности. ***Никакие измерения не могут быть выполнены абсолютно точно. Мы можем указать только интервал возможных значений измеряемой величины. Поэтому задача измерения заключается не в определении истинного значения измеряемой величины, а в установлении интервала, внутри которого находится истинное значение этой величины.***

Результаты экспериментов могут публиковаться, использоваться в других расчетах, для практических целей или для проверки теоретических выводов. Поэтому важно знать в какой мере можно полагаться на эти результаты, ввиду чего экспериментатор обязан указывать величину ошибки измерений. Понятие ошибки играет не второстепенную роль при измерениях, а, наоборот, оно имеет прямое отношение к таким вопросам, как цель эксперимента, его метод и значимость результатов.

Теория погрешности указывает, как следует вести измерения и обрабатывать результаты, чтобы величина ошибок была наименьшей. Неумение правильно оценивать погрешности может привести к неправильно установленным метрологическим требованиям к промышленным изделия, что, наносит материальный и технический ущерб. Инженер не должен необоснованно уменьшать или увеличивать допуски на изготовление деталей, приборов.

Итак, в задачу измерения входит не только нахождение самой величины, но и оценка точности полученного результата.

Виды измерений

Принято различать два вида измерений.

Прямые измерения – это такие измерения, когда показания измеряемой величины определяются непосредственно по шкале прибора. Например, длина – по линейке или штангенциркулю, температура – по термометру, время – по секундомеру, сила тока – по амперметру и т. д.

Косвенные измерения – это измерения, используется, если физическую величину невозможно измерить с помощью приборов. Ее конечный результат находится по формуле через величины, определяемые в результате прямых измерений.

Классификация погрешностей

Погрешности измерений физической величины по характеру отклонений измеренного значения от истинного подразделяются на два основных типа:

1. Систематические (***приборные***) ***погрешности.*** К таким погрешностям относятся погрешности приборов, связанные с несовершенством их конструкции, они закономерным образом изменяют значение измеряемой величины. Например, длина линейки в действительности может отличаться от того значения, которое написано на ней. Два последовательно включенных амперметра могут показывать различный ток и т.д. Приборы, тем не менее, считаются исправными, если их показания отличаются от истинного значения не более чем на величину абсолютной систематической погрешности измерения. Погрешность каждого измерения искомой величины можно предсказать заранее, зная характеристики прибора. Систематические ошибки можно избежать или уменьшить лишь при критическом отношении к методам исследования, совершенствуя их, применяя более точные приборы, следя за их исправностью, и т. д.

2. Случайные погрешности обусловлены случайными факторами, которые, в свою очередь, могут быть вызваны различными причинами. С одной стороны это могут быть причины, не зависящие от измеряемой величины, например, несовершенства органов чувств, состояние организма человека, наблюдающего за прибором, погодные и природные условия, состояние рабочего места и др. С другой – сама измеряемая величина может носить случайный характер. Например, температура и влажность воздуха в различных частях города, концентрация примесей в различных пробах воды и т.п. Исключить случайные ошибки в отдельных измерениях невозможно. Эти погрешности имеют статистический характер и описываются теорией вероятности. Установлено, что при очень большом количестве измерений вероятность получить тот или иной результат в каждом отдельном измерении можно определить при помощи нормального распределения Гаусса. При малом числе измерений математическое описание вероятности получения того или иного результата измерения называется распределением Стьюдента.

Значение погрешности измерения некоторой величины ***X*** *принято характеризовать абсолютной и относительной погрешностью.*

1. Абсолютная погрешность – это наименованное число $\mathbf{\Delta X}$, позволяющее указать интервал $\mathbf{X_{ист} - \Delta X \le X_{ист} \le X_{ист} + \Delta X}$**.**, внутри которого находится истинное значение измеряемой величины. Длина этого интервала равна $\mathbf{2\Delta X}$ (Рис. 1).

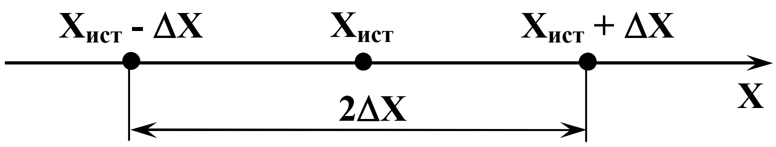


Рис. 1. Доверительный интервал

Эта погрешность может быть положительной или отрицательной в зависимости от того – уменьшен или увеличен результат по отношению к истинному значению. Другими словами, абсолютная погрешность показывает, на сколько истинное значение измеряемой величины может отличаться от результатов измерения. Например, определили длину проволоки и нашли что она равна 42,5 ± 0,2 см; это означает, что длина проволоки находится в границах замкнутого интервала не менее 42,3 см и не более 42,7 см; где ± 0,2 см – абсолютная погрешность или доверительный интервал. Конечный результат записывается в виде:

$$\mathbf{X = (X \pm \Delta X).}$$

Абсолютная погрешность измерения представляет собой необходимую информацию об измеряемой величине. Однако, она не всегда оказывается наглядной. Допустим, что **ΔX**=5 см. Много это или мало? Если измеряется длина подошвы **X**, то это много; если **X** – это длина комнаты, то это немного; если же **X** – расстояние между автобусными остановками, то это ничтожно мало. Иначе воспринимается относительная погрешность.

2. Относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности к значению искомой величины, умноженное на 100*%:*

$\boxed{\varepsilon = \dfrac{\Delta X}{X} 100\%}$, в нашем примере $\varepsilon = \dfrac{0{,}2\text{см}}{42{,}5\text{см}} 100\% = 0{,}47\%$ – относительная ошибка опыта. Она характеризует качество измерений и показывает, во сколько раз модуль абсолютной погрешности $|\Delta X|$ меньше измеряемой величины $X_{изм}$.

При измерении известных величин (постоянных или табличных) признаком доверенности полученного результата является принадлежность известного значения интервалу (рис 2.). Если при измерениях известных величин оценка погрешностей не производилась, то в выводе следует сравнить полученное значение с табличным. С этой целью удобно рассчитать величину $\dfrac{X_{изм} - X_{табл}}{X_{табл}}$, которая может служить простой оценкой качества измерений.

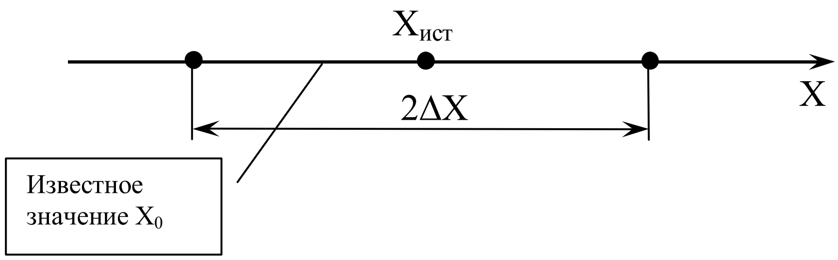


Рис. 2. Принадлежность известного результата доверительному интервалу

1. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. Расчет абсолютной погрешности при прямых однократных измерениях

Бывает, что в ходе опыта какое-то измерение повторить нельзя, например, процесс нагревания ведет к повышению температуры, которая отмечается один раз. При однократном измерении учитывают только систематическую погрешность. Систематическая погрешность измерения определяется тремя способами:

а) по классу точности прибора;

б) как половина цены наименьшего деления шкалы прибора;

в) на приборе, как число с наименованием единиц величин, измеряемых прибором.

Остановимся подробно на каждом из них.

а) Определение систематической ошибки по классу точности прибора. Этот способ используется только для электроизмерительных приборов, например, для вольтметра, амперметра.

Класс точности ***к*** прибора, предназначенного для измерения физической величины **X**, определяется следующим образом:

$$\mathbf{к = \frac{\Delta X_{сист}}{X_{max}} \cdot 100\%,} \qquad (1)$$

где $\mathbf{X_{max}}$ – наибольшее предельное значение величины X, которое можно измерить данным прибором.

Если известен класс точности прибора, то из (1) можно выразить систематическую погрешность измерения:

$$\boxed{\mathbf{\Delta X_{сист} = \frac{к \cdot X_{max}}{100}.}} \qquad (2)$$

Например, класс точности амперметра равен 1,5%, а наибольший ток, который можно измерить этим амперметром при конкретном положении его ручек настройки составляет 5 А. Тогда систематическая погрешность окажется равной

$$\mathbf{\Delta I_{сист} = \frac{1{,}5\% \cdot 5А}{100\%} = 0{,}075А.}$$

Причем это значение не зависит от результатов измерений. Из формулы (2) видно, что систематическая погрешность тем меньше, чем меньше класс точности прибора. Класс точности прибора обозначается на приборе как число в десятичном формате (может быть обведено в кружок). Стандартом установлены семь классов точности приборов: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Приборы классов 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 применяют для технических целей и называют *техническими*. Приборы классов 0,1; 0;2; 0,5 применяют для точных лабораторных измерений, а также для контроля технических. Их называют *прецизионными*.

Если класс точности прибора неизвестен, то систематическая погрешность берется ***равной половине цены наименьшего деления.***

б) Определение систематической ошибки как половины цены наименьшего деления шкалы прибора используется для простых измерительных приборов, например для линейки. Так, при измерении линейкой с делением шкалы 1 мм систематическая погрешность ℓ будет равна 0,5 мм.

Абсолютная погрешность прямого однократного измерения в данном случае находится по формуле:

$$\boxed{\Delta X = \alpha \cdot \ell}, \qquad (3)$$

где α – коэффициент надежности или доверительная вероятность – вероятность того, что значение измеренной величины окажется в интервале X-ΔX до X+ΔX; α может меняться от 0 до I и зависит от точности измерительных приборов. Для нашей лаборатории α = 0,9; ℓ – параметр равномерного распределения, он равен половине цены деления прибора, которым измеряется величина:

$$\boxed{\ell = \frac{1}{2} \text{ от цены деления прибора.}} \qquad (4)$$

в) Определение систематической ошибки как числа с наименованием единиц величин, измеряемых прибором используется для точных измерительных приборов:

- содержащих нониус (например, штангенциркуль, микрометр),
- с фиксированным шагом стрелки (например, секундомер),
- цифровых приборов (например, мультиметр).

Абсолютная погрешность приборов с нониусом равна *точности нониуса.*

Абсолютная погрешность приборов с фиксированным шагом стрелки и цифровых приборов равна *цене деления*.

$$\boxed{\Delta X = \alpha \cdot n}$$

где n – цена деления прибора, точность нониуса.

Точность прибора невозможно превзойти никаким методом измерения на нем. Например, если шкала линейки нанесена через 1 мм, то точность отсчета 0,5 мм не изменить, если применим лупу для рассматривания шкалы.

1.2. Расчет абсолютной погрешности при прямых многократных измерениях

а) Метод расчета с использованием распределения Стьюдента

На точность результатов измерений могут сказаться не только свойства средств измерения, но и особенности измеряемого физического тела. Например, толщина проволоки может быть различной на протяжении ее длины, вследствие чего нельзя ограничиваться одним измерением, а проделать их несколько в различных местах проволоки. Таким образом, окончательный результат многократного измерения содержит в себе как *случайную*, так и *систематическую* (*приборную)* погрешности. Чаще всего встречается ситуация, когда случайная и систематическая погрешности близки по значению, а поэтому обе влияют на окончательный результат. Тогда их необходимо учитывать совместно и за суммарную абсолютную погрешность принимают:

$$\boxed{\Delta X = \sqrt{(\Delta X_{случ})^2 + (\Delta X_{приб})^2}}, \qquad (5)$$

где $\Delta X_{случ}$ – случайная абсолютная погрешность; $\Delta X_{приб}$ – статистическая (приборная) абсолютная погрешность.

Случайная погрешность уменьшается с увеличением количества отдельных измерений, а приборная погрешность не меняется. Если случайная погрешность измерений меньше приборной погрешности (в процессе многократных измерений измерительный прибор дает одни и те же показания), то в качестве абсолютной погрешности берется приборная погрешность (многократность измерений теряет смысл; достаточно провести измерение один раз). В противном случае в качестве абсолютной погрешности берется значение случайной погрешности. Таким образом, одной из погрешностей можно пренебрегать, если она более чем на порядок (в 10 раз) меньше другой.

Метод применяется при числе измерений n≥2, однако лучше применять его при n ≥ 6.

Расчет $\Delta X_{приб}$ – смотри п. 1.1.

$$\boxed{\Delta X_{случ} = t_{\alpha n} \cdot \sigma_{x_{ср}}}, \qquad (6)$$

где $t_{\alpha n}$ – коэффициент Стьюдента (определяемый по таблице 2); n – количество измерений; α – коэффициент надежности или доверительная вероятность; $\sigma_{x_{ср}}$ – среднеквадратичная погрешность данной серии измерений.

$$\sigma_{x_{cp}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{cp} - x_i\right)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\left(x_{cp} - x_1\right)^2 + \left(x_{cp} - x_2\right)^2 + \ldots + \left(x_{cp} - x_n\right)^2}{n(n-1)}}, \quad (7)$$

где x_{cp} – среднее значение искомой величины данной серии измерений; x_i – величины, полученные в опыте.

Таблица 2

Коэффициенты Стьюдента

α / n	0,5	0,7	0,8	0,9	0,95	0,999
2	1.00	2.0	3.1	6,31	12,7	636,6
3	0.82	1.3	1.9	2,92	4,30	31,6
4	0.77	1.3	1.0	2,35	3,18	12,9
5	0.74	1.2	1.5	2,13	2,78	8,61
6	0.73	1.2	1.5	2,02	2,57	6,37
7	0.72	1.1	1.4	1,94	2,45	5,96
8	0.71	1.1	1.4	1,89	2,36	5,41
9	0.71	1.1	1.4	1,86	2,31	5,04
10	0.70	1.1	1.4	1,83	2,26	4,78

В каких случаях какую величину доверительной вероятности α задать? Например, после ста контрольных измерений диаметра стандартной двадцатимиллиметровой трубы обнаружено, что в 50 случаях ее диаметр оказался в интервале от 19,97 мм до 20,03 мм, в 80 случаях от 19,95 до 20,05 мм, а в 95 случаях от 19,90 до 20,10 мм. Следовательно, можно приближенно оценить величину случайной погрешности. При надежности а=0,50, $\Delta X_{случ}$=0,03 мм; при надежности а=0,80, $\Delta X_{случ}$=0,05 мм; а при а=0,95, $\Delta X_{случ}$ =0,10 мм. То есть, величина случайной погрешности увеличивается с увеличением надежности, причем очень резко при стремлении а к единице. Действительно, с надежностью, равной 1, ничего нельзя гарантировать. При построении техники всегда задается определенная надежность изделия. Каждая деталь должна соответствовать надежности не ниже той, которая предъявляется ко всему изделию в целом. Это зависит от степени важности расчетов. Во всех ответственных случаях задают высокую доверительную вероятность α = 0,997 или 0,999 с тем, чтобы соответствующий ей доверительный интервал надежно гарантировал расчеты. Размер доверительной вероятности α выбирают также из соображений размера возможного брака, необходимого допуска при изготовлении деталей и приборов, материально экономических расчетов и т. д. В обычных научных исследованиях, в том числе в студенческой учебной лаборатории, достаточной считается надежность $\alpha = 0{,}9$.

б) Метод среднего арифметического

Метод среднего арифметического – упрощенный метод расчета, который может применяться при небольшом количестве измерений (n = 2 ÷ 6).

Согласно закону нормального распределения случайных погрешностей, погрешности дают отличные друг от друга результаты. Одни из них больше истинного значения измеряемой величины, другие меньше, причем вероятность сделать меньшую погрешность больше, чем большую. Беря среднее арифметическое из полученных результатов, мы ослабляем влияние случайных погрешностей, и находим результат, более близкой к истинному значению измеряемой величины.

Пусть при многократных измерениях толщины проволоки микрометром были получены следующие результаты: $\mathbf{X_1, X_2, \ldots X_n}$. Среднее арифметическое результатов всех измерений (среднее значение величины) равно:

$$\boxed{X_{ср} = \frac{X_1 + X_2 + \ldots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}}. \qquad (8)$$

Абсолютная погрешность первого измерения (отклонение от среднего значения в 1-ом измерении) равна: $\Delta X_1 = |X_{ср} - X_1|$

абсолютная погрешность второго измерения: $\Delta X_2 = |X_{ср} - X_2|$

абсолютная погрешность n-го измерения: $\Delta X_n = |X_{ср} - X_n|$

Абсолютную погрешность всего эксперимента (среднее отклонение) находим как:

$$\boxed{\Delta X_{ср} = \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2 + \ldots + \Delta X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta X_i}{n}}. \qquad (9)$$

1.3. Расчет абсолютной погрешности при косвенных измерениях

Погрешность при косвенных измерениях находится **двумя способами:**

1. путем логарифмирования и последующего дифференцирования расчетной формулы;

2. по правилам дифференцирования с последующей заменой дифференциалов погрешностями.

Рассмотрим подробнее каждый из способов нахождения погрешности косвенных измерений.

1. Нахождение погрешности косвенных измерений **путем логарифмирования и последующего дифференцирования расчетной формулы.**

Если искомая величина связана функциональной зависимостью с величинами, определяемыми прямым измерением, то погрешность результата находится следующим образом.

Пусть $a=f(x_1, x_2, \ldots x_n)$, где x находятся прямым измерением.

1. Прологарифмировать функцию a.

$$\mathbf{\ln a = \ln(X_1, X_2, \ldots X_n)}. \quad (10)$$

2. Продифференцировать lna по x.

$$\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{dX_i}}(\mathbf{\ln a}) = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{a}} \cdot \frac{\mathbf{da}}{\mathbf{dX_i}}. \quad (11)$$

3. Заменить все знаки дифференциалов знаками конечных приращений и все знаки "минус" на "плюс".

4. Обосновать абсолютные погрешности при измерении промежуточных величин x по способу 1 или 2. Рассчитать абсолютную погрешность опыта.

Пример.

Дано твердое тело цилиндрической формы, надо найти плотность материала этого тела, если диаметр измерялся несколько раз, а масса и высота – один раз.

Плотность $\rho = \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{V}}$, где m – масса тела; $V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h$ - объем цилиндра; D – его диаметр; h – высота;

$$\rho = \frac{m}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h} = \frac{4m}{\pi \cdot D^2 \cdot h}$$ – рабочая формула.

Для нахождения абсолютной погрешности $\Delta\rho$ необходимо:

1. Прологарифмировать рабочую формулу

$$\ln\rho = \ln 4 + \ln m - \ln\pi - 2\ln D - \ln h;$$

2. Продифференцировать полученное выражение

$$\frac{d\rho}{\rho} = 0 + \frac{dm}{m} - 0 - 2\frac{dD}{D} - \frac{dh}{h};$$

3. Заменить знаки дифференциалов знаками конечных приращений и все знаки "минус" на "плюс".

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + 2\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h}{h} \quad \Rightarrow \Delta\rho = \rho\left(\frac{\Delta m}{m} + 2\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h}{h}\right)$$

4. Обоснование всех Δ (то есть найти их численные значения):

$\Delta m = \alpha \cdot \ell = 0{,}9 \cdot \frac{1}{2} \cdot$ цена деления весов;

$$\Delta D = \sqrt{\left(\Delta D_{случ}\right)^2 + \left(\Delta D_{приб}\right)^2};$$

$$\Delta D_{случ} = t_{\alpha n} \cdot \sigma_{x_{ср}} = t_{\alpha n} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{3}\left(D_{ср} - D_i\right)^2}{n(n-1)}};$$

$\Delta D_{приб} = \alpha \cdot n = 0{,}9 \cdot$ цена деления штангенциркуля;

$\Delta h = \alpha \cdot n = 0{,}9 \cdot$ цена деления штангенциркуля.

Подставить в конечную формулу ρ – из расчета, m, D и h – из опыта, Δm, ΔD и Δh – из обоснований и найти $\Delta\rho$; представить конечный результат в виде $\rho = (\rho \pm \Delta\rho)$ **г/см^3** и из этой записи найти относительную погрешность опыта: $\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot 100\%$.

2. Нахождение погрешности косвенных измерений **по правилам дифференцирования с последующей заменой дифференциалов погрешностями.**

Если искомая величина является функцией нескольких переменных, например, *f(x,y),* то погрешность косвенных измерений можно определить по формуле:

$$\Delta f = \left(\frac{df}{dX}\right)\Delta X + \left(\frac{df}{dY}\right)\Delta Y. \qquad (12)$$

Пример.

Ускорение при поступательном движении определяется как $a(h,t) = \frac{2h}{t^2}$. Тогда $\Delta a = \frac{2}{t^2} \cdot \Delta h + 2h \cdot \frac{1}{t^3} \cdot \Delta t \cdot (-2)$, $\Delta a = \frac{2h}{t^2 h} \cdot \Delta h + \frac{2h}{t^2 \cdot t} \cdot \Delta t \cdot (-2)$.

Так как $a = \frac{2h}{t^2}$, то $\Delta a = a\frac{\Delta h}{h} + a\frac{\Delta t}{t} \cdot 2 = a\left(\frac{\Delta h}{h} + 2 \cdot \frac{\Delta t}{t}\right)$.

Независимо от знака производных, слагаемые в последнем выражении должны учитываться только со знаком "плюс", так как погрешность при измерении нескольких переменных может только увеличиваться. Если в формулу входят константы, то при расчетах в них необходимо учитывать хотя бы на одну значащую цифру больше, чем в измеряемой величине, тогда они практически не вносят погрешности в результат измерения.

2. ПРАВИЛЬНАЯ ЗАПИСЬ КОНЕЧНОГО ОТВЕТА

После расчета абсолютной погрешности окончательный результат измерения представляется в виде: $X = (X \pm \Delta X)$. Причем и сама величина и абсолютная погрешность округляются. По округленным значениям рассчитывается относительная погрешность: $\varepsilon = \frac{\Delta X}{X} 100\%$.

2.1. О точности вычислений

Ошибка результата определяется не только неточностями измерений, но и неточностями вычислений. Вычисления необходимо проводить так, чтобы их ошибка была на порядок меньше ошибки результата измерений. Для этого вспомним правила математических действий с приближенными числами.

Результаты измерений – приближенные числа. В приближенном числе все цифры должны быть верными. Последней верной цифрой приближенного числа считается цифра, ошибка в которой не превышает одной единицы ее разряда. Все цифры от 1 до 9 и нуль, если он стоит в середине или конце числа, называются значащими. В числе 6100 – четыре значащих цифры, а в числе $6{,}1 \cdot 10^3$ – только две, в числе 0,00209 – три, так как нули до двойки незначащие. Запись числа 2,39 означает, что верны все знаки до второго до запятой, а запись 2,3900 – что верны так же и третий и четвертый знаки.

2.2. Правила округления чисел

При округлении оставляют лишь верные знаки, остальные отбрасывают.

Правило 1. Округление достигается простым отбрасыванием цифр, если первая из отбрасываемых цифр меньше, чем 5.

Правило 2. Если первая из отбрасываемых цифр равна или больше, чем 5, то последняя цифра увеличивается на единицу.

2.3. Запись конечного ответа

Абсолютная погрешность, найденная любым способом, округляется до одной (первой) значащей цифры, а значение искомой величины – до того разряда, в котором находится значащая цифра абсолютной погрешности.

Например, из опыта нашли плотность вещества $\rho = 1{,}273$ г/см^3, а $\Delta\rho = 0{,}017$ г/см^3.

Абсолютная ошибка показывает, в каком знаке ее числа содержится неточность, и если неточность в сотых долях, то за тысячные доли и более мелкие нельзя ручаться. В данном примере надо взять $\Delta\rho = 0{,}02$ г/см^3, т. к. стоящая за единицей цифра 7 больше 5; значение ρ надо взять с точностью $\Delta\rho$, т. е. до сотых долей, тогда конечный ответ запишется так:

$$\boldsymbol{\rho = (1{,}27 \pm 0{,}02)\ \text{г/см}^3.}$$

После записи конечного ответа рассчитывают относительную погрешность: $\varepsilon = \dfrac{0{,}02}{1{,}27} 100\% = 1{,}5\%$.

Примеры округления и записи ответа

1. $x = 0{,}743$ м и $\Delta x = 0{,}021$ м $\Rightarrow$ $x = (0{,}74 \pm 0{,}02)$ м

2. $m = 134{,}6$ кг и $\Delta m = 1{,}8$ кг $\Rightarrow$ $m = (135 \pm 2)$ кг

3. $t = 3841$ с и $\Delta t = 12$ с $\Rightarrow$ $t = (3840 \pm 10)$ с

4. $\varphi = 9°$ и $\Delta\varphi = 0{,}37°$ $\Rightarrow$ $\varphi = (9{,}0 \pm 0{,}4)\ °$

5. $L = 28{,}119$ мм и $\Delta L = 0{,}67$ мм $\Rightarrow$ $L = (28{,}1 \pm 0{,}7)$ мм

3. О ПОСТРОЕНИИ ГРАФИКОВ

Результаты, полученные в ходе выполнения лабораторной работы, часто необходимо представить графической зависимостью. Это позволяет составить наглядное представление о ходе изучаемого явления, также позволяет сравнить экспериментальные данные с теоретической зависимостью (при условии, что последняя имеется).

График **аккуратно** строится на миллиметровой бумаге или бумаге в клетку. Размер графика должен быть таким, чтобы он занимал примерно половину тетрадной страницы. Если график можно закрыть спичечным коробком, то он оказывается непригодным для того, чтобы с его помощью сделать правильные выводы. Перед построением необходимо четко определить, какие данные выполняют роль аргумента, а какие – функции. Аргумент принято отсчитывать по горизонтальной шкале (по x), а функцию – по вертикальной (по y). Масштаб каждой шкалы выбирается исходя из максимального значения рассматриваемой величины и длины шкалы на бумаге. Например, если максимальное значение силы равно $11{,}76\cdot10^{-2}$ Н, а длина рабочего поля страницы 14 см, то удобно выбрать масштаб так, чтобы 12 см по горизонтальной шкале соответствовали $12\cdot10^{-2}$ Н. Недалеко от конца шкалы ставится обозначение соответствующей физической величины, а через запятую – наименование единиц измерения. Если есть десятичный множитель с показателем, то его можно вынести к оси вместе с единицей измерения. Разная запись обозначения оси соответствует разной величине чисел, отложенных на оси (рис. 3, 4).

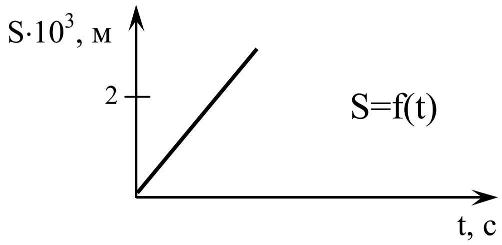


Рис.3

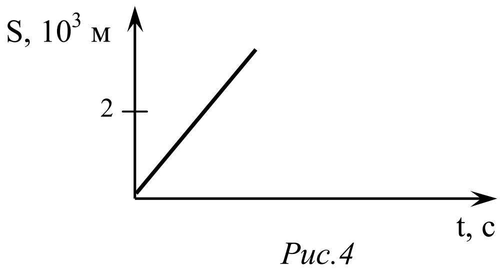


Рис.4

$S\cdot10^3=2$ м $\Rightarrow S=2/10^3=0{,}002$ м

$S=2\cdot10^3$м$=2000$ м

Перед построением графика каждую из шкал необходимо **проградуировать,** то есть обозначить деления через **равные** промежутки. Нельзя подписывать на шкале числа, которые получаются в результате эксперимента, как, например, 1,12; 1,19; 1,92; 2,87; 3,05; 3,28, 4,27. Один из правильных вариантов может быть таким: 0; 1,0; 2,0;

3,0; 4,0; 5,0. Если взять вариант 0; 1,25; 2,50; 3,75; 5,0, то он хотя и правильный, но все же нежелательный, т.к. при "дробной" организации шкалы она оказывается трудно читаемой. Предпочтительны варианты, когда между делениями шкалы две, четыре, пять или десять клеток. Нежелательны варианты с 3, 6, 7, 9 клетками. Экспериментальные точки наносятся на график, и вблизи каждой из них можно указать отрезок, соответствующий доверительному интервалу, равному удвоенной абсолютной погрешности (рис.5).

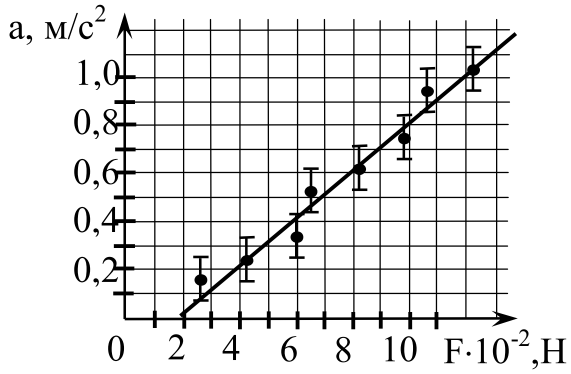


Рис.5. График зависимости a=f(F)

Часто измеряемые величины подбираются таким образом, чтобы между ними ожидалась линейная зависимость. Тогда экспериментальные точки должны ложиться вблизи прямой. Параметры этой прямой определяются по методу наименьших квадратов. То есть, таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от этой прямой была бы минимальной. Практически эту сумму не рассчитывают, а прямую проводят с помощью прозрачной линейки так, чтобы по обе стороны от нее находилось примерно равное количество экспериментальных точек на возможно меньшем расстоянии от прямой (рис.6).

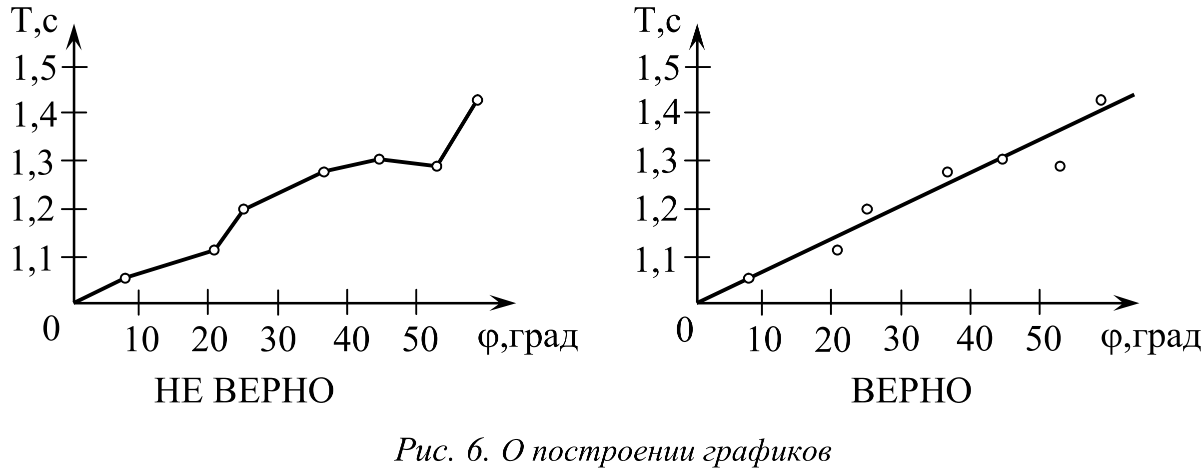


Рис. 6. О построении графиков

Основные требования, предъявляемые к построению графиков:

а) предельная ясность, чтобы результаты эксперимента можно было представить наглядно. Каждое полученное экспериментальное значение наносится на график достаточно заметным знаком, так чтобы точки не сливались друг с другом;

б) грамотный выбор масштаба. Проще всего, если единице измеренной величины (0,1; 10; 100; и т. д.) соответствует 1, 2 или 5 см;

в) через экспериментальные точки необходимо проводить плавную кривую либо прямую;

е) если на график наносится несколько кривых, то точки каждой из них должны иметь определенное обозначение, например, кривая 1 обозначается точками, кривая 2 – крестиками, кривая 3 – треугольниками и т. д.

4. ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Для измерения линейных величин применяются различные приборы и приспособления: масштабная линейка, измерительная лента, штангенциркуль, микрометр и др.

Измерительная лента. Измерение длины физических тел производят масштабными линейками, измерительными лентами. Величина наименьшего деления такой линейки (рис.7) называется ценой одного деления. Обычно цена одного деления линейки, ленты равна 1 мм. На измерительной ленте – сплошная линия – целый миллиметр, а деление напротив числа – 0,5 см.

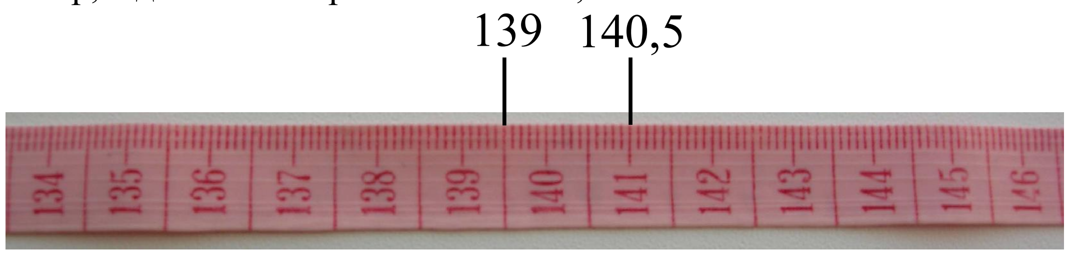


Рис.7. Измерительная лента

Штангенциркуль. Для измерения линейных размеров тел (внешних и внутренних) используется штангенциркуль (рис. 8, 9).

Устройство и принцип работы: он представляет собой металлическую штангу ***1*** с нанесенной на ней миллиметровой шкалой. По основной линейке-штанге перемещается рамка с подвижными губками. Основная линейка-штанга снабжена неподвижными губками ***2,*** а рамка – подвижными губками ***3*** с параллельными краями для измерения выпуклых предметов и диаметров различных отверстий. На рамке нанесена вспомогательная шкала ***6***, называемая **нониусом.** Нониус содержит 10-20 делений. Длина нониуса меньше длины основной шкалы. При соприкосновении граней губок нулевые деления основной шкалы и шкалы нониуса совпадают. Начало шкалы нониуса – его нулевая отметка – выполняет роль указателя на основной шкале.

Порядок работы с прибором: для того, чтобы измерить внешние размеры предмета, его помещают между губками ***2,3*** штангенциркуля**,** при этом рамка с нониусом ***6*** смещается, и закрепляют винт ***5***. После этого производят отсчет по шкале линейки ***1*** числа целых миллиметров ***к***, расположенных слева от нулевого деления нониуса, и номера деления нониуса ***n***, который совпадает с любым делением основной шкалы ***1***. По формуле (13) вычисляют длину предмета ***L***.

$$\mathbf{L = k \cdot b + n \frac{b}{m}}, \tag{13}$$

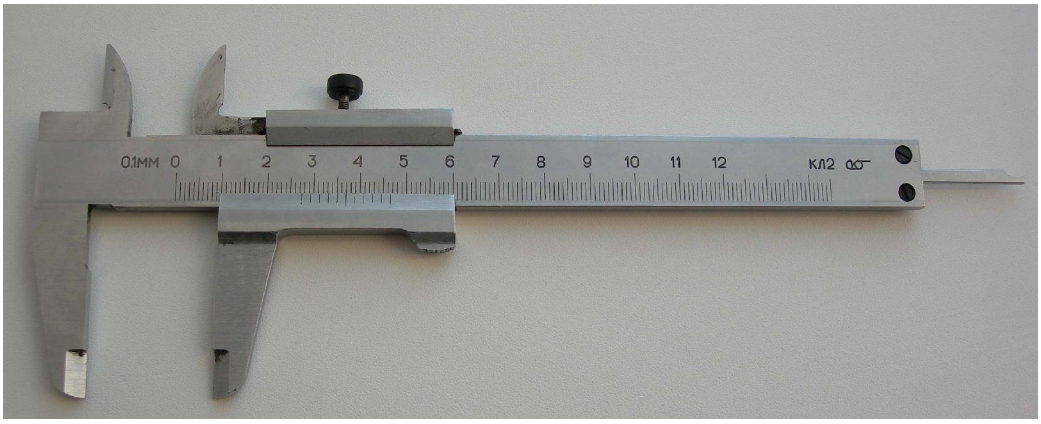


Рис.8. Штангенциркуль

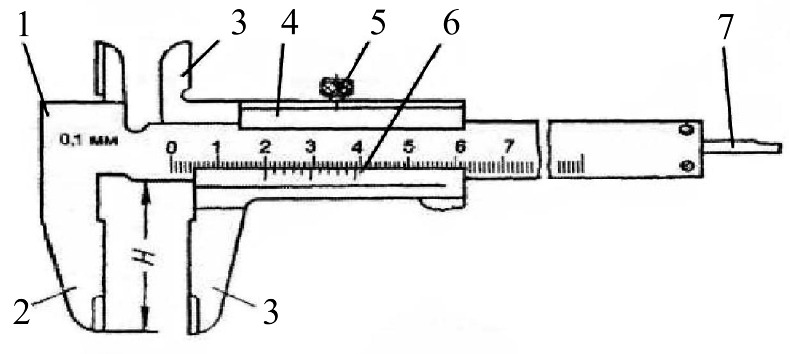


Рис.9. Строение штангенциркуля: 1 – штанга; 2 – губка штанги; 3 – губка рамки; 4 – рамка; 5 – зажим рамки; 6 – нониус; 7 – линейка глубиномера

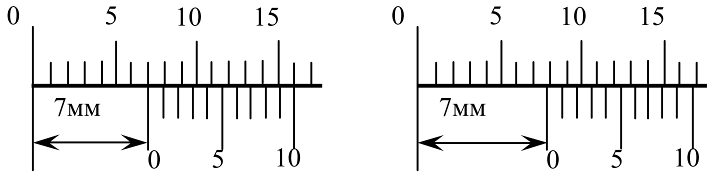
где ***k*** – количество делений масштабной линейки, ***b*** – цена одного деления масштабной линейки, ***n*** – номер деления нониуса, который совпадает с некоторым делением масштабной линейки, ***m*** – количество делений нониуса.

Если при измерении нулевое деление нониуса точно совпадает с каким-либо штрихом основной шкалы, то определяемый размер равен целому числу миллиметров и отсчитывается по этой шкале до нулевого деления нониуса. Если же нулевая отметка расположена между штрихами основной шкалы, то число целых миллиметров будет равно количеству целых делений между нулевой отметкой шкалы и нулевым делением нониуса, а число десятых – числу делений нониуса до деления нониуса, совпадающему с каким-либо делением основной шкалы. Так, в примере на рис. 10а показания штангенциркуля соответствуют 7 мм, а на рис. 10б – 7,7 мм.

При измерении внутренних размеров детали (например, внутреннего диаметра трубки) вводят измерительные губки ***3*** в трубку и разводят их настолько, чтобы они прилегали к внутренним стенкам трубки, и производят отсчет.

Целые миллиметры отсчитывают по делениям линейки ***1*** штангенциркуля, а десятые доли миллиметры – по перемещающемуся нониусу ***6***, когда между губками прибора зажат измеряемый предмет.

Следует пользоваться следующим правилом: ближайшее деление масштаба линейки штангенциркуля к нулевому штриху нониуса дает целое число миллиметров, содержащихся в измеряемой длине, а деление нониуса, совпавшее с каким-нибудь делением масштаба линейки, дает число десятых долей миллиметра.



а) б)

Рис. 10. Пример определения показаний штангенциркуля

Микрометр. Для измерения длины с точностью до сотых долей миллиметра применяется микрометрический винт. Микрометрический винт применяется в точных измерительных приборах (микрометр, микроскоп).

<u>Устройство и принцип работы</u>: микрометр (рис. 11, 12) состоит из двух основных частей: микрометрического винта ***1*** и скобы ***2***. Микрометрический винт ***1***, представляющий собой стержень с точной резьбой, проходит через отверстие скобы ***2*** с внутренней резьбой. Против микрометрического винта на скобе имеется упор ***3***. На микрометрическом винте закреплен полый цилиндр (барабан) ***4*** с делениями по окружности. При вращении микрометрического винта барабан ***4*** скользит поступательно по линейной шкале, нанесенной на стержне ***5***.

Главным источником ошибок является неравномерность нажатия винта на предмет, для устранения этого недостатка современные микрометры снабжены трещоткой ***6***, действие которой основано на трении, возникающем между винтом ***3*** и трещоткой ***6*** , поворачивающей винт. Для измерения микрометром предмет помещают между упором ***3*** и микрометрическим винтом ***1*** и вращают винт ***1*** за трещотку ***6*** до тех пор, пока измеряемый предмет не будет зажат между упором ***3*** и концом винта ***1***, что фиксируется слабым треском.

Отсчетное устройство микрометра состоит из двух шкал. Продольная линейная шкала стержня ***5*** представляет собой двойную шкалу с ценой деления ***b*** = 0,5 мм, нанесенную по обе стороны продольной черты. Верхние и нижние риски шкалы сдвинуты относительно друг друга на полмиллиметра; цифры представлены только для деления нижней шкалы, т.е. нижняя шкала представляет собой обычную миллиметровую шкалу. Следовательно, размер предмета определяется с точностью до 0,5 мм. Круговая шкала нанесена на барабане ***4.*** Цена деления барабана определяется следующим образом.

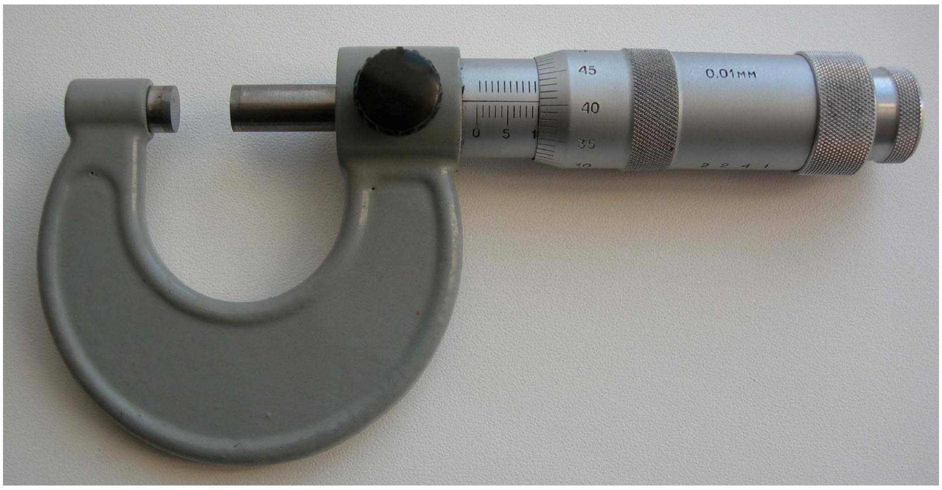


Рис.11. Микрометр

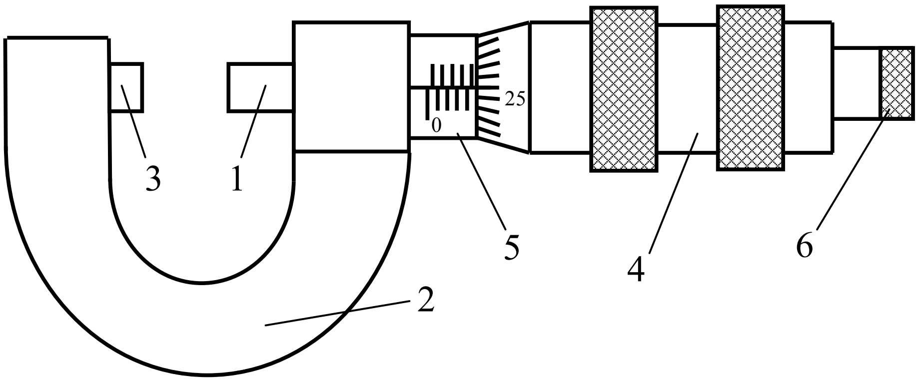


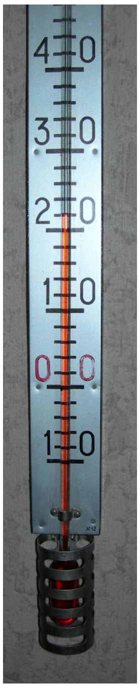
Рис. 12. Строение микрометра: 1 – микрометрический винт; 2 – скоба; 3 – упор; 4 – барабан; 5 – стержень с линейной шкалой; 6 – трещотка.

Пусть число делений круговой шкалы m = 50, шаг микровинта b = 0,5 мм (т. е. одному полному обороту барабана соответствует перемещение края барабана на одно деление линейной шкалы, на b = 0,5 мм). Цена деления круговой шкалы: $\mathbf{a = \frac{b}{m} = \frac{0,5}{50}\ мм = 0,01\ мм}$, т. е. по круговой шкале отсчитываются сотые доли миллиметра.

Числовое значение длины измеряемого предмета находят по формуле:

$$L = k \cdot b + n\frac{b}{m} = \left(k \cdot 0,5 + n \cdot 0,01\right) \text{ мм}, \qquad (14)$$

где k – число наименьших делений продольной шкалы, b – цена наименьшего деления этой шкалы, n – номер того деления барабана, которое в момент отсчета совпадает с осью шкалы стержня ***5***, b/m – цена деления на шкале барабана. Так, например на рис. 12 показания микрометра соответствуют: $L = 9 \cdot 0,5 + 26 \cdot 0,01 = 4,76$ **мм**.



Термометр – (греч. therme - тепло + metreo – измеряю) прибор для измерения температуры посредством контакта с исследуемой средой (рис 13). Действие термометров основано на различных физических явлениях, зависящих от температуры: на тепловом расширении жидкостей, газов и твердых тел, изменении с температурой давления газа и насыщенных паров, электрического сопротивления, магнитной восприимчивости парамагнетика. Наиболее

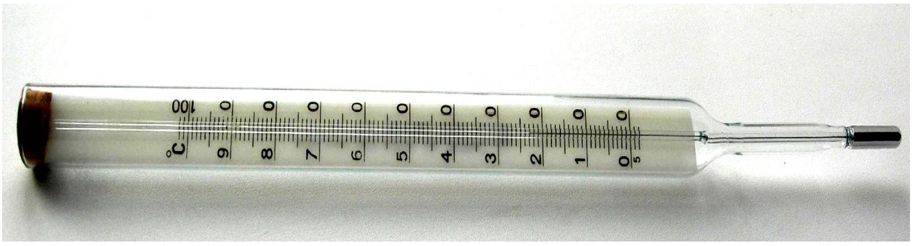


Рис. 13. Жидкостные термометры

распространены *жидкостные* термометры, *манометрические* термометры, термометр *сопротивления* и *термоэлектрические* термометры.

Жидкостный термометр – это обычный стеклянный термометр, содержащий ртуть, спирт. Принцип работы такого термометра основан на изменении объема жидкости при изменении ее температуры. Жидкость занимает меньший объем при низкой температуре и больший объем при высокой. **Цена деления термометров обычно 1°С или 2°С.**

Барометром называют прибор, используемый для измерения атмосферного давления (от греч. baros – тяжесть и metron, metreo - мера, измерение) – дословно "измеряющий тяжесть". Сейчас атмосферное давление измеряют в паскалях (сокращенно Па), но одновременно пользуются и миллиметрами ртутного столба – 760 мм рт. столба = 1010 гПа (гектопаскалей). Греческая приставка "гекто" (hekation) означает сто: 1 гПа = 100 Па.

Барометр-анероид (анероид – безжидкостный) (рис. 14,15) построен по принципу абсолютного деформационного барометра, предназначен для определения атмосферного давления и используется для проведения опытов при температурах от +5 до +35^{0}С и относительной влажности до 80%. **Прибор имеет две шкалы** – **одна из них проградуирована в ГПа, другая – в мм. рт. ст.** Диапазон измеряемого давления: от 720 до 780 мм. рт. ст; от 96000 до 104000 Па. **Цена наименьшего деления шкалы: 1 мм. рт. ст; 100 Па.**

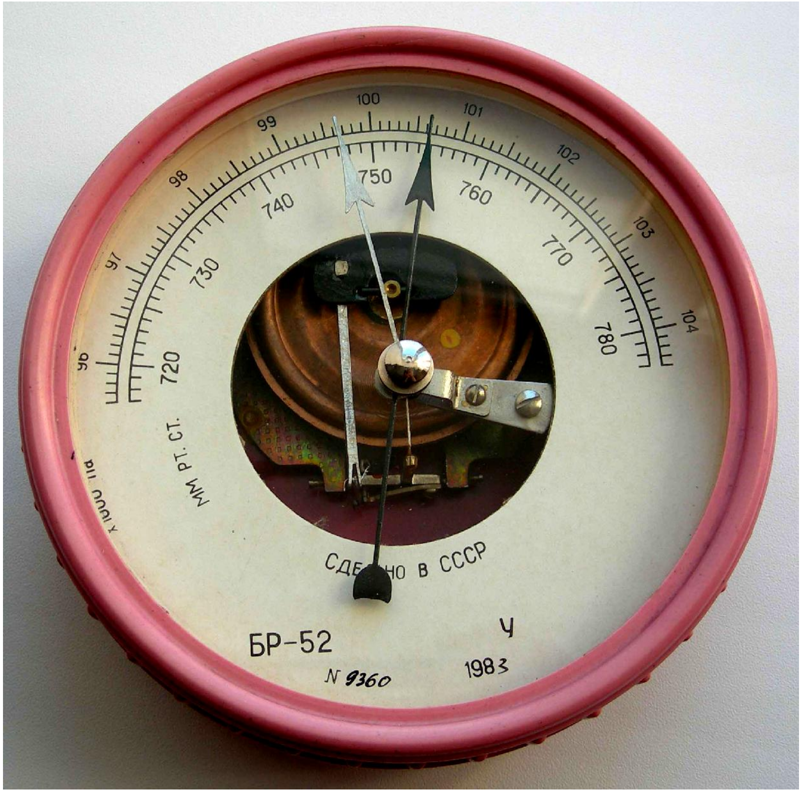


Рис.14. Барометр-анероид

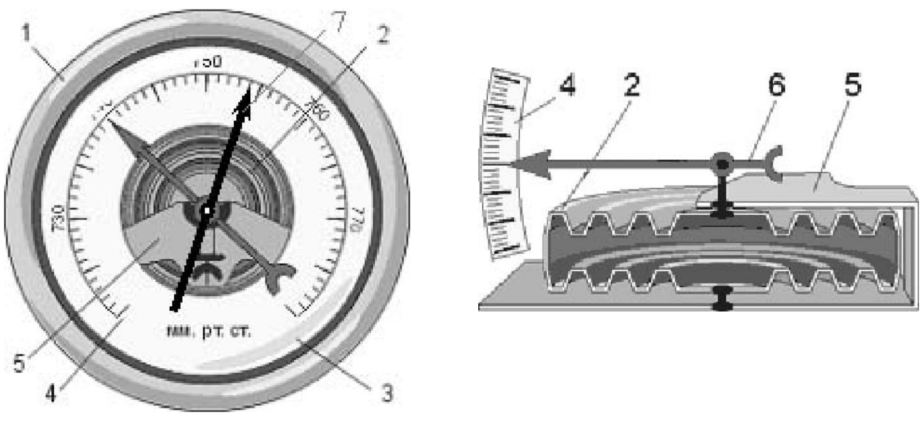


Рис.15. Устройство барометра-анероида: 1 – корпус; 2 – анероидные коробки; 3 – стекло; 4 – шкала; 5 – стальная пружина; 6 – отсчетная стрелка; 7 – фиксирующая стрелка

Устройство и принцип работы: приемную часть прибора (рис.15) составляют две анероидные коробки ***2***, растянутые стальной пружиной ***5*** и соединенные вместе. Для увеличения эластичности, коробки имеют кольцевые концентрические гофры. Воздух из коробок откачан до определенного давления. Действие барометра-анероида основано на свойствах мембранных коробок реагировать на изменение атмосферного давления.

При повышении атмосферного давления коробки сжимаются, а при понижении растягиваются. Этот ход коробок передается посредством системы рычагов и нитки на ось отсчетной стрелки ***6***. В центре корпуса вмонтирована фиксирующая стрелка ***7***, служащая для фиксации исходного отсчета по шкале. Конец стрелки передвигается по шкале ***4***. Все детали барометра помещены внутрь корпуса ***1***, закрытого спереди стеклом ***3***.

Порядок работы с прибором: для работы барометр-анероид подвешивается в вертикальном положении, в месте, защищенном от прямых солнечных лучей и резких колебаний температуры. При отсчете показаний луч зрения наблюдателя должен быть перпендикулярен участку шкалы, на котором отсчитывается показание стрелки. Перед снятием показаний необходимо слегка постучать пальцем по стеклу барометра-анероида для устранения трения в рычажной передаче.

Свойство анероидных коробок таково, что барометр-анероид с течением времени меняет свои показания. Поэтому желательно не реже одного раза в год производить сверку показаний барометра-анероида с показаниями ртутного барометра либо размещать заказ на поверку прибора специалистам органов стандартизации и метрологии либо специалистам гидро-метеослужбы. В случае самостоятельно осуществляемой поверки, отчетную стрелку подводят в соответствии с показаниями эталонного прибора путем поворота отверткой специального винта, доступ к которому имеется со стороны дна корпуса (верхнее отверстие).

Рис.16. Секундомер

Секундомер, прибор для измерения промежутков времени в часах, минутах, секундах и долях секунды. Секундомер имеет основное механическое, электрическое или электронное устройство для отсчета времени и, кроме того, специфическое устройство пуска, остановки и возврата к нулю стрелок (цифр), которое позволяет измерять промежутки времени. В наиболее распространенных малогабаритных секундомерах (рис. 16) применяют колебательную систему баланс – спираль с периодом колебаний 0,02 или 0,04 секунды при измерении промежутков времени до нескольких минут и 0,2 или 0,4 секунды – до нескольких часов. Пуск, остановку и возврат к нулю стрелок производят нажатием заводной головки и кнопок управления. **Цена деления секундомера изображенного на рисунке 16 – 0,2 секунды.**

5. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

Задание 1

1. Расчетная формула искомой величины дана в виде:

$$\mathbf{Y = \frac{1}{4} \cdot \frac{k^2 - n^2}{k \cdot n}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔY и обосновать Δk и Δn, если "к" измерялась 4 раза, а "n" − один раз.

2. Верно записать ответ, если искомая величина и ее абсолютная погрешность даны:

I = 0,76 А и ΔI =0,0011 А; a = 64,17 м/с^2 и Δa = 3 м/с^2.

L=849,73 м и ΔL = 5,1 см; T = 273,09 К и ΔT = 0,72 К.

U = 25 кВ и ΔU = 220 В; S = 85 м^2 и ΔS = 10000 см^2.

t = 17,5 ч и Δt = 0,26 ч; R = 749 Ом и ΔR=1,3 $\cdot 10^{-3}$ кОм.

Задание 2

1. Расчетная формула искомой величины дана в виде:

$$\mathbf{Z = \frac{3 \cdot a \cdot b \cdot c}{\sqrt{a + b + c}}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔZ и обосновать Δa, Δb и Δc, если величина "а" измерялась один раз, "b" − 3 раза и "с" − 10 раз.

2. Верно записать ответ, если даны искомая величина и ее абсолютная погрешность:

φ = 178,15° и $\Delta\varphi$ = 1,1°; a = 933 м/с^2 и Δa=100 см/с^2.

V = 246 л и ΔV = 12 л; V = 946,8 м/с и ΔV = 36 км/ч.

t = 67 сут. и Δt = 40 ч; S = 475,2 км и ΔS = 86 м.

m = 763,7 кг и Δm = 8,4 кг; C = 17,14 Ф и ΔC =0,028 Ф.

Задание 3

1. Расчетная формула дана в виде:

$$\mathbf{L = \frac{x^2 \cdot y^3}{7 \cdot \left(x^2 + y^2\right)}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔL и обосновать Δx и Δy, если "x" измерялась 4 раза, а "y" − один раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее

абсолютная погрешность:

$V = 274{,}18$ м^3 и $\Delta V = 390$ л; $T = 18{,}18$ К и $\Delta T = 0{,}18$ К.

$h = 39{,}56$ м и $\Delta h = 0{,}0071$ м; $U = 127{,}3$ В и $\Delta U = 11$ В.

$t = 29{,}5$ ч и $\Delta t = 27$ мин; $C = 43{,}12$ мкФ и $\Delta C = 23$ мкФ.

$I = 43{,}8$ А и $\Delta I = 438$ мкА; $S = 6$м^2 и $\Delta S = 1{,}7$ м^2.

Задание 4

1. Расчетная формула дана в виде:

$$Y = \frac{7x^2 \cdot y^3}{\sqrt{x - y}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔY и обосновать Δx и Δy, если "x" измерялась 3 раза, а "y" − один раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

$A = 375{,}6$ Дж и $\Delta A = 14$ Дж; $U = 25{,}366$ кВ и $\Delta U = 220$ В.

$L = 297{,}54$ км и $\Delta L = 281$ м; $S = 85$ м^2 и S=10000см^2.

$T = 185{,}73$ К и $\Delta T = 16$ К; $I = 0{,}67$ А и $\Delta I = 0{,}044$ А.

$R = 749$ Ом и $\Delta R = 10$ Ом; $V = 31$ м^3 и ΔV=1000 дм^3.

Задание 5

1. Расчетная формула дана в виде:

$$X = \frac{4 \cdot \sqrt{a \cdot b \cdot c}}{\sqrt{a + b + c}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔX и обосновать Δa, Δb, Δc, если "a" и "b" измерялись по одному разу, а "c" − пять раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

$R = 594$ кОм и ΔR=1200 Ом; $P = 23{,}15$ Вт и ΔP=0,016 Вт.

$I = 0{,}17$ А и ΔI =0,0028 А; $a = 437{,}289$ м/с^2 и Δa = 500мм/с^2.

$L = 147{,}12$ м и $\Delta L = 12$ см; $U = 1578$ В и $\Delta U = 23$ В.

$A = 1954$ Дж и $\Delta A = 13$ Дж; $V = 108$ км/ч и $\Delta V = 11$ м/с.

Задание 6

1. Расчетная формула дана в виде:

$$Y = x^2 \cdot z^2 \cdot \sqrt{x^2 + z^2}\ .$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔY и обосновать Δx и Δz, если величина "x" измерялась три раза, а "z" − один раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность.

I = 45,37 А и ΔI = 0,74 А; S = 853,019 $м^2$ и ΔS=1722 $см^2$.

U = 330 В и ΔU = 21 В. V = 216 км/ч и ΔV = 12 м/с.

R = 7947,1 Ом и ΔR=0,02кОм; t = 7,3 часа и Δt = 7 мин.

a = 745,28 м и Δa = 80 см; m = 61,12 кг и Δm = 154 г;

Задание 7

1. Расчетная формула дана в виде:

$$Z = \frac{8 \cdot \sqrt{c^3 + d^3}}{c - d}\ .$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔZ и обосновать Δc и Δd, если величина "c" измерялась три раза, а величина "d" − один раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

m = 948,71 кг и Δm = 2351 г; I = 1,74 А и ΔI=$1{,}3 \cdot 10^{-3}$ А.

R = 18,3 кОм и ΔR = 800 Ом; C = 33,6 мкФ и ΔC =2,3 мкФ.

U = 127,7 В и ΔU = 0,63 В; S=156 м2 и ΔS=20000см2.

P=937,63 мм рт. ст. и ΔP=28 мм рт. ст.; V = 945 м/с и ΔV =36 км/ч.

Задание 8

1. Расчетная формула дана в виде:

$$X = a \cdot \left(b^2 - a^2\right) \cdot \sqrt{a \cdot b}\ .$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности Δx и обосновать Δa и Δb, если величина "a" измерялась один раз "b" − четыре раза.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

T = 573,17 K и ΔT = 1,9 K; V = 54 км/ч и ΔV = 2,6 м/с;

A = 447,29 Дж и ΔA = 42 Дж; t = 24,7 ч и Δt = 15 мин.

L = 447,29 км и ΔL = 182 м; a = 9,781 $м/с^2$ и Δa=0,086 $м/с^2$.

$m = 7{,}36$ т и $\Delta m = 148$ кг. $V = 3{,}1$ м^3 и $\Delta V = 100$ см^3.

Задание 9

1. Расчетная формула дана в виде:

$$\mathbf{Y} = \frac{\mathbf{n} \cdot (\mathbf{n} - \mathbf{m})}{\mathbf{n}^2 + \mathbf{m}^2}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔY обосновать Δn и Δm, если величина "n" измерялась пять раз, а "m" − один раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

$L = 467{,}29$ км и $\Delta L = 282$ м; $m = 84{,}17$ кг и $\Delta m = 700$ г;
$t = 123{,}46$ часа и $\Delta t = 33$ мин; $F = 659$ Н и $\Delta F = 11$ Н;
$U = 340$ В и $\Delta U = 28$ В. $C = 13{,}8$ мкФ и $\Delta C = 1{,}2$ мкФ.
$I = 98{,}7$ А и $\Delta I = 1{,}7$ А. $S = 567{,}08$ м^2 и $\Delta S = 0{,}19$ м^2.

Задание 10

1. Расчетная формула дана в виде:

$$\mathbf{X} = \sqrt{\mathbf{y} \cdot \mathbf{z}} \cdot (\mathbf{y}^2 + \mathbf{z}^2).$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔX и обосновать Δy и Δz, если величина "y" измерялась один раз, а величина "z" − четыре раза.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

$V = 108$ км/ч и $\Delta V = 12$ м/с; $P = 693$ Вт и $\Delta P = 0{,}07$ кВт.
$S = 2{,}5$ м2 и $\Delta S = 0{,}61$ м2; $I = 53{,}17$ А и $\Delta I = 2{,}8$ А;
$m = 64{,}7$ кг и $\Delta m = 517$ г; $t = 2$ сут. 5 ч. и $\Delta t = 1{,}7$ ч.
$A = 1573$ Дж и $\Delta A = 47$ Дж. $C = 944$ Ф и $\Delta C = 16$ Ф.

Задание 11

1. Расчетная формула дана в виде:

$$\mathbf{Y} = \frac{4\mathbf{a}^2 \cdot \mathbf{b}^2}{\sqrt{\mathbf{a}^2 + \mathbf{b}^2}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔY и обосновать Δa и Δb, если величина "a" измерялась один раз, "b" – четыре раза.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

a=372,91 м/с2 и Δa=8,1 м/с2; φ = 73,87° и Δφ = 0,16°;

U = 721,7 В и ΔU = 2,9 В; S = 156,3 $м^2$ и ΔS = 11 $м^2$.

T = 348,17 К и ΔT = 14 К; m = 1,47 т и Δm = 613 кг.

I = 6,54 А и ΔI =291 млА. R = 7,15 кОм и ΔR=600 мОм.

Задание 12

1. Расчетная формула дана в виде:

$$\mathbf{X = \frac{3a \cdot b^4 \cdot c}{8 \cdot (c + a)}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔX и обосновать Δa, Δb, Δc, если величина "a" измерялась один раз, "b" и "c" – четыре раза.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

Y = 548,7 м и ΔY = 213 см; U = 220,7 В и ΔU = 3,7 В;

V = 36 км/ч и ΔV = 2,1 м/с. T = 824 К и ΔT = 8,2 К.

m = 296,б кг и Δm = 437 г; I = 0,0369 А и ΔI = 5 млА.

F = 289,3 Н и ΔF = 0,29 Н; R=84,137 Ом и ΔR=$29 \cdot 10^{-3}$ Ом.

Задание 13

1. Расчетная формула дана в виде:

$$\mathbf{Z = \frac{8a \cdot b^2}{\sqrt{a^2 - b^2}}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔZ и обосновать Δa и Δb, если величина "a" измерялась один раз, а "b" – пять раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

T = 237,19 К и ΔT = 1,7 К; U = 52 кВ и ΔU = 10^3 В;

t = 57,1 ч и Δt = 0,62 ч; R = 947 Ом и ΔR=$1,1 \cdot 10^{-3}$ кОм.

L = 739,84 м и ΔL = 5,7 см; a = 17,64 м/$с^2$ и Δa =30 мм/$с^2$.

S = 58 $м^2$ и ΔS=10000$см^2$. I = 0,67 А и ΔI =0,0012 А.

Задание 14

1. Расчетная формула дана в виде:

$$U = \frac{3 \cdot (k + n)}{k^2 \cdot n^2}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔU и обосновать Δk и Δn, если величина "k" измерялась три раза, "n" – один раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

U = 124,3 кВ и ΔU = 620 В; T = 149,3 К и ΔT = 1,7 К.

L = 894,73 м и ΔL = 5,1 см; S = 58 м^2 и ΔS = 1000 см^2.

t = 15,7 ч и Δt = 0,62 ч; a = 183,7 м/с^2 и Δa = 8000 мм/с^2.

φ = 268,3° и $\Delta\varphi$ = 11°; R = 9685 Ом и ΔR = 0,17 кОм.

Задание 15

1. Расчетная формула дана в виде:

$$Y = \frac{4\pi \cdot k^2}{n^2 - k^2}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔY и обосновать Δn и Δk, если величина "k" измерялась три раза, а "n" − один раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

C = 18,6 Ф и ΔC = 0,13 Ф; F = 798,456 Н и ΔF = 23 Н.

V = 144 км/ч и ΔV = 1,7 м/с. S = 25,72 м^2 и ΔS = 1,6 м^2;

m = 374,11 т и Δm = 719 кг; X = 2345 м и ΔX = 0,027 км.

I = 9,38 А и ΔI = 0,13 А; t = 24,1 ч. и Δt =0,01 сут.

Задание 16

1. Расчетная формула дана в виде:

$$Z = \frac{a^2 \cdot (a^2 + b^2)}{a^2 - b^2}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔZ и обосновать Δa и Δb, если величина "a" измерялась один раз, величина "b" – пять раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

I = 23,13 А и ΔI = 21 млА; L = 543,76 м и ΔL = 18 см.
T = 32,08 К и ΔT = 0,83 К; A = 40,91 Дж и ΔA = 12 Дж.
U = 748,7 В и ΔU = 13 В; m = 574,81 г и Δm = $9{,}1 \cdot 10^{-4}$ кг.
R = 561,12 Ом и ΔR = 1,7 Ом; g = 9,8 м/с^2 и Δg = 110 см/с^2.

Задание 17

1. Расчетная формула дана в виде:

$$\mathbf{X = \frac{\pi \cdot k \cdot n^4}{8 \cdot (k - n)}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔX и обосновать Δk и Δn, если величина "k" измерялась четыре раза, "n" – один раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

A = 375,6 Дж и ΔA = 42 Дж; V = 31 м^3 и ΔV = 1000 дм^3.
T = 185,73 К и ΔT = 16 К; S = 85 м^2 и ΔS = 10000см^2.
U = 25,366 кВ и ΔU = 220 В; L = 297,54 км и ΔL = 1000 дм.
I = 0,67 А и ΔI = 0,044 А; R = 749 Ом и ΔR =$1{,}3 \times 10^{-3}$ кОм.

Задание 18

1. Расчетная формула дана в виде:

$$\mathbf{Y = \frac{\sqrt{3 \cdot a \cdot b}}{a^3 - b^3}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔY и обосновать Δa и Δb, если величина "a" измерялась один раз, а "b" – семь раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

X = 173,5 м и ΔX = 80 см; U = 52,663 В и ΔU = 0,017 В.
F = 946,13 Н и ΔF = 12 Н; C = 43,7 Ф и ΔC= 600 млФ.
I = 1,76 А и ΔI =0,0033 А; S = 58 м^2 и ΔS = 11000 см^2.
V = 844,5 м/с и ΔV =36 км/ч; R = 947 Ом и ΔR=$2{,}1 \times 10^{-3}$ кОм.

Задание 19

1. Расчетная формула дана в виде:

$$\mathbf{Z = \frac{1}{\pi} \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot \sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔZ и обосновать Δa и Δb, если величина "a" измерялась пять раз, а "b" – один раз.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

$t = 76$ суток и $\Delta t = 28$ ч; $V = 743{,}12$ л и $\Delta V = 38$ л.

$T = 36{,}5$ °C и $\Delta T = 0{,}18$ °C; $U = 220{,}7$ В и $\Delta U = 1{,}9$ В.

$\varphi = 15{,}178°$ и $\Delta\varphi = 2{,}18°$; $a = 933$ м/с^2 и $\Delta a = 110$ см/с^2.

$I = 17{,}17$ А и $\Delta I = 0{,}17$ А; $R = 1234$ Ом и $\Delta R = 21$ Ом.

Задание 20

1. Расчетная формула дана в виде:

$$\mathbf{X} = \frac{(\mathbf{d} - \mathbf{c}) \cdot \mathbf{d}^3 \cdot \mathbf{b}^3}{\mathbf{d} + \mathbf{c}}, \ b=\text{const.}$$

Получить рабочую формулу для расчета абсолютной погрешности ΔX и обосновать Δd и Δc, если величина «d» измерялась один раз, «c» – три раза.

2. Верно записать ответ, если дана искомая величина и ее абсолютная погрешность:

$U = 1749{,}3$ В и $\Delta U = 130$ В; $S = 40{,}9$ м^2 и $\Delta S = 1{,}47$ м^2.

$A = 1{,}3\times10^3$ Дж и $\Delta A = 810$ Дж; $R = 549$ кОм и $\Delta R = 1355$ Ом.

$I = 51{,}32$ А и $\Delta I = 0{,}018$ А; $h = 449$ м и $\Delta h = 3{,}7\cdot10^{-3}$ км.

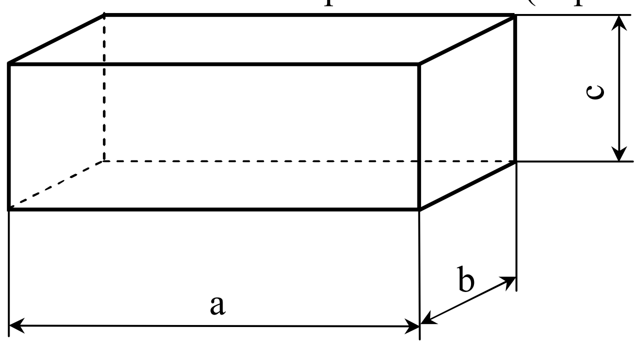
$F = 749{,}1$ Н и $\Delta F = 0{,}91$ Н; $V = 850$ м/с и $\Delta V = 36$ км/ч.

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.
"ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ"

ВАРИАНТ А

Цель: научиться пользоваться штангенциркулем и микрометром; научиться оценивать точность полученного измерения, применяя теорию погрешностей.

Приборы: микрометр;
штангенциркуль;
измеряемое тело (образец).



Рабочая формула: $\mathbf{V=a \cdot b \cdot c}$,

где V – объем образца, мм^3;
a – длина образца, мм;
b – ширина образца, мм;
c – высота образца, мм.

a, мм	b, мм	$b_{ср}$, мм	c, мм	$c_{ср}$, мм	V, мм^3	ΔV, мм^3	ε, %

Порядок выполнения работы.

1. Измерить длину прямоугольника штангенциркулем 1 раз. Измерить ширину 7 раза штангенциркулем, высоту – 5 раз микрометром.

2. Рассчитать объем тела V.

3. Произвести расчет абсолютной погрешности ΔV по методу косвенных измерений.

4. Записать правильную запись конечного ответа $V = (V \pm \Delta V)$ мм^3.

5. Произвести расчет относительной погрешности ε.

6. Сделать вывод по работе.

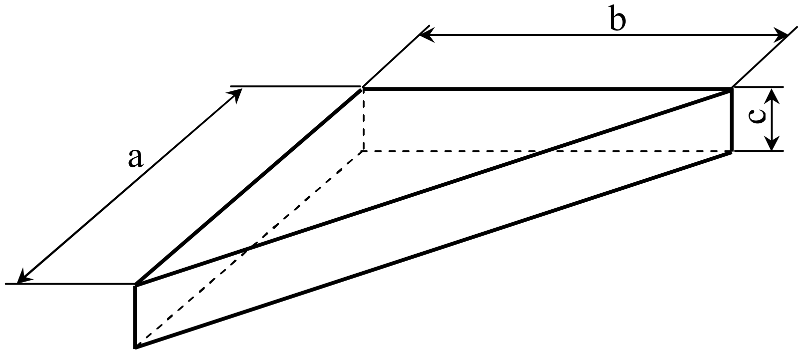
Контрольные вопросы.

1. Виды измерений. Классификация погрешностей.
2. Какие методики расчета погрешности Вы знаете? От чего зависит выбор метода расчета?
3. Правильная запись конечного ответа на примере задания для контроля.
4. Требования, предъявляемые к построению графиков:
5. Простейшие измерительные приборы: устройство и принцип работы.

ВАРИАНТ Б

Цель: научиться пользоваться штангенциркулем и микрометром; научиться оценивать точность полученного измерения, применяя теорию погрешностей.

Приборы: микрометр;
штангенциркуль;
измеряемое тело.



Рабочая формула: $$\mathbf{V=\frac{1}{2}\,a\cdot b\cdot c,}$$

где V – объем тела, мм^3;
a – длина тела, мм;
b – ширина тела, мм;
c – высота тела, мм.

a, мм	b, мм	$b_{ср}$, мм	c, мм	$c_{ср}$, мм	V, мм^3	ΔV, мм^3	ε, %

Порядок выполнения работы.

1. Измерить длину треугольника штангенциркулем 1 раз. Измерить ширину 4 раза штангенциркулем, высоту –7 раз микрометром.
2. Рассчитать объем тела V.
3. Произвести расчет абсолютной погрешности ΔV по методу косвенных измерений.
4. Записать правильную запись конечного ответа V = (V ± ΔV) мм^3.
5. Произвести расчет относительной погрешности ε.
6. Сделать вывод по работе.

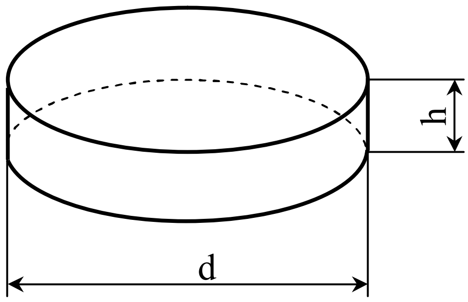
Контрольные вопросы.

6. Виды измерений. Классификация погрешностей.
7. Какие методики расчета погрешности Вы знаете? От чего зависит выбор метода расчета?
8. Правильная запись конечного ответа на примере задания для контроля.
9. Требования, предъявляемые к построению графиков:
10. Простейшие измерительные приборы: устройство и принцип работы.

ВАРИАНТ С

Цель: научиться пользоваться штангенциркулем и микрометром; научиться оценивать точность полученного измерения, применяя теорию погрешностей.

Приборы: микрометр;
штангенциркуль;
измеряемое тело (цилиндр).



Рабочая формула: $$\mathbf{V = \frac{\pi d^2 h}{4}},$$

где V – объем цилиндра, $мм^3$;
d – диаметр цилиндра, мм;
h – высота цилиндра, мм;
π – постоянная Пифагора.

d, мм	$d_{ср}$, мм	h, мм	$h_{ср}$, мм	V, $мм^3$	ΔV, $мм^3$	ε, %

Порядок выполнения работы.

1. Измерить диаметр цилиндра штангенциркулем 7 раз. Измерить высоту цилиндра 6 раза микрометром.

2. Рассчитать объем тела V.

3. Произвести расчет абсолютной погрешности ΔV по методу косвенных измерений.

4. Записать правильную запись конечного ответа $V = (V \pm \Delta V)$ мм^3.

5. Произвести расчет относительной погрешности ε.

6. Сделать вывод по работе.

Контрольные вопросы.

11. Виды измерений. Классификация погрешностей.
12. Какие методики расчета погрешности Вы знаете? От чего зависит выбор метода расчета?
13. Правильная запись конечного ответа на примере задания для контроля.
14. Требования, предъявляемые к построению графиков:
15. Простейшие измерительные приборы: устройство и принцип работы.

7. ФОРМА ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА И ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ СТП ТПУ 2.3.05-01

Федеральное агентство по образованию
Томский политехнический университет
Юргинский технологический институт

Факультет ЭиМ
Кафедра ЕНО
Физика

Лабораторная работа №
Название работы – прописными буквами

Исполнитель:
студент, номер группы (*подпись*) И. О. Фамилия
(*дата*)
Руководитель:
(должность, уч. степень) И. О. Фамилия

Юрга - 2007

Порядок оформления отчета

1. Цель работы.

2. Приборы с характеристиками (приборы пишутся в столбик, а характеристики – рядом в круглых скобках). У измерительных приборов характеристикой является цена деления (самое маленькое деление на шкале), а у электроизмерительных их три: цена деления, максимальное возможное показание прибора, класс точности.

Пример: линейка (1 мм)
амперметр (3 А; 150 А; 1,5 %)

3. Схема, рисунок или чертеж.

4. Рабочая(ие) формула(ы) с пояснением величин в нее входящих и их размерности.

Пример: $V=a\cdot b\cdot c$

V – объем тела, м^3;
a – длина тела, м;
b – ширина тела, м;
c – высота тела, м.

5. Таблица(ы) результатов измерений и расчетов.

6. Расчет искомой величины.

7. Расчет абсолютной погрешности.

8. Правильная запись конечного ответа: $X=(X\pm\Delta X)$.

9. Расчет относительной погрешности.

10. Построение графика (если требуется в работе).

11. Вывод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Изд-во: Лань. 2006.– 832 с.
2. Ращиков В.И., Рошаль А.С. Численные методы решения физических задач: Учеб.пособие. – СПб.: Лань, 2005. – 208 с.
3. Шаповалов А.А.. Методика конструирования и содержание лабораторного эксперимента по элементарному курсу механики. – Барнаул, 1996 г.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ

Методические указания для студентов 1 курса
очной, очно-заочной и заочной формы обучения всех специальностей

Составитель Теслева Елена Павловна

Подписано к печати 15.04.2007 г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Плоская печать. Усл. печ. л. 2,73. Уч.-изд. л. 2,47.
Тираж 40 экз. Заказ 740. Цена свободная.
ИПЛ ЮТИ ТПУ Ризограф ЮТИ ТПУ.
652000, Юрга, ул. Московская, 17.