



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Физика»

«Измерение основных физических величин»



Авторы
Русакова Е.Б.,
Колпачева Н.А.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Указания содержат описание приборов и рабочих установок используемых при выполнении лабораторных работ, а также примеры измерения основных физических величин: длины, массы, времени.

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Физика» для выполнения лабораторной работы по программе курса общей физики.

Авторы

к.ф.-м.н., профессор Русакова Е.Б.,
ассистент Колпачева Н.А.



Оглавление

Лабораторная работа №3. Измерение основных физических величин	4
1. Краткая теория	4
2. Измерительные приборы	8
3. Экспериментальная установка	17
4. Порядок выполнения лабораторной работы	17
Контрольные вопросы	21
Список литературы	22

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Цель работы: Ознакомление с методами физических измерений и вычисление погрешностей измерений на примере определения плотности твердого тела, периода колебаний математического маятника.

Приборы и принадлежности: трубка, штангенциркуль, микрометр, весы, набор грузов, пинцет, математический маятник, секундомер.

1. Краткая теория

1.1. Определение плотности тела

Распределение массы тела по его объёму можно охарактеризовать с помощью величины, называемой *плотностью*.

Если тело однородно (все его свойства одинаковы во всех точках), то плотностью называется величина:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

m - масса тела, V - объем тела.

В однородном теле плотность представляет собой массу единицы объема тела.

Для тела с неравномерно распределенной массой выражение $\rho = \frac{m}{V}$ дает среднюю плотность. Плотность неоднородного

тела в определенной точке - это предел отношения массы Δm тела к его объем ΔV , когда объем стягивается в точку:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV},$$

В последнем выражении Δm - масса, заключенная в объеме ΔV , который при предельном переходе стягивается в точку, в которой определяется плотность (уменьшение ΔV производят до тех пор, пока не будет получен физически бесконечно малый объем).

Используется также понятие относительной плотности. Например, плотность жидких и твердых веществ часто определяют по отношению к плотности дистиллированной воды при 4 °С, а газов - по отношению к плотности сухого воздуха или водорода при нормальных условиях.

Единица плотности: в СИ - кг/м³.

Измерение основных физических величин

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

$$\gamma = \alpha g \rho,$$

где g - местное ускорение свободного падения; α - коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц измерения.

Плотность веществ, как правило, уменьшается с ростом температуры и увеличивается с повышением давления. (Плотность воды с понижением температуры до 4°C растет, при дальнейшем понижении температуры - уменьшается). При переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое плотность изменяется скачкообразно: резко увеличивается при переходе из газообразного в жидкое состояние и, как правило, при затвердевании. (Плотность воды и чугуна аномально уменьшается при переходе из жидкой фазы в твердую).

Методы измерения плотности разнообразны. Например, плотность идеальных газов находят из уравнения состояния:

$$\rho = \frac{PM}{RT},$$

где P - давление газа, M - молярная масса газа, R - универсальная газовая постоянная, T - температура газа.

Плотность газа ρ , который при нормальных условиях ($P_n = 1$ атм. = $0,981 \cdot 10^5$ Па. $T_n = 273$ К) имеет плотность ρ_n , при давлении P и температуре T определяется формулой:

$$\rho = \frac{\rho_n PT}{P_n T_n k},$$

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

Для влажного газа:

$$\rho = \frac{\rho_n (P - \varphi P_g)}{P_n T_n k - \varphi \rho_g},$$

где φ - относительная влажность газа, P_g и ρ_g - значения максимально возможного давления водяного пара при температуре T и максимально возможной его плотности при данных давлении P и температуре T (из таблиц).

Плотность жидких и твердых тел определяют путем точного измерения массы тела и его объема. Масса тела определяется прямым измерением - взвешиванием на лабораторных весах. В случае, когда тело покоится, вес тела совпадает с силой тяжести

Измерение основных физических величин

$$P = mg ,$$

где m - это масса тела, g - ускорение свободного падения в данном месте. Вес тела непосредственно измеряют с помощью пружинных весов, где используется пропорциональность веса и массы.

Для измерения плотности используют также зависимость скорости распространения звуковых волн, изменение интенсивности γ - и β -излучения, прошедшего через вещество, от плотности. Приборы для определения плотности веществ называются *плотномерами*.

В данной лабораторной работе определяют плотность однородного полого цилиндра путём измерения его массы и объёма.

Объём тела, имеющего форму стержня (полого цилиндра) конечной длины, вычисляется следующим образом.

Объём стенок стержня:

$$V = \pi \frac{D^2}{4} L - \pi \frac{(D - 2T)^2}{4} L ,$$

где D - внешний диаметр стержня, L - длина стержня, T - толщина стенки (рис.1).

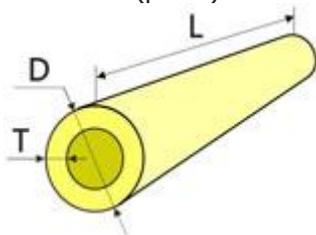


Рис.1. Полый стержень: D - внешний диаметр стержня, L - длина стержня, T - толщина стенки.

После упрощения получаем формулу для объёма:

$$V = \pi \cdot (D - T) \cdot T \cdot L .$$

Линейные размеры D , T , L определяют прямым измерением. Внешний диаметр D и длину стержня L измеряют штангенциркулем, толщину стержня T измеряют с помощью микрометра.

Результаты любых измерений, в том числе физических, подвержены определенным погрешностям. Поэтому при проведении измерений очень важно не только получить значение измеряемой величины, но и оценить погрешность ее определения, а также, в случае необходимости, найти пути уменьшения этой погрешности.

1.2. Определение периода колебаний математического маятника

Математический маятник позволяет моделировать колебательные движения.

Колебательное движение математического маятника проиллюстрировано на рис. 2.

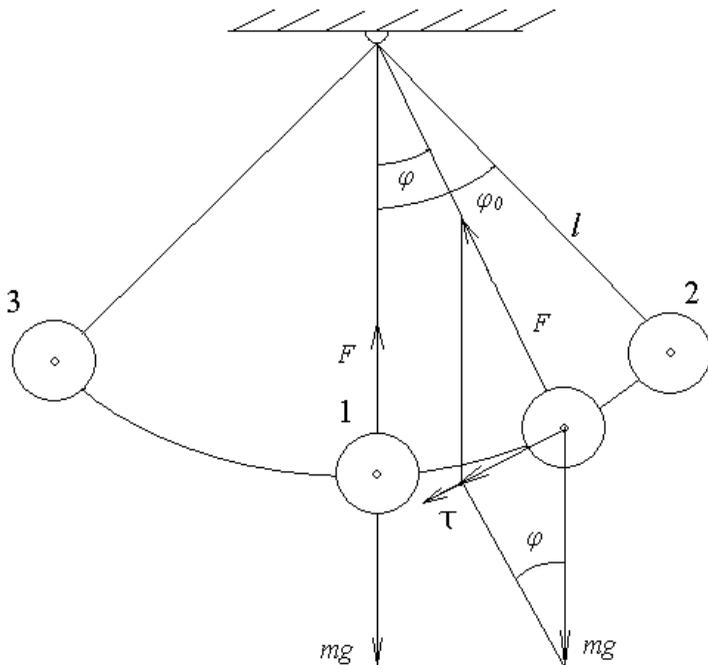


Рис 2. Иллюстрация колебательных движений математического маятника.

Действительно, в исходном состоянии нить направлена вертикально вниз (положение 1 на рисунке 2). В этом случае сила F натяжения нити и сила mg тяжести шарика совпадают с направлением нити, но противоположно направлены. Так как нить нерастяжима, то обе силы уравновешивают друг друга, т.е. $F = mg$. Шарик находится в покое. Такое состояние маятника называется положением его равновесия.

Выведем маятник из положения равновесия, отклонив шарик от первоначального состояния на угол φ_0 (рис. 2). После чего отпустим его без толчка. Под действием силы тяжести mg шарик начнёт движение в сторону положения равновесия, через некоторое время перейдёт его, затем с другой стороны от положения

Измерение основных физических величин

равновесия отклонится от него на некоторый угол меньший чем φ_0 и под действием силы тяжести снова устремится в сторону положения равновесия. При отсутствии внешних воздействий на шарик последний будет совершать описанное движение в одной плоскости. Очевидно, что траекторией движения шарика будет дуга окружности радиуса l . Такие движения называются колебаниями.

Вследствие действия силы сопротивления на шарик, его колебания будут затухающими в результате чего после каждого прохождения равновесия шарик будет отклоняться от него на всё меньший и меньший угол. Однако если наблюдать данный процесс в течение довольно короткого времени, то колебательный процесс можно признать незатухающим.

Одной из основных характеристик колебательного движения – это период колебаний.

Период колебаний - время одного полного колебания.

Для математического маятника период вычисляется по хорошо известной формуле:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l - длина маятника, g – ускорение свободного падения.

Также период можно определить с помощью секундомера. В данной лабораторной работе используется электронный секундомер.

2. Измерительные приборы

2.1. Измерение длины

Основным прибором для измерения длины служит *масштабная линейка* с нанесенными на ней делениями – обычно сантиметрами и миллиметрами.

Для измерения линейных размеров тела (в данной работе цилиндра) используют штангенциркуль и микрометр.

Для повышения точности измерения до десятых или сотых долей миллиметра масштаб снабжают дополнительным устройством, называемым *нониусом*.

Нониус. При измерении небольших длин для повышения точности измерения пользуются масштабной линейкой (основной шкалой), снабженной нониусом. Нониусом называется дополнительный масштаб, позволяющий повысить точность измерения с данным масштабом в 10 раз n более. Он представляет собой скользящую вдоль основной шкалы небольшую линейку с

(внесенными делениями (рис. 3).

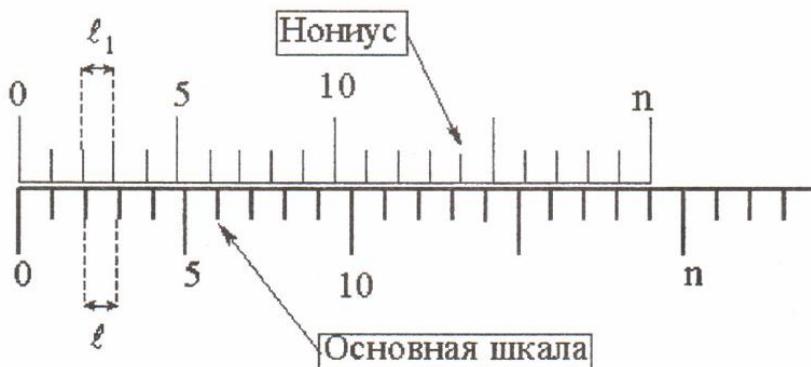


Рис. 3. Линейка с нониусом

Цена деления нониуса l_1 не равна цене деления основной шкалы l . В общем случае суммарная длина всех n делений нониуса равна длине $(n-1)$ делений основной шкалы т.е.

$$nl_1 = (n-1)l \Rightarrow l_1 = l - \frac{l}{n},$$

Следовательно, цена деления нониуса отличается от цены деления основной шкалы на величину

$$\Delta l = l - l_1 = l - \frac{l}{n},$$

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

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

Рассмотрим процесс измерения длин с помощью линейки, снабжённой таким нониусом. Пусть начало предмета, длину L которого необходимо измерить, совпадёт с началом основной шкалы, а конец находится между 16-м и 17-м делениями основной шкалы прибора (рис.4). Тогда

$$L = 16L + \Delta L.$$

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

Измерение основных физических величин

шкалы.

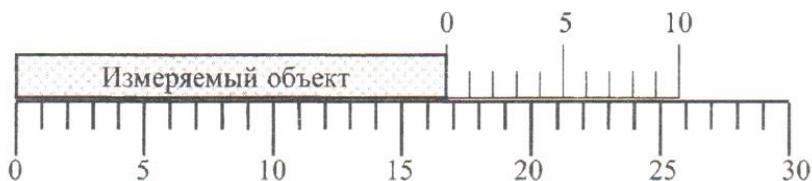


Рис.4. Измерения с помощью нониуса штангенциркуля.

Так как цена деления нониуса не равна цене деления основной шкалы, то обязательно найдётся на нониусе такое деление (7-е на рис. 4), которое будет ближе всего находиться к соответствующему 23-му (16+7) делению основной шкалы. Из рис.4 видно, что

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

Следовательно, $L = 16,7 \text{ мм}$.

Итак, длина предмета, измеряемого при помощи нониуса, равна числу целых делений масштаба основной шкалы плюс произведение точности нониуса на номер деления нониуса, совпадающего (или ближе всего лежащего) с некоторым делением масштаба основной шкалы.

Погрешность, которая может возникнуть при таком методе отсчета, обусловлена неточным совпадением деления нониуса с делением основной шкалы. Поэтому приборная погрешность равна точности нониуса.

Если для шкалы с ценой деления 1 мм нониус имеет длину 19 мм и разделен на 20 равных частей, то в этом случае цена деления нониуса 0.95 мм и точность нониуса (а следовательно, и абсолютная погрешность) равна 0.05 мм.

При более точных измерениях употребляется измерительная линейка с ценой деления основной шкалы 0,5 мм и нониус имеет такую шкалу, что его 50 делений соответствуют 49 делениям основной шкалы. Цена деления такого нониуса 0,49 мм и точность такого нониуса равна 0,01 мм.

Порядок измерений с помощью приборов с линейным нониусом аналогичен и для приборов с угловым нониусом, которым снабжены, например, теодолит и другие приборы.

Штангенциркуль (рис. 5) состоит из стальной линейки А с миллиметровыми делениями, с одной стороны которой имеется неподвижная ножка В. На подвижной части штангенциркуля

Измерение основных физических величин

находятся ножка D и нониус C, которые могут перемещаться вдоль линейки A. Когда ножки B и D соприкасаются, ноль линейки и ноль нониуса должны совпадать. Для того чтобы измерить линейные размеры предмета M, его помещают между ножками, которые сдвигают до соприкосновения с предметом (без сильного нажима) и закрепляют винтом E. После этого делают отсчет по линейке и нониусу и вычисляют длину предмета.

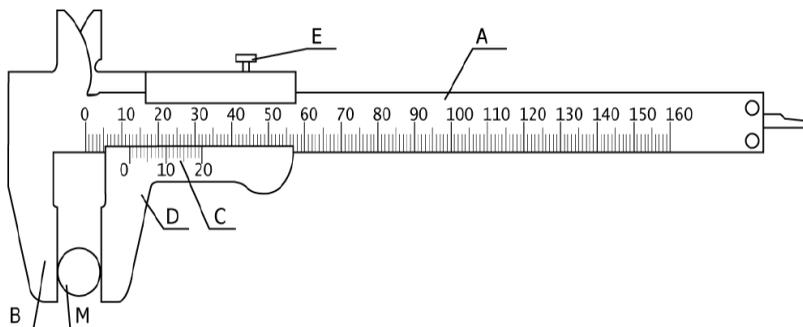


Рис. 5. Штангенциркуль.

Микрометр (рис. 6) состоит из двух основных частей: скобы B и микрометрического винта A.

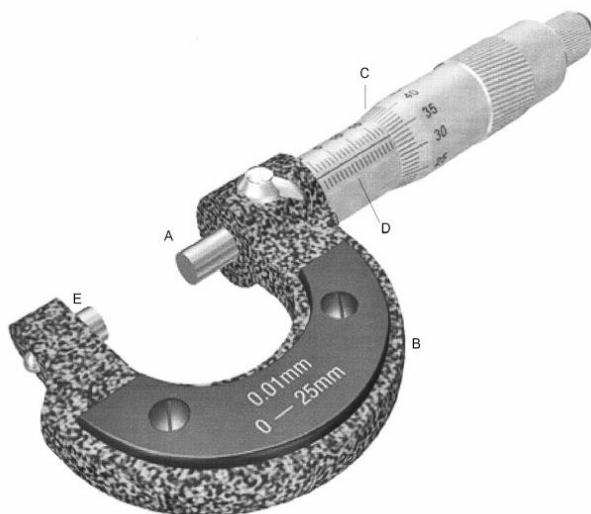


Рис.6. Микрометр

Измерение основных физических величин

Микрометрический винт А проходит через отверстие скобы В с внутренней резьбой. Против микрометрического винта, на скобе, имеется упор Е. На микрометрическом винте закреплен полый цилиндр (барабан) С с делениями по окружности, при вращении микрометрического винта барабан скользит по линейной шкале, нанесенной на стебле D.

Для измерения микрометром предмет помешают между упором Е и микрометрическим винтом А (рис. 6) и вращают винт А за фрикционную головку М до появления звука трещотки. При этом измеряемый объект будет зажат между упором Е и концом винта А (вращение винта А производится только за головку М, так как в противном случае легко сбить совпадение нулей шкалы стебля D барабана С).

Действие микрометра основано на свойстве винта при повороте совершать перемещение в направлении оси, пропорциональное углу поворота. За один оборот винт перемещается на расстояние, равное шагу. Наиболее распространенным является микрометр с шагом винта 0,5 мм; для того чтобы микрометрический винт А передвинуть на один миллиметр, необходимо сделать два оборота барабана С. Линейная (основная) шкала расположена по обе стороны от продольной черты на стебле D: верхние и нижние риски шкалы сдвинуты относительно друг друга на полмиллиметра: цифры проставлены только для делений нижней шкалы, которая представляет собой обычную миллиметровую шкалу (см. рис. 6).

Так как барабан разделен на 50 делений, то поворот барабана на одно деление соответствует продольному перемещению винта на 0,01 мм. Эта величина (цена одного деления барабана) и представляет собой точность микрометра. При отсчете по микрометру число сотых долей микрометра, отсчитанных по шкале барабана против продольной черты основной шкалы, прибавляют к числу целых миллиметров, если последним открывается из-под края барабана нижнее деление основной шкалы. Если же последним открылось верхнее деление, то к целому числу миллиметров, определенному последним видимым нижним делением, добавляют 0,5 мм и число сотых долей, отсчитанных по барабану.

Отсчет показаний микрометра проводится по нижней линейной шкале на стебле D и по круговой шкале на барабане С. По нижней линейной шкале отсчитывается число целых миллиметров, по верхней шкале - их половинные доли (если они есть), а по круговой шкале сотые доли миллиметра.

При измерениях возможны два случая:

Измерение основных физических величин

а) левый край барабана закрывает штрих верхней линейной шкалы, делящей последний миллиметр, отсчитанный по нижней шкале, пополам (рис. 6 а). В этом случае показания микрометра складываются из целого числа миллиметров, отсчитанных по нижней линейной шкале до левого края барабана, и сотых долей миллиметра, отсчитанных по круговой шкале при совпадении ее штриха с горизонтальной линией продольной шкалы. Например, показание микрометра на рис. 7 а соответствует $7 \text{ мм} + 0,34 \text{ мм} = 7,34 \text{ мм}$.

б) левый край барабана находится правее того штриха верхней линейной шкалы, который делит последний видимый миллиметр нижней шкалы пополам (рис. 7 б). В этом случае к показаниям нижней линейной шкалы и круговой шкалы прибавляется $0,50 \text{ мм}$. Например, на рис. 7 б показание микрометра: $7 \text{ мм} + 0,50 \text{ мм} + 0,34 \text{ мм} = 7,84 \text{ мм}$.

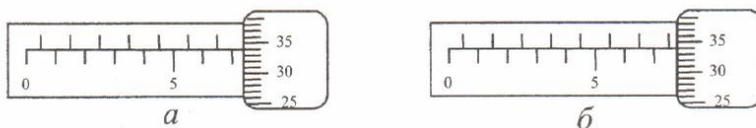


Рис.7. Измерения с помощью микрометрического винта.

Таблица 2. Технические данные приборов

Прибор	Пределы измерений	Цепя деления	Приборная погрешность
Штангенциркуль			
Микрометр			

2.2.Измерение массы тела

Одним из наиболее распространенных измерений является измерение массы тела. Оно может быть выполнено при помощи рычажных весов и называется взвешиванием; в его процессе масса взвешиваемого тела сравниваются с известной массой других, эталонных тел, называемых разновесами.

Устройство весов основано на использовании равновесия рычага под действием сил тяжести тел, массы которых сравнивают.

Условие равновесия рычага соблюдены, если

$$m_l g = m_0 g \quad \text{или} \quad m_l = m_0$$

Измерение основных физических величин

Где m_0 и m – массы сравниваемых масс, l_0 и l – длины рычагов.

В равновесных весах $l_0=l$, то есть равновесие наступает при равенстве сравниваемых масс ($m = m_0$).

Основная часть весов (изображена на рис. 8) - коромысло, опирающееся обращенным вниз острым ребром стальной опорной призмы на пластинку, вделанную в колонку весов. На концах коромысла вделаны еще две призмы, обращенные острыми ребрами вверх, с подвесками. Эти подвески несут на себе чашки весов.

В середине нижней части коромысла жестко укреплена стрелка К, позволяющая отсчитать отклонение коромысла от положения равновесия по шкале М, укрепленной в нижней части колонки весов.

Для предохранения ребер стальных призм от преждевременного изнашивания весы снабжены арретиром - приспособлением, позволяющим коромысло и чашки поднять немного вверх и вывести ребра призм из соприкосновения с соответствующими опорными пластинками. Для арретирования весов служит рукоятка. Когда весами не пользуются, а также при смене нагрузок во время взвешивания, весы должны быть обязательно арретированы.

Для взвешивания применяется набор особо точных разновесок из негигроскопичного и коррозиестойкого материала.

Обычно набор состоит из разновесок следующих достоинств: граммове:

100 г, 50 г, 20 г, 20г, 10 г, 5 г, 2 г, 2 г, 1 г.

миллиграммовые:

500 мг, 200 мг, 200 мг, 100 мг, 50 мг, 20 мг, 20 мг, 10 мг.

Перед взвешиванием весы необходимо установить горизонтально. Для этого служат отвеса и два передних винта - ножки, вращением которых добиваются совпадение отвеса с острием, находящимся под ним.

При правильном положении весов стрелка коромысла должна указывать примерно на нулевое деление шкалы. Если положение нуля незагруженных весов отклоняется от нуля шкалы больше, чем на 2-3 деления, то можно положение нуля переместить ближе к нулевому делению шкалы. Для этого служат небольшие грузы на концах коромысла. Их вращение в ту или иную сторону позволяет корректировать положение нуля весов. Если положение нуля весов не удастся корректировать с помощью этих грузов, то можно подобрать кусочек бумажного листа, положенного на одну из чашек весов.

Измерение основных физических величин

Правила взвешивания. Для того, чтобы не испортить весы и получить возможно более точные результаты взвешивания, необходимо:

1. Помещать взвешиваемое тело, а также производить загрузку разновесов только при арретированных весах.
2. Разновес брать из футляра и помещать на чашки весов пинцетом.
3. Тело и разновес помещать по возможности по центру чашек.
4. Тело класть на левую чашку, а разновес на правую (для работающих левой рукой - наоборот).
5. Не оставлять долго грузы на чашках.
6. Гирьки накладывать начиная с самой большой.
7. После окончания взвешивания весы обязательно арретировать и снять нагрузку.

Для того чтобы произвести взвешивание необходимо:

- 1) определить нулевую точку нагруженных и ненагруженных весов;
- 2) определить чувствительность весов;

Определение нулевой точки весов. Нулевой точкой или точкой равновесия весов называют то деление, на котором при отсутствии трения останавливается стрелка, когда коромысло перестает колебаться. Нулевую точку определяют по методу качаний. Осторожно освободив коромысло и пропустив несколько колебаний, замечают положение конца стрелки в моменты наибольших отклонений.

Вследствие трения колебания постепенно затухают. Обычно нулевая точка ненагруженных весов определяется из пяти последовательных колебаний: берутся три отсчета в одну сторону и два в другую. Например, a_1, a_3, a_5 - отсчеты влево, а a_2 и a_4 - вправо.

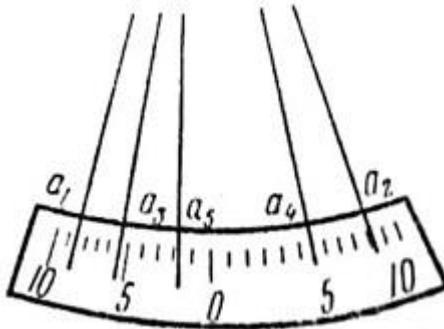


Рис. 7. Определение нулевой точки весов.

Измерение основных физических величин

Взяв среднее арифметическое из отсчетов в каждую сторону, получают значение нулевой точки N_0 :

$$N_0 = ((a_1 + a_2 + a_3)/3 + (a_2 + a_4)/2)/2$$

Определение средней точки следует произвести три раза и найти среднее значение.

Таким же образом определяют нулевую точку груженных весов - N'_0 . Если нулевая точка N'_0 нагруженных весов совпадает с N_0 , то вес тела равен сумме весов разновесок. Если же совпадения нет, то следует определить поправку ΔP к весу взвешиваемого тела.

Определение чувствительности весов. Нагрузку, для которой определено N'_0 , добавляя или снимая разновесок в 10 мг, изменяют так, чтобы стрелка не выходила за пределы шкалы. Описанным выше способом определяют нулевую точку для веса с перегрузкой в 10 мг. Чувствительностью весов называют число делений, на которое отклоняется стрелка весов при изменении нагрузки на 1 мг. В данном случае чувствительность γ можно определить из пропорции

$$\gamma = (N'_0 - N_0)/10 = (N'_0 - N_0)/\Delta P \text{ (дел)}.$$

Величина, обратная чувствительности, называется ценой деления с шкалы весов:

$$s = 1/\gamma = \Delta P/(N'_0 - N_0).$$

Чувствительность весов зависит не только от их конструкции, но и от нагрузки. При увеличении нагрузки она уменьшается.

При взвешивании тела почти невозможно подобрать разновески так, чтобы положение равновесия нагруженных весов совпало с нулевой точкой ненагруженных весов. Поэтому, зная $(N'_0 - N_0)$, то есть на сколько делений N'_0 не совпадает с N_0 , и цену деления, можно определить добавочную нагрузку

$$\Delta P_T = s(N'_0 - N_0),$$

которую следует добавить к весу разновесок, чтобы получить искомый вес тела:

$$P_T = P + \Delta P_T.$$

3. Экспериментальная установка

Внешний вид лабораторной установки изображен на рис. 8. На рисунке: 1- цифровой секундомер, 2 - математический маятник, 3 - механические весы, 4 – набор разновесок 5 - штангенциркуль, 6 - микрометр.

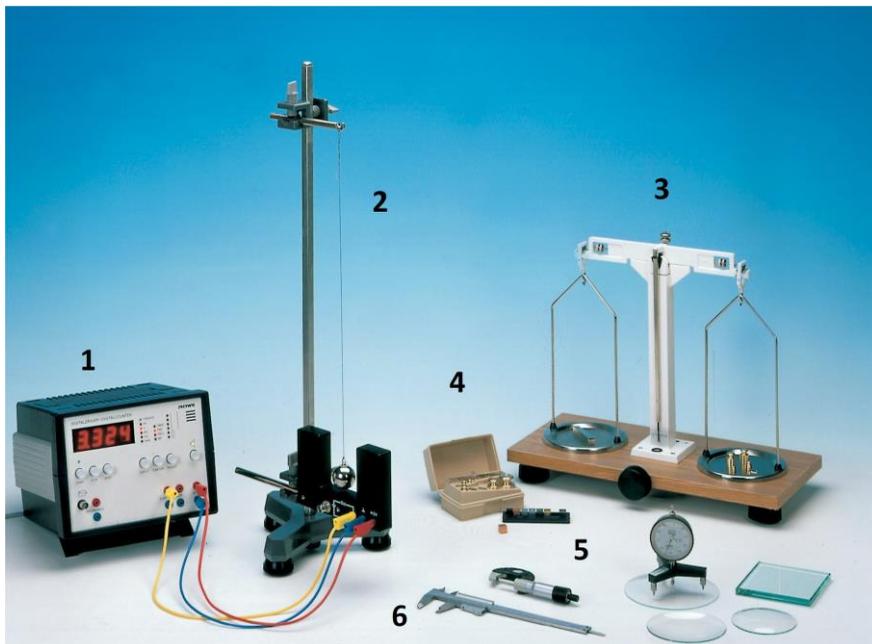


Рис. 8. Внешний вид экспериментальной установки.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Определение плотности тела

- 1). Заполните таблицу 2.
- 2). Взвешиванием определите массу образца и погрешность определения массы.

Масса тела определяется прямым измерением - взвешиванием на учебных лабораторных (механических) весах с помощью набора разновесок. Взвешивание проводят один раз. В таком случае значения средних масс тел будут равны соответствующим показаниям весов, а приборная погрешность определения массы для каждого тела будет равна 0,1 г.

$$m = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг.}$$

Измерение основных физических величин

- 3). Измерьте (5 раз) штангенциркулем длину стержня L .
- 4). Измерьте (5 раз) штангенциркулем диаметр стержня D .
- 5). Измерьте микрометром толщину стержня T (также 5 раз).
- 6). Результаты измерений занесите в таблицу 3.
- 7). Произведите обработку результатов измерений.
- Масса образца $m = \underline{\hspace{2cm}}$ кг.
- Погрешность измерения массы $\Delta m = \underline{\hspace{2cm}}$ кг.

Табл. 3. Таблица измерений

№ опыта	$L, м$	$L_{cp}, м$	$\Delta L, м$	δL	$D, м$	$D_{cp}, м$	ΔD	δD	$T, м$	$T_{cp}, м$	$\Delta T, м$	δT
1												
2												
3												
4												
5												

4.2. Обработка результатов измерений

- 1). Рассчитайте средние значения диаметра D , длины L и толщины T стержня по следующим формулам:

$$L_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i,$$

$$D_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i,$$

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i.$$

Результаты расчетов занесите в таблицу 3.

- 2). Вычислите абсолютные и относительные ошибки измерений для величин L , D и T соответственно:

Измерение основных физических величин

$$\Delta L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |L_i - L_{cp}|,$$

$$\delta L = \frac{\Delta L}{L_{cp}},$$

$$\Delta D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |D_i - D_{cp}|,$$

$$\delta D = \frac{\Delta D}{D_{cp}},$$

$$\Delta T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_i - T_{cp}|,$$

$$\delta T = \frac{\Delta T}{T_{cp}}.$$

Результаты расчетов занесите в таблицу 3.

3). Вычислите величину плотности стрижня, используя формулу $\rho = \frac{m}{V_{cp}}$, где $V = \pi \cdot (D_{cp} - T_{cp}) \cdot T_{cp} \cdot L_{cp}$.

4). Оцените погрешность определения плотности.

Так как определение величины плотности следует из косвенных измерений, то используем зависимость $\delta \rho = \delta L + \delta D + \delta T$ относительной погрешности $\delta \rho$ от относительных погрешностей δL , δD и δT .

Вычислив относительную погрешность $\delta \rho$, найдите абсолютную погрешность $\Delta \rho = \delta \rho \cdot \rho$.

5). Запишите окончательный результат расчетов в виде:

$$\rho = \rho \pm \Delta \rho$$

6). Используя таблицу плотностей тел, определите:

- а) материал, из которого изготовлено тело;
- б) попадает ли табличное значение плотности тела в интервал.

2.Определение периода колебаний математического маятника

1) Определите период колебаний с помощью цифрового секундомера.

Маятник начинает колебаться и сразу же необходимо нажать кнопку "старт". Кнопка "стоп" нажимается после 10 полных колебаний. После этого измеренное время делится на коли-

Измерение основных физических величин

чество качений N и таким образом получаете период колебаний T . Опыт повторите пять раз и результаты занесите в таблицу 4.

Табл. 4.

t, c	$T_{\text{экс}}, c$	$T_{\text{ср}}, c$	$\Delta T, c$	δT	$T_{\text{теор}}, c$

2) Далее рассчитайте экспериментальное значение $T_{\text{экс}}$ периода колебаний для каждого опыта по формуле

$$T = \frac{t}{N},$$

$N=10$ – количество колебаний.

3) Вычислите среднее значение $T_{\text{ср}}$ экспериментального периода:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

Результат занесите в таблицу 4.

4) Вычислите абсолютную и относительную ошибки измерений:

$$\Delta T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_i - T_{\text{ср}}|, \quad \delta T = \frac{\Delta T}{T_{\text{ср}}}.$$

Результаты занесите в таблицу 4.

5) Вычислите теоретическое значение периода колебаний $T_{\text{теор}}$ по формуле:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l – длина маятника, g – ускорение свободного падения.
 $g=9,81 \text{ м/с}^2$

Для этого необходимо с помощью линейки измерить длину маятника l .

6) Сравните значения $T_{\text{экс}}$ и $T_{\text{теор}}$ и сделайте вывод о причинах их расхождения.

Контрольные вопросы

1. Дайте определения массы и плотности тела.
2. Что такое прямые и косвенные измерения?
3. С какой точностью измеряют внешний диаметр полого стержня в данной работе?
4. Как определяют абсолютную ошибку прямых измерений?
5. Как вычисляют абсолютную ошибку косвенных измерений?
6. Перечислите ошибки, возникающие при измерениях физических величин.
7. Что называют периодом колебаний?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Кн.1. Механика. М.: Астрель. 2003.
2. Физическая энциклопедия. Т.1 и Т.3. М.: Большая Российская энциклопедия. 1992.
3. Трофимова Т. И. Курс физики. М.: Высшая школа. 1997.
5. Яворский В. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. М.: Наука. 1985.
6. Е.М. Гершенсона и А.Н. Мансурова. Лабораторный практикум по общей и экспериментальной физике. М.: Академия, 2004. - 464 с.
7. Пронин В.И. Практикум по физике. - СПб.: Лань, 2005. - 256 с.
8. Грибанов, А.Н. Толстов, Р.В. Меркулов. Контрольно-измерительные приборы и инструменты. М.: Академия, 2005.- 464 с.
9. Инструкция по эксплуатации оборудования фирмы "PHYWE".