

ЗАДАНИЕ

1. «ВВЕДЕНИЕ» – сделать конспект в тетради.
2. Лабораторная работа №1 «ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН» – сделать конспект в тетради, по известным данным измерений произвести расчет, заполнить таблицу, записать вывод (вывод пишется по цели, например: В данной работе я изучил устройство штангенциркуля и научился измерять...), в выводе отразить полный результат измерений.

ВВЕДЕНИЕ

Физические величины, их единицы измерения и размерности

Физические величины характеризуют свойства объектов материального мира. Как правило, одна физическая величина характеризует какое-то одно свойство объекта.

Например, длина является физической величиной и характеризует протяженность объектов в пространстве, электрическое сопротивление характеризует свойство тел проводить электрический ток и т. д.

Оценить физическую величину количественно можно, если заранее установить ее единицу. Единица измерения физической величины – это такая величина, числовое значение которой по договоренности считается равным единице.

Измерение заключается в сравнении измеряемой физической величины с ее значением, принятым за единицу.

Численное значение физической величины зависит от выбора ее единицы, в связи с чем создаются трудности при переходе от одних единиц к другим. В 1960 году на XI Генеральной конференции по мерам и весам условились использовать одинаковые единицы физических величин во всем мире. Систему единиц измерения физических величин установленных этой конференцией назвали Международной (SI или СИ). Международное сокращенное наименование этой системы «SI» означает первые буквы слов «system international» – международная система.

Система СИ содержит семь основных, две дополнительные и большое количество производных физических величин и их единиц.

Основными называются физические величины, для которых единицы измерения установлены произвольно, т.е., независимо от остальных.

Основными единицами системы СИ являются:

единица длины – **метр** (м),

единица массы – **килограмм** (кг),

единица времени – **секунда** (с),

единица термодинамической температуры – **кельвин** (К),

единица силы электрического тока – **ампер** (А),

единица силы света – **кандела** (кд),

Дополнительными величинами в СИ служат:

единица плоского угла – **радиан** (рад),

единица телесного угла – **стерадиан** (ср).

Дополнительные физические величины – это величины, единицы измерения которых не могут быть установлены через единицы измерения основных величин, они имеют смысл геометрических понятий (плоский угол – радиан и телесный угол – стерадиан). Остальные физические величины являются производными. Единицы измерения производных величин устанавливаются на основании формул, связывающих эти величины с основными.

Замечательным свойством любой системы единиц измерения физических величин является то, что любую величину этой системы (кроме дополнительных) можно выразить через основные физические величины. Выражение, отражающее связь физической величины с основными величинами системы, при условии, что коэффициент пропорциональности принят равным единице, называют **размерностью** этой физической величины. Размерность обозначают символом **dim** (от слова "dimension", что в переводе с английского означает "размерность").

Размерностям основных физических величин присвоены определенные символы ($\dim l = L$, $\dim t = T$, $\dim m = M$).

При записи физических законов и формул необходимо следить, чтобы размерности обеих частей физических равенств и слагаемых членов были одинаковыми.

Если равенство размерностей не соблюдается, то допущена принципиальная ошибка.

Погрешности измерений физических величин

Положения и выводы физики непосредственно связаны с экспериментом. Как в любой точной науке, в физике результаты экспериментов представляются чаще всего набором некоторых чисел – **числовых значений физических величин**. Это те самые числовые значения, которые входят в математические формулы, устанавливающие связи между физическими величинами в явлениях природы.

Одна из целей практикума – научиться правильно измерять физические величины и правильно использовать их числовые значения в формулах.

Измерить физическую величину – значит сравнить ее с однородной величиной, принимаемой за единичную. **Единицы измерения** выбираются произвольно, но уж если они выбраны, они должны оставаться неизменными в пределах выбранной системы единиц.

Принято различать следующие виды измерений.

Прямыми измерениями называют такие измерения, при которых с помощью эталонного прибора измеряют непосредственно исследуемую величину X . Например, прямым измерением является измерение длины при помощи линейки.

Косвенными измерениями называют такие измерения, при которых искомое значение величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, определяемыми прямыми измерениями. Примером косвенных измерений является измерение плотности тела по результатам прямых измерений его массы и объема.

Почему при измерениях возникает необходимость обработки результатов измерений? Потому, что произвести измерение абсолютно точно невозможно – всякое измерение сопровождается **погрешностью**, вызванной принципиальной невозможностью (в силу всеобщей связи явлений в природе) устраниить все посторонние влияния на процесс измерения (хотя любое из влияний можно сделать сколько угодно малым).

Если измерительный инструмент обладает достаточной чувствительностью, результаты измерений некоторой величины X в большинстве случаев различны между собой. Обозначим результаты

измерения x_1, x_2, \dots, x_n , а **истинное значение** измеряемой величины – x_0 , где разности

$$x_i - x_0 = \Delta x_i$$

являются погрешностями измерений.

Таким образом, мы оказываемся не в состоянии определить истинное значение измеряемой величины даже в результате большого числа измерений, но мы можем дать истинному значению оценку, т.е. указать его наиболее вероятное значение и указать погрешность измерений. *Указание погрешности позволяет вычислить вероятность того, что истинное значение измеряемой величины окажется в том или ином интервале значений.*

Классификация погрешностей

Погрешности измерений возникают неизбежно вследствие ограниченной точности измерительных приборов, несовершенства наших органов чувств, влияния неконтролируемых внешних факторов. Это значит, что *все измерения дают нам не истинное значение измеряемой величины, а лишь приближенное, содержащее некоторую неизвестную нам погрешность*. Основываясь на теории погрешностей, оказывается возможным установить предельное значение погрешности, определить интервал, в котором вероятнее всего находится истинное значение измеряемой величины.

Все погрешности измерений можно разделить на три особых класса.

1. *Систематические погрешности* – это ошибки, появляющиеся в измерениях главным образом как результат неверных показаний приборов, ошибочности самого метода измерений, постоянного влияния внешнего фактора, искажающего результат измерения. Они обусловлены действием постоянных по величине и направлению факторов и поэтому сохраняют величину и знак при повторных измерениях.

Обнаружить и устранить систематические погрешности можно, относясь критически к самим методам измерений, следя за исправным состоянием измерительных приборов и строго придерживаясь выработанных практикой правил выполнения работ.

2. *Грубые ошибки* или *промахи* обусловлены неверными

отсчетами, записями показаний приборов, неточностями юстировки лабораторной установки и т.д. Для устранения промахов нужно соблюдать аккуратность и тщательность в работе и записях результатов. Промахи выявляются обычно при повторных измерениях, так как сильно отличаются от остальных результатах.

3. *Случайные погрешности* обусловливаются большим числом различных причин, действующих при каждом отдельном измерении неизвестным образом. При повторных измерениях они изменяются и по величине и по знаку.

В силу действия самых разнообразных причин, сопутствующих каждому измерению, предвидеть появление случайной ошибки и предугадать ее величину и знак невозможно. Случайные ошибки проявляют себя в том, что при неизменных условиях эксперимента и при полностью исключенных систематических ошибках результаты повторных измерений одной и той же величины оказываются отличающимися друг от друга. Они вызываются неточностью отсчетов, которую совершенно непроизвольно может внести каждый экспериментатор: причины их заключаются в ограниченности наших органов чувств и во многих других обстоятельствах, сопровождающих измерения, которые заранее учесть нельзя. Случайные погрешности подчиняются законам вероятности, и поэтому многократное повторение одного и того же измерения уменьшит влияние этих случайных ошибок. Исключить совершенно случайные ошибки невозможно.

Приемы уменьшения влияния величины случайных погрешностей на результат измерений дает теория погрешностей, построенная на основе теории вероятностей. Теория погрешностей справедлива только для случайных погрешностей, поэтому в дальнейшем будем считать, что грубые промахи и систематические погрешности измерений полностью устраниены.

Истинное значение измеряемой величины X_0 экспериментатору не известно. Наиболее близко к истинному значению лежит среднее значение измеряемой величины, определяемое по формуле

$$\langle X \rangle = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (1)$$

Абсолютная погрешность ΔX измерения – это разность между измеренным ($X_{изм}$) и истинным значением (X_0) измеряемой величины:

$$\Delta X = X_{изм} - X_0 \quad (2)$$

Относительная погрешность измерения δ равна отношению абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины:

$$\delta = \frac{\Delta \tilde{O}}{\tilde{O}_0} \cdot 100\% . \quad (3)$$

Расчет случайных погрешностей прямых измерений

Определяем среднее значение искомой величины по формуле (1):

$$\langle X \rangle = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где X_i – значение измеряемой величины в i -м измерении, n – число измерений.

Оценку абсолютной погрешности i -го измерения находим по формуле

$$\Delta X_i = |X_i - \langle X \rangle| .$$

Рассчитываем среднее значение абсолютной погрешности

$$\langle \Delta X \rangle = \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots + \Delta X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n} .$$

Относительная погрешность измерения определяется по формуле (3)

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta X \rangle}{\langle X \rangle} \cdot 100\% .$$

Правила округления при расчетах и записи результатов измерений.

При расчетах и записи результатов измерений в значениях доверительных границ указывают не более двух значащих цифр. Например: $\pm 0,73$; ± 3.20 ; ± 0.0020 . Величину среднего значения результата измерений заканчивают тем же разрядом, которым заканчивается значение соответствующей доверительной границы. Например:

$$L = 2,42 \pm 0,07 \text{ м} \text{ или } L = 2,423 \pm 0,072 \text{ м},$$
$$m = 3,00 \pm 0,10 \text{ г} \text{ или } m = 3,000 \pm 0,001 \text{ г.}$$

Округляя числа, последнюю из оставляемых цифр увеличивают на единицу, если первая из отбрасываемых цифр больше или равна 5. Например, число 1,367 можно округлить до 1,4; 3,454 – до 3,5; 6.39 до 6,4. Если отбрасываемая цифра меньше 5, то последнюю из цифр не изменяют. Например, 5,358 можно округлить до 5,4; 2,33 – до 2,3.

При вычислении результатов косвенных измерений нужно всегда помнить, что числа, полученные в процессе прямых измерений, всегда являются приближенными и не следует результаты расчетов представлять с точностью, большей точности измеренных величин. Например, при определении ускорения свободного падения g высота ($h=60\text{м}$) измерена с точностью $\Delta h = \pm 0,1\text{м}$, а время ($t = 3,5 \text{ с}$) с точностью $\Delta t = \pm 0,1 \text{ с}$. Тогда рассчитанное значение ускорения свободного падения следует записать как $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, а не как $g = 9,7959 \text{ м/с}^2$.

Лабораторная работа № 1

ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Цель работы: ознакомиться с устройством и проведением измерений с помощью штангенциркуля и микрометра; освоить математическую обработку результатов измерений.

Приборы и принадлежности.

1. Штангенциркуль.
2. Плоская пластина.
3. Проволока.

1 ВВЕДЕНИЕ

Линейный нониус

Линейным нониусом называется маленькая линейка с делениями, которая может скользить вдоль большой линейки также с делениями, называемой масштабом (рисунок 1.1).

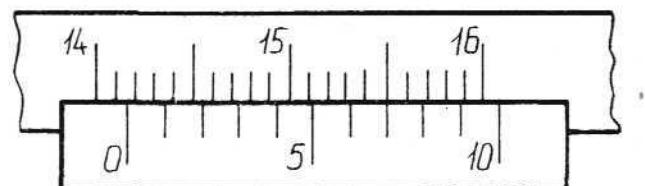


Рисунок 1.1 – Нониус

Деления на нониусе наносятся обычно так, что одно деление нониуса составляет $\frac{m-1}{m} = 1 - \frac{1}{m}$ делений масштаба, где m – число делений нониуса. Именно это позволяет, пользуясь нониусом, производить отсчеты с точностью до $1/m$ части наименьшего деления масштаба. Пусть расстояние между соседними штрихами масштаба равно y , а между соседними штрихами нониуса – x .

Можно написать, что $x = y - (y/m)$, откуда получаем

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

Величина

$$\Delta x = y - x = y/m \quad (1.1)$$

носит название *точности нониуса*, она определяет максимальную погрешность нониуса.

В любом положении нониуса относительно масштаба одно из делений нониуса совпадает с каким-либо делением масштаба. Отсчет по нониусу основан на способности глаза фиксировать это совпадение делений нониуса и масштаба.

2 ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ ШТАНГЕНЦИРКУЛЕМ

Описание штангенциркуля. Штангенциркуль состоит из разделенной на миллиметры масштабной линейки, вдоль которой может перемещаться перпендикулярная к его длине ножка с зажимным винтом, служащим для ее фиксирования. Отсчетным приспособлением у всех конструкций штангенциркулей служит шкала штанги и линейный нониус. При нулевом показании инструмента нули нониуса и масштабной линейки совпадают. Измеряемая деталь зажимается между губками штангенциркуля и производится отсчет. Так как ножка, а следовательно, нуль нониуса, переместилась на длину детали, по масштабной линейке отсчитывают целое число миллиметров до нуля нониуса и смотрят, какое деление нониуса совпадает с некоторым делением масштабной линейки. Измерение обычно повторяют не менее пяти раз.

Штангенциркули рассчитаны на измерение длины, не превышающей 25–30 см, с точностью от 0,10 до 0,05 мм. Для измерения внутренних размеров штангенциркуль снабжен еще одной парой ножек.

2.1 Рабочее задание

1. Изучить устройство и методику измерения с помощью штангенциркуля.

2. Измерить толщину плоской пластины, повторив не менее пяти раз.

3. Провести обработку результатов измерений, в соответствии с теорией погрешностей, и заполнить таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты измерений

№	$l_i, \text{мм}$	$\langle l \rangle, \text{мм}$	$\Delta l_i, \text{мм}$	$\langle \Delta l \rangle, \text{мм}$	$\varepsilon, \%$
1	5,7				
2	5,6				
3	5,9				
4	5,7				
5	5,8				



ПО ЭТИМ ДАННЫМ ПРОИЗВОДИТЬ РАСЧЁТ РАБОТЫ

Расчет производим по этим формулам и записываем под таблицей:

Определяем среднее значение искомой величины по формуле (1):

$$\langle X \rangle = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где X_i – значение измеряемой величины в i -м измерении, n – число измерений.

Оценку абсолютной погрешности i -го измерения находим по формуле

$$\Delta X_i = |X_i - \langle X \rangle|.$$

Рассчитываем среднее значение абсолютной погрешности

$$\langle \Delta X \rangle = \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots + \Delta X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n}.$$

Относительная погрешность измерения определяется по формуле (3)

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta X \rangle}{\langle X \rangle} \cdot 100\%.$$

После всех расчетов заполняем таблицу полученными значениями и записываем вывод (вывод пишется по цели работы с указанием полного результата измерений в виде:

$$X_{\text{изм}} = (\langle X \rangle \pm \langle \Delta X \rangle) \text{ ед. измерения величины } X; \varepsilon = \dots \%$$

Такая запись должна быть в выводе после каждой выполненной лабораторной работы!