

МЕТОДЫ ПРОСТЕЙШИХ ИЗМЕРЕНИЙ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 111. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДОГО ТЕЛА

Введение

Плотностью ρ тела в данной его точке A называется отношение массы dm малого элемента тела, включающего точку A , к величине dV объёма этого элемента; $\rho = dm/dV$. Размеры рассматриваемого элемента должны быть столь малы, чтобы изменением плотности в его пределах можно было пренебречь. С другой стороны: они должны быть во много раз больше межмолекулярных расстояний. Тело называется однородным: если во всех его точках плотность одинакова, тогда $m = \rho V$. Масса неоднородного тела определяется через плотность по формуле:

$$m = \int_{(V)} \rho dV,$$

где ρ – функция координат, а интегрирование проводится по всему объёму тела. Средней плотностью ρ_c неоднородного тела называется отношение его массы к объёму $\rho_c = m/V$.

Приступая к работе необходимо

Знать определения

массы и объёма тела;
производной и интеграла функции.

Уметь

брать производные элементарных функций.

Цель работы

- освоить методику расчета погрешностей прямых и косвенных измерений;
 - научиться проводить измерения с помощью микрометра, штангенциркуля и лабораторных весов.
-

Решаемые задачи

- ✓ измерение размеров и объёма твёрдого тела;
- ✓ измерение массы твёрдого тела;
- ✓ определение плотности твёрдого тела цилиндрической формы;
- ✓ оценка случайных погрешностей прямых и косвенных измерений.

Экспериментальная установка

Приборы и принадлежности:

- ✓ исследуемое цилиндрическое тело;
- ✓ штангенциркуль;
- ✓ микрометр;
- ✓ весы.

Массу тела можно найти взвешиванием на весах. Так как исследуемое в данной работе тело имеет цилиндрическую форму, то его объём вычисляют по соответствующей формуле после непосредственного (прямого) измерения геометрических параметров (высоты, ширины и диаметра). Очевидно, что точность косвенного определения объёма и, следовательно, плотности зависит от погрешностей всех предварительных прямых измерений. В свою очередь, необходимо помнить, что точность прямых измерений определяется совокупностью случайной и инструментальной (приборной) погрешностей.

Порядок выполнения работы

1. Познакомьтесь по описаниям с техникой измерений с помощью микрометра, штангенциркуля и лабораторных весов.
2. Познакомьтесь с методами оценок случайных погрешностей прямых и косвенных измерений.
3. Найдите путем взвешивания массу тела m , с помощью штангенциркуля и микрометра измерьте высоту цилиндра h и диаметр d , соответственно. Каждое измерение повторите не менее $n = 3-5$ раз и вычислите средние арифметические значения \bar{m} , \bar{d} и \bar{h} по формуле¹ (1).
4. Определите инструментальную погрешность весов $\Delta m_{и}$, микрометра $\Delta d_{и}$ и штангенциркуля $\Delta h_{и}$ (по паспортным данным, по классу точности, либо как половина цены минимального деления шкалы прибора).
5. Найдите среднеквадратические отклонения (СКО) среднеарифметических значений массы $S_{\bar{m}}$, высоты $S_{\bar{h}}$ и диаметра $S_{\bar{d}}$ по формуле (2).
6. Найдите коэффициенты Стьюдента $t_{\alpha, n}$ для доверительной вероятности $\alpha=0,95$ и соответствующего числа n параллельных измерений массы, высоты и диаметра.
7. Рассчитайте результирующие абсолютные погрешности результатов измерения Δm , Δd и Δh по формуле (3).
8. Вычислите среднеарифметическое значение объёма цилиндра $\bar{V} = \frac{\pi}{4} \bar{d}^2 \bar{h}$, а затем плотности $\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{V}}$.

¹ В этой работе нумерация формул дана по Приложению 1.

9. Выведите формулу для вычисления абсолютной погрешности плотности $\Delta\rho$ на основе общего соотношения (7) или (8) и проведите по ней расчет.
10. Результат измерений представьте в виде: $\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta\rho) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\alpha=0,95$.
11. Рассчитайте величину относительной погрешности измерения плотности по формуле $E = \frac{\Delta\rho}{\bar{\rho}} 100\%$.

Обработка и представление результатов

По справочным данным определите материал тела.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. АЛГОРИТМЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений некоторой физической величины f должны быть представлены в виде

$$f = \bar{f} \pm \Delta f, \quad \alpha.$$

где \bar{f} называется *средним значением* величины f , Δf – *пределом абсолютной погрешности измерения*, α – *доверительной вероятностью*.

Такая запись означает, что истинное значение величины f с вероятностью α лежит в границах доверительного интервала $[\bar{f} - \Delta f, \bar{f} + \Delta f]$.

Обработка результатов прямых измерений

1. Полученные результаты отдельных измерений x_i занесите в таблицу.
2. Вычислите среднее арифметическое

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

3. Определите среднеквадратичную погрешность среднего значения

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2)$$

4. По заданному значению коэффициента надежности α и известному числу измерений по таблице из Приложения 2 определите *коэффициент Стьюдента* $t_{\alpha,n}$.
5. Определите инструментальную погрешность измерительного прибора $\Delta x_{\text{и}}$ (по паспортным данным, по классу точности, либо как половина цены минимального деления шкалы прибора).
6. Рассчитайте предел абсолютной погрешности измерения

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta x_{\text{и}})^2 + (S_{\bar{x}} t_{\alpha,n})^2}. \quad (3)$$

Для упрощения расчетов можно сначала отдельно рассчитать величины, стоящие в формуле (3) в скобках. Если одна из них в 2 или более раза меньше другой, то ею можно пренебречь и необходимость возведения во вторую степень и извлечения квадратного корня отпадет.

7. Вычислите относительную погрешность

$$E = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (4)$$

8. Результат измерения представьте в виде:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x, \quad \alpha. \quad (5)$$

Обработка результатов косвенных измерений

Если искомая величина $F = F(x, y, \dots, z)$ является функцией одной или нескольких величин x, y, \dots, z , получаемых в ходе прямых измерений, алгоритм оценки погрешности таков.

По алгоритму описанному выше найдите погрешности прямых измерений $\Delta x, \Delta y, \dots, \Delta z$. При этом не обязательно проводить одинаковое число измерений каждой из величин x, y, \dots, z .

Рассчитайте среднее значение величины F

$$\bar{F} = F(\bar{x}, \bar{y}, \dots, \bar{z}) \quad (6)$$

Найдите выражения для частных производных функции F , по переменным x, y, \dots, z :

$$\frac{\partial F}{\partial x}, \frac{\partial F}{\partial y}, \dots, \frac{\partial F}{\partial z} \quad (7)$$

Оцените искомую погрешность ΔF по формуле:

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial z} \Delta z\right)^2} \quad (8)$$

Заметим, что для часто встречающихся функций вида

$$F = \text{Const} \cdot x^a y^b \dots z^c,$$

удобно пользоваться формулой, дающей слегка завышенную по сравнению с (7) оценку погрешности:

$$\Delta F = \bar{F} \left(|a| \frac{\Delta x}{\bar{x}} + |b| \frac{\Delta y}{\bar{y}} + \dots + |c| \frac{\Delta z}{\bar{z}} \right). \quad (9)$$

Результат измерения представьте в виде:

$$F = \bar{F} \pm \Delta F, \quad \alpha. \quad (10)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ТАБЛИЦА КОЭФФИЦИЕНТОВ СТЬЮДЕНТА.

n	α					
	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
2	2,0	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7
3	1,3	1,9	2,9	4,3	7,0	9,9
4	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5	5,8
5	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6
6	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0
7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7
8	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5
9	1,1	1,4	1,9	2,3	2,9	3,4
10	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3
11	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,2
12	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1
13	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1
14	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,0
15	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	3,0
16	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	2,9
17	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9
18	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9
19	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9
20	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9
...
∞	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ТАБЛИЦА ПРОИЗВОДНЫХ НЕКОТОРЫХ ФУНКЦИЙ.

функция $f(x)$	производная $f'(x)$
x^a	ax^{a-1}
e^x	e^x
a^x	$a^x \ln(a)$
$\ln(x)$	$1/x$
$\log_a x$	$1/x \ln(a)$
$\sin(x)$	$\cos(x)$
$\cos(x)$	$-\sin(x)$
$\operatorname{tg}(x)$	$1/\cos^2(x)$
$\arcsin(x)$	$1/(1-x^2)^{1/2}$
$\arccos(x)$	$-1/(1-x^2)^{1/2}$
$\operatorname{arctg}(x)$	$1/(1+x^2)$
$\operatorname{arcctg}(x)$	$-1/(1+x^2)$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Нониус

Нониусом называют вспомогательную шкалу измерительных приборов, которая служит для отсчета дробных долей делений основной шкалы. Нониус позволяет повысить точность измерений в 10-20 раз.

В большинстве приборов используются линейные или угловые (круговые) шкалы. Отсчет по прибору представляет собой измерение длин отрезков прямой или дуги. В том случае, когда относительная точность измерения длины такова, что можно удовлетвориться абсолютной точностью в сотые или даже десятые доли миллиметра, а для углов - минутами или долями минут, для увеличения точности измерения можно пользоваться обычными

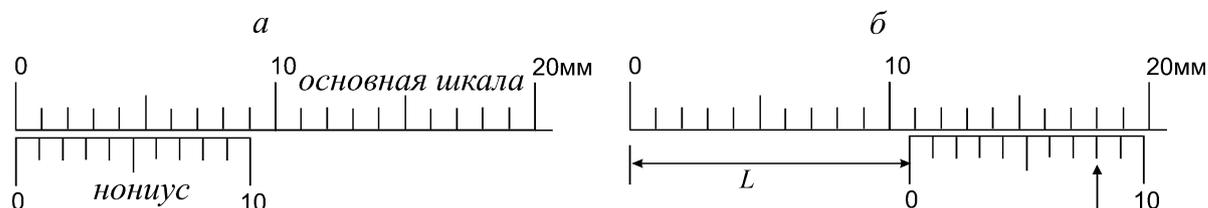


Рис. 1.

масштабными линейками и угломерами, снабженными нониусами.

Самым простым является десятичный нониус, который дает возможность измерять длину с точностью до 0,1 деления основной шкалы (масштаба). Этот нониус представляет собой дополнительную линейку, разбитую на 10 равных делений. Длина всего нониуса равна девяти целым делениям масштаба. Таким образом, если длина одного деления нониуса X , а длина одного деления масштаба $Y = 1$ мм, то $10 \cdot X = 9$ мм. Следовательно, длина каждого деления нониуса будет равна 0,9 мм. Если нулевой штрих нониуса, а, следовательно, и десятый, точно совпадает с каким-либо штрихом масштаба, то все остальные штрихи нониуса не совпадают со штрихами масштаба (рис. 1а). Если же нулевой штрих нониуса не совпадает с масштабным, то найдется такой штрих, который совпадает с каким-либо штрихом масштаба гораздо лучше (рис. 1б).

Наименьшая величина, которая может быть измерена при помощи нониуса, определяется разностью $\Delta X = Y - X$ между длиной масштаба и длиной деления нониуса. Эта разность и будет в нашем случае ценой деления или же точностью нониуса: при $X = 0,9$ мм, $Y = 1$ мм, $\Delta X = 0,1$ мм.

Как пользоваться нониусом

При снятии отсчета требуется определять расстояние L между нулями нониуса и основной шкалы.

В изображенной на рис. 1б ситуации это расстояние складывается из 10 делений масштаба, «пройденных» нулем нониуса, то есть из 10 мм и отрезка ΔL , длина которого равна расстоянию от десятого штриха масштаба до нуля нониуса с точностью до 0,1 мм.

Как видно из рисунка 1б, восьмой штрих нониуса, отмеченный стрелкой, точно совпадает с масштабным штрихом. Седьмой штрих не совпадает с масштабным штрихом настолько, насколько длина деления нониуса короче длины деления масштаба, то есть на 0,1 мм. Шестой штрих нониуса не совпадает с масштабным штрихом уже на 0,2 мм, так как длина двух делений нониуса на 0,2 мм короче длины двух делений масштаба. Нулевой штрих нониуса не совпадает с масштабным штрихом уже на 0,8 мм, так как восемь делений нониуса короче восьми делений масштаба на 0,8 мм. Расстояние между нулевым штрихом нониуса и десятым штрихом масштаба как раз равно отрезку ΔL . Таким образом, отрезок ΔL равен 0,8 мм. Другими словами, для нахождения десятых долей деления шкалы при помощи десятичного нониуса надо номер «совпадающего» деления нониуса умножить на 0,1, то есть на цену деления нониуса.



Круговой нониус, в принципе, не отличается от линейного, кроме того, что здесь вместо линейных величин следует пользоваться угловыми. Он представляет собой небольшую дуговую линейку, скользящую вдоль круга (лимба) (см. рис. 2).

Штангенциркуль

Штангенциркулем (рис. 3) называется прибор, применяющийся для измерения линейных размеров с точностью от 0,1 до 0,02 мм.

Штангенциркуль состоит из линейки (штанги) 1 с миллиметровыми делениями и подвижной рамки 2 с нониусом 3 и фиксирующим винтом 4. На штанге и рамке имеются ножки (губки) 5 и 6. Ножки с внутренней стороны имеют плоские поверхности. При сомкнутых ножках отсчет по нониусу равен нулю. Для измерения штангенциркуль берут в правую руку, а измеряемый предмет помещают между ножками, плотно зажимают и закрепляют винт. После этого производят отсчет. Многие штангенциркули снабжены еще

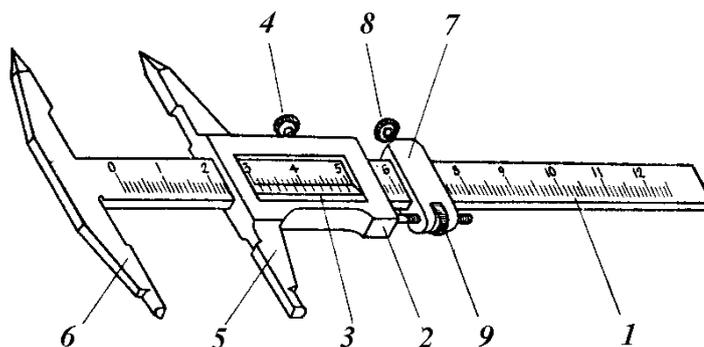


Рис.3.

одной рамкой 7 с закрепляющим 8 и микрометрическим 9 винтами. Для более точного отсчета измерения можно поступать следующим способом. Измеряемый предмет слегка зажимают между ножками. Закрепляют винт 8, и при помощи винта 9 рамка 2 более плотно (но без сильного нажима) прижимается к предмету. Затем закрепляют винт 4 и производят отсчет.

Для измерения внутренних размеров пользуются специально отшлифованными внешними сторонами ножек со стороны тупых концов, суммарная толщина которых известна и нанесена на них в миллиметрах. Ножки вставляют внутрь отверстия, а затем раздвигают. К отсчету по нониусу следует прибавить толщину ножек.

Микрометр

Микрометр (рис.4) представляет собой прибор, предназначенный для измерения линейных размеров с точностью до 0,01 мм. Микрометр для измерения наружных размеров в пределах от 0 до 25 мм состоит из скобы 1 с пяткой 2 и трубкой (стеблем) 3. В трубке имеется внутренняя резьба, в которую ввинчен микрометрический винт 4 с закрепленным на нем барабаном 5. На конце барабана имеется фрикционная головка (трещотка) 6.

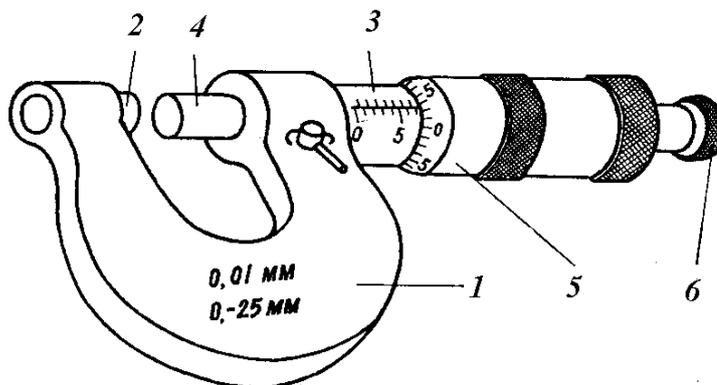


Рис. 4.

Действие микрометра основано на свойстве винта совершать при его повороте поступательное перемещение, пропорциональное углу поворота. При измерении предмет зажимается между пяткой и микрометрическим винтом.

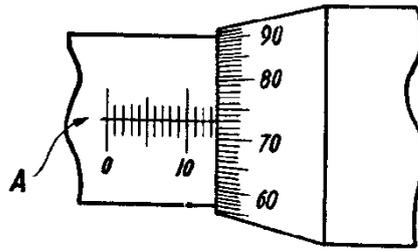


Рис.5.

Для вращения барабана при этом пользуются только фрикционной головкой. После того, как достигнута предельная степень нажатия на предмет (500-600 г), фрикционная головка начинает проскальзывать, издавая характерный треск. Благодаря этому, зажатый предмет деформируется сравнительно мало (его размеры не искажаются).

На трубке 3 нанесены деления основной шкалы. Барабан 5 при вращении винта перемещается вдоль трубки. Шаг винта подбирается таким, что один полный оборот барабана соответствует его смещению вдоль основной шкалы на одно деление. На барабане нанесена добавочная шкала.

Основная шкала микрометра разбита на миллиметры. Шаг микрометрического винта также равен 1 мм. На шкале барабана нанесено 100 равных делений. Ясно, что каждое из этих ста делений имеет достоинство 0,01 мм, так как при повороте барабана на одно деление происходит поступательное перемещение микрометрического винта на 0,01 мм. Если нулевое деление барабана совпадает с прямой линией A на трубке (рис.5), то микрометр показывает целое число миллиметров, которое определяется делением основной шкалы, показавшимся из-под барабана. Если же нуль шкалы барабана не совпадает с линией на трубке, то отсчет не равен целому числу миллиметров. В этом случае число целых миллиметров определяется последним видимым делением основной шкалы, а число сотых долей миллиметра - делением барабана, стоящим против линии на трубке. На рис. 5 измеряемая длина равна 13,73 мм.

Перед началом работы с микрометром следует убедиться в его исправности. Для этого вращением фрикционной головки приводят в соприкосновение микрометрический винт с пяткой. Момент соприкосновения определяется по сигналу трещотки. При этом край барабана должен располагаться над нулевым делением основной шкалы, а нуль барабана - против линии на трубке. Если эти условия не соблюдены, то во всех дальнейших измерениях следует учитывать систематическую ошибку микрометра, равную тому числу делений барабана, которое соответствует сомкнутому микрометрическому винту и пятке. Если это отклонение велико, то микрометр нуждается в регулировке. Вращать винт с усилием (за барабан) после того, как заработала трещотка, запрещается, так как это ведет к порче прибора.

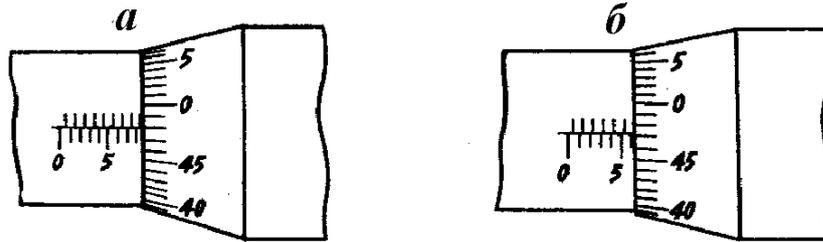


Рис. 6.

Особенности отсчета

Когда отсчеты по шкале барабана немного меньше 50 (или 100), следующее деление шкалы барабана обычно показывается из-под края барабана. Это особенно актуально при измерениях микрометрами, имеющими шкалы с половинными делениями. Такая шкала изображена на рис. 6. Верхний ряд делений на основной шкале отмечает половинные доли основной шкалы. Естественно в этом случае шкала барабана имеет в два раза меньше делений, чем изображенная на рис. 5.

Последнее видимое нижнее деление на рис. 6а соответствует 8 мм и, кроме того, показалось еще верхнее деление. Возникает вопрос, как правильно отсчитывать число целых и половинных делений: 8,0 мм или 8,5 мм? В этом случае появившееся верхнее деление не должно приниматься в расчет, так как показания шкалы барабана, равные 48 делениям, говорят о том, что край барабана отошел от последнего нижнего видимого восьмого деления на 0,48 мм; следовательно, в данном случае отсчет будет $8,0 + 0,48 = 8,48$ мм. Если бы край барабана отошел на 0,48 мм от верхнего деления, то между этим делением и барабаном был бы заметный просвет почти полмиллиметра. На рис. 6б показано положение барабана, при котором из-под его края уже видно шестое деление основной шкалы. Однако, отсчет по барабану 0,47 мм. Это означает, что до шестого целого миллиметра нужно повернуть барабан на три деления его шкалы (переместить край барабана на 0,03 мм). Таким образом, в этом случае шестое деление основной шкалы не следует принимать во внимание и, следовательно, отсчет будет равен $5,0 + 0,5 + 0,47 = 5,97$ мм.

Ручной механический секундомер ¹

Секундомер предназначен для измерения малых промежутков времени (до 30 мин.). У секундомера имеются две стрелки: большая - секундная и малая - минутная. Цена деления самого мелкого деления секундной шкалы 0,2 сек. Секундная стрелка движется скачками также через 0,2 сек. Поэтому наибольшая абсолютная точность, которую можно достичь секундомером, составляет 0,2 сек. За один оборот секундной стрелки минутная стрелка проходит одно деление. Полный оборот малая стрелка совершает за 30 минут.

Правила пользования секундомером.

Секундомер запускают, нажимая на головку до упора. При вторичном нажатии обе стрелки останавливаются. При третьем нажатии остановленные стрелки возвращаются к нулевым делениям своих шкал. Нажимать нужно резко, после каждого нажатия нужно дать головке подняться вверх. Заводят секундомер, вращая заводную головку до отказа. Последние два-три оборота заводной головки следует делать осторожно во избежание обрыва пружины. В конце работы секундомер не следует останавливать до полного спуска пружины. Секундомер следует охранять от ударов, сильных сотрясений, попадания в него воды, а также от магнитных полей.

О точности измерений

Точность измерения времени секундомером зависит не только от точности самого секундомера, но и от навыков наблюдателя, в частности, от того, одинакова ли быстрота его реакции при пуске секундомера. При известных навыках точность измерений секундомером может быть доведена до его технической точности, то есть до 0,2 сек. Это абсолютная точность. Относительная же точность зависит еще и от того, какой промежуток времени измеряют. Если этот промежуток - одна секунда, то относительная точность составляет $\frac{0,2}{1} \cdot 100\% = 20\%$. Если же измеряется промежуток времени 100 се-

кунд, то относительная точность будет уже $\frac{0,2}{100} \cdot 100\% = 0,2\%$. Поэтому, при измерении времени секундомером стремятся добиться таких условий опыта, при которых измеряемый промежуток времени будет достаточно велик. В частности, если измеряется период колебаний, и есть уверенность, что он не меняется в процессе колебаний, то измеряют время десятков или даже сотен колебаний подряд. Чтобы найти период колебаний, делят найденное время на число колебаний. Следует заметить, что увеличение измеряемого промежутка времени приводит к увеличению точности только до определенных пределов. Для больших промежутков времени относительная точность ограничи-

¹ Хорошие результаты получаются и в случае, если вместо описанного здесь механического секундомера использовать наручные электронные часы в режиме секундомера.

вается правильностью хода секундомера. В частности, секундомеры СМ-60 регулируют обычно так, что ошибка за 30 минут составляет до 1,6 секунд, что составляет ошибку 0,1%. Таким образом, увеличивать промежуток времени для получения большой точности целесообразно лишь до 200-300 секунд (3–5 минут), если не выверять специально секундомер и не вносить затем поправки на его неправильный ход.

Лабораторные весы



Рис.7.

Используемые в практикуме лабораторные весы (рис. 7) представляют собой рычажные весы. Момент веса чаши с исследуемым предметом уравновешивается моментом веса гирь. Последний меняется за счет перемещения гирь по нескольким рельсам. Напротив фиксированных положений гирь выгравированы значения уравновешиваемой массы.

Точность весов составляет 0,01 г, предел измерения 311г.

Весы снабжены арретиром - приспособлением, закрепляющим коромысло весов в нерабочем состоянии и предохраняющим ребро призмы от изнашивания. Обычно, весы должны быть арретированы (коромысло закреплено). При взвешивании коромысло освобождается поворотом лапки вблизи основания весов.

Перед взвешиванием следует убедиться, правильно ли установлены весы по отвесу и находятся ли они в равновесии без нагрузки при освобождении арретира. В случае необходимости при крайних левых положениях грузов необходимо добиться равновесия, перемещая по винту груз вблизи точки крепления чаши к коромыслу.

Чтобы определить, находятся ли весы в равновесии, нет необходимости ждать, пока они остановятся. Весы уравновешены, если стрелка при их качании отклоняется на одинаковое число делений относительно положения равновесия.

Правила взвешивания

Ставить на чашу весов, а также снимать с неё грузы можно только при арретированных весах.

При взвешивании следует придерживаться определенного порядка.

Первым перемещают гирьку, которая, по мнению взвешивающего, наверняка перетянет тело. Если перетягивает разновес, то гирьку смещают влево на одно деление до того момента, когда тело начнет перетягивать грузики. Если же перетягивает тело, то гирьку перемещают вправо до тех пор пока разновес не перетянет тело, а затем смещают на одно деление влево.

Затем повторяют действия для меньшей гирьки.

Процесс продолжается до уравновешивания весов.

Весы считаются уравновешенными, если стрелка при освобождении от арретира отклоняется по обе стороны от нуля примерно на одинаковое число делений.

Масса чаши с исследуемым телом вычисляется как сумма выгравированных чисел напротив гирь.

Казанский (Поволжский) федеральный университет

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО МЕХАНИКЕ**

КАЗАНЬ 2014

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МЕХАНИКЕ

(Учебно-методическое пособие
для студентов естественнонаучных направлений обучения)

авторы пособия:

доцент кафедры общей физики *Скворцов А.И.*
доцент кафедры общей физики *Налётов В.В.*
доцент кафедры общей физики *Мухамедшин И.Р.*
доцент кафедры общей физики *Недопекин О.В.*
ассистент кафедры общей физики *Лысогоорский Ю.В.*
ассистент кафедры общей физики *Ирисова И.А.*
инженер кафедры общей физики *Староверов А.Е.*

Рецензент:

профессор кафедры общей физики КФУ *Фишман А.И.*,

В пособии описана методика постановки работ общего физического практикума по разделу механика курса общей физики. Пособие предназначено для студентов всех естественнонаучных направлений обучения.

© Институт физики Казанского университета.