Сведения, которые необходимо знать для выполнения последующих работ

1.1 **Масса** (лат. massa – глыба, ком, кусок) - эта физическая величина, являющаяся мерой инерции (инертности) тела. Под ***инерцией*** понимается свойство тел сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения при отсутствии внешних сил. Масса является одной из основных характеристик тела, она зависит от размера тел и от природы их вещества. В качестве инертной массы она входит в уравнение движения классической механики: $\vec{F} = m\vec{a}$ и определяем ускорение тела.

Масса характеризует не только инерцию материального тела, но и его гравитационные свойства: сила притяжения между двумя телами пропорциональна их массам.: $F_{грав} \approx m_1 m_2$ (1)

где m_1 и m_2 - массы притягивающихся тел. В принципе, ниоткуда не следует, что масса, создающая поле тяготения, определяет и инерцию того же тела. Однако опыт показал, что инертная и гравитационные массы тела равны друг другу с точностью до 10^{-12} (1971г.).

В релятивисткой механике (скорости тел близки к скорости света c) массы тел увеличиваются с увеличением скорости тела υ: $m = \frac{m_{покоя}}{\left(1-\upsilon^2/c^2\right)^{1/2}}$. При этом количество вещества в теле не изменяется, но инертность возрастает. Согласно теории относительности масса определяет запас энергии материального тела: $E=mc^2$, где с- скорость света в вакууме, равная $3 \cdot 10^8$ м/сек.

Величина массы может быть определена по различным ее проявлениям (инерция, тяготение), а также путем сравнения с массой эталонного тела, произвольно принятой за единицу.

1.2 Изменение состояния движения тела и его формы определяется действием на него других тел (взаимодействием тел), характеризуемое физической величиной «сила». Взаимодействие тел осуществляется как при контакте (давление, трение и т.д.), так и посредством создаваемых телами полей (гравитационного, электромагнитного, и т.д.).
Сила – величина векторная и в каждый момент времени она характеризуется направлением в пространстве, точкой приложения и численным значением (модулем).

1.3. Одним из фундаментальных взаимодействий в природе является **гравитационное взаимодействие.** Оно существует между всеми телами в природе и проявляет себя в их взаимном тяготении друг к другу. Величина гравитационной силы для двух материальных точек определяется формулой $F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$, где m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел; r – расстояние между ними. Коэффициент G – называется **гравитационной постоянной. В системе СИ.** G = $6{,}67\cdot10^{-11}$ Нм^2/кг^2. Величина G очень мала, поэтому гравитационную силу обычно учитывают в тех случаях, когда ее действием нельзя пренебречь. Например:

- при отсутствии других сил (в космосе);
- вблизи больших масс (планет, звезд и т.п.);

Масса Земли составляет $\approx 6\cdot10^{24}$кг и вблизи ее поверхности любое тело массой m притягивается к ней с силой $F=\frac{GM_З m}{(R+h)^2}$, где R – радиус Земли; h- высота тела над поверхностью Земли. На поверхности Земли (h=0) сила тяготения: $F=\frac{GM_З m}{R^2}$. Сила тяготения направлена к центру Земного шара.

1.4 Т.к. Земля вращается вокруг своей оси, то все тела вблизи ее испытывают действие центробежного эффекта, т.е. отклоняются при движении в сторону, противоположную направлению вращения Земли.

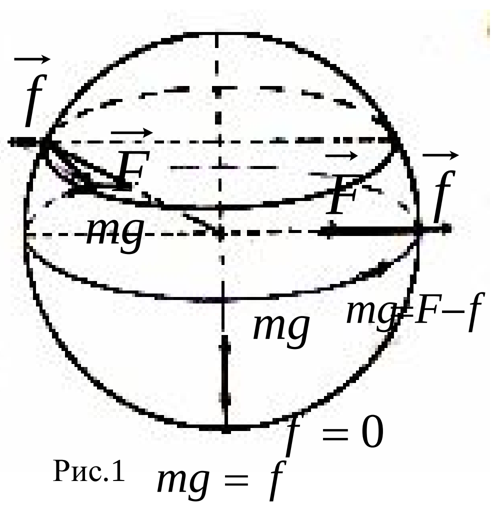


Рис.1

Для учета этого эффекта вводят центробежную силу инерции $\vec{f}$. Эта сила направлена от оси вращения Земли, перпендикулярно к ней и по модулю равна

$f = m\omega^2 r$, где m – масса тела;

ω - угловая скорость вращения Земли; $\omega=\frac{2\pi}{T}$, где T = 24 часа = =24·3600с;

r – радиус окружности, по которой движется тело; $r = R\cdot\cos\varphi$,

φ - географическая широта местности, в которой находится тело (рис.1). Сила инерции очень мала. Например, для г. Элисты ($\varphi \approx 46^0$) f = m·0,023Н, что ≈ в 430 раз меньше силы тяготения. В грубых расчетах силой инерции обычно пренебрегают.

Равнодействующая силы тяготения и центробежной силы инерции называется **силой тяжести** $\vec{F}_{тяжести}$. Направление силы тяжести определяется отвесом (вертикально вниз). Оно мало отличается от направления к центру Земли.

Если на тело вблизи Земли не действуют другие тела, то оно находится в состоянии свободного падения и движется к поверхности Земли с ускорением $a=\frac{сила\,тяжести}{масса\,тела}=g$. Это ускорение называют **ускорением свободного падения** (или ускорением силы тяжести).

Ускорение свободного падения изменяется в зависимости от географической широты места и его высоты над уровнем моря. Нормальным считается ускорение свободного падения равное 9,81 м/с^2, которое относится к географической широте 45^0 и к уровню моря. В г. Элиста ускорение g = 9,8 0711185 м/с^2.

Свободное падение возможно только в вакууме, т.к. сопротивление воздуха может существенно влиять на характер движения тела.

1.4.1. **Весом тела** $\vec{P}$ называют силу, с которой тело из-за притяжения к вращающейся Земле, давит на опору или натягивает подвес. На рис.2 $m\vec{g}$ - сила тяжести, действующая на тело со стороны Земли;

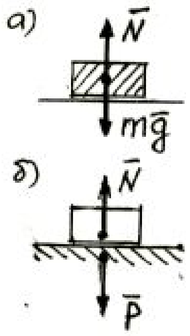


Рис.2.

$\vec{N}$ - сила упругости опоры (реакция опоры);

$\vec{P}$ - вес тела.

Вес приложен не к самому телу, а к опоре или к подвесу и направлен вертикально вниз. По третьему закону динамики вес P по модулю всегда равен модулю силы упругости N.(рис.2.б) По второму закону Ньютона N = mg (т.е. P = mg) в случаях, когда опора с телом не имеют ускорения в вертикальном направлении:

- при любом движении (или покое) по горизонтальной поверхности направлении;

- при равномерном движении опоры (или подвеса)в вертикальном направлении. При падении тела вес его равен нулю (невесомость).

Лабораторная работа
Определение линейных размеров.

Приборы и принадлежности: цилиндрическое тело, кусок проволоки, масштабная линейка, штангенциркуль, микрометр.

Цель: научиться пользоваться измерительными приборами для определения линейных размеров предметов.

Необходимые теоретические сведения

В повседневной жизни – в быту, на производстве, в торговле и т.п. – довольно часто прибегают к измерению длины, ширины и толщины различных предметов и деталей, т.е. к определению их линейных размеров. Для простейших измерений широко применяются масштабные линейки, штангенциркули и микрометры.

Масштабная линейка. Для определения линейных размеров в пределах от одного сантиметра до нескольких метров часто используют масштабные линейки и рулетки с сантиметровыми и миллиметровыми делениями. Металлические линейки более прочные и точные, чем деревянные или пластмассовые, которые усыхают с течением времени и легко подвергаются разрушению. Точность линейки с миллиметровыми делениями составляет 0.5 мм.

<u>Точность измерений</u> - характеристика качества измерений, отражающая степень близости результатов измерений к истинному значению. Чем меньше результат измерений отклоняется от истинного значения величины, т.е. чем меньше его погрешность, тем выше точность измерений. В качестве оценки точности измерений принято указывать абсолютную погрешность измерения или величину, обратную относительной погрешности. Например, если относительная погрешность составляет 1%, т.е. $0{,}01=10^{-2}$, то точность равна 10^{2}.

Точность измерений показывает, как близко мы подошли к истинному значению измеряемой величины.

Штангенциркуль. В различных отраслях производства, и в особенности в машиностроении, широко применяется штангенциркуль, позволяющий определить линейные размеры небольших деталей и предметов в пределах от 0 до 20 сантиметров с точностью до десятых и сотых долей миллиметра.

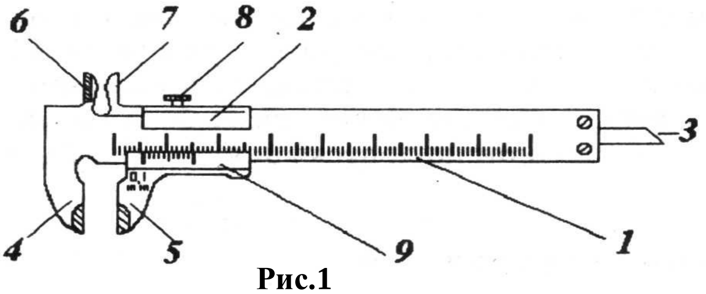


Рис.1

Штангенциркуль (рис.1) состоит из жесткой металлической линейки (штанги) **1** с миллиметровыми делениями и подвижной части **2** со штоком **3**, которая может передвигаться вдоль линейки. В линейке и подвижной части имеются выступы **4-7** для определения внешних (**4,5)** и внутренних (**6,7)** размеров деталей. Подвижная часть может закрепляться стопорным винтом **8**.

На подвижной части штангенциркуля нанесена вспомогательная шкала – *линейный нониус* **9** с делениями другого масштаба, чем деления основной шкалы. Нониус позволяет повысить точность измерений в 10 или 20 раз в зависимости от полного числа его делений. Отношение цены деления шкалы основной линейки к числу делений нониуса называется *точностью нониуса*. Точностью нониуса определяется абсолютная ошибка прибора, в котором применяется нониус. Число делений нониуса большинства модификаций штангенциркулей составляет 10 или 20, что позволяет измерять линейные размеры соответственно с точностью 0.1 или 0.05 мм.

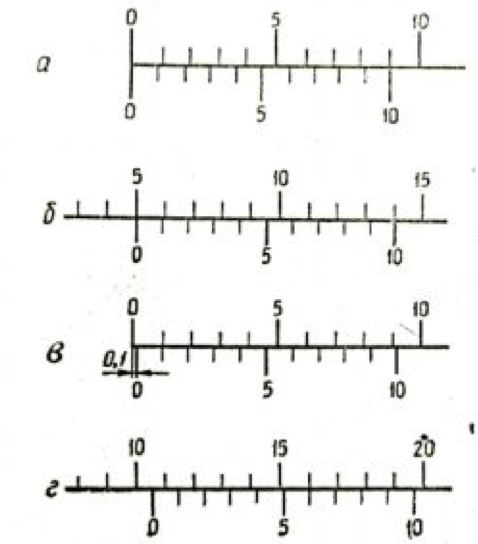


Рис. 2 Отсчеты по нониусу штангенциркуля.

Для примера рассмотрим как изготавливается нониус штангенциркуля, позволяющий измерять длину с точностью 0,1 мм:

- выбирают некоторый отрезок L основной шкалы (10 мм или 20 мм);
- длину шкалы нониуса ℓ берут на 1 мм меньше, чем отрезок L основной шкалы (9мм или 19 мм); L – ℓ = 1 мм.
- шкалу нониуса делят на 10 равных частей. Тогда цена деления шкалы нониуса составит 0,9 мм (или 1,9 мм), т.е. на 0,1 мм меньше чем 1 мм (или2 мм).

Когда ножки штангенциркуля плотно сомкнуты, то нулевой штрих нониуса совпадает с нулевым штрихом линейки (рис2.а); остальные штрихи нониуса, за исключением последнего, не совпадают ни с одним из штрихов линейки.

Если нулевой штрих нониуса точно совпадает с каким-

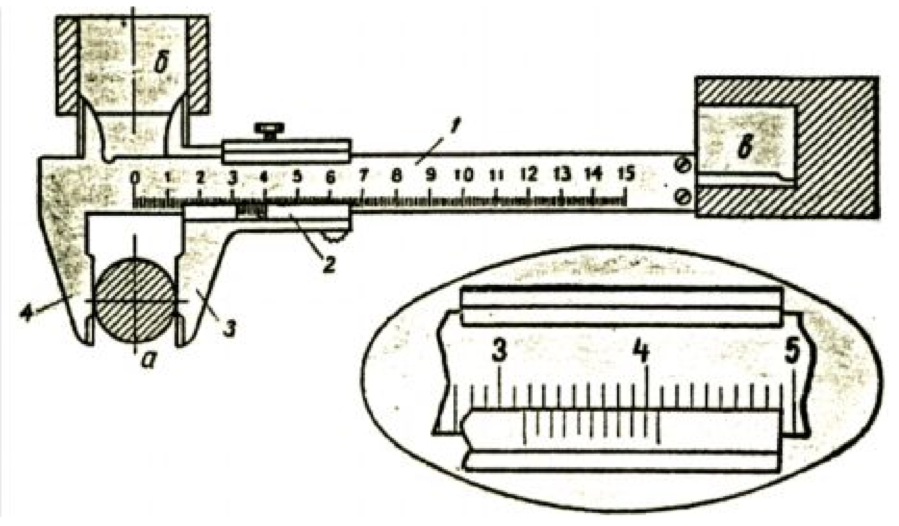


Рис.3. Различные приемы измерений с помощью штангенциркуля:
а-измерение наружных размеров предмета; б- измерение диаметра отверстия; в- измерение глубины отверстия

либо штрихом линейки (рис.2.б), то в этих случаях расстояние между ножками штангенциркуля равно целому числу миллиметров с точностью до 0,1 мм (на рисунке изображено положение нониуса отмечающего длину 5.0 мм).

Если движок сместить так, чтобы первый штрих нониуса совпал с первым штрихом линейки (рис.2.в), то между ножками прибора образуется зазор 0,1 мм. При совпадении второго штриха нониуса со вторым штрихом линейки зазор между ножками будет равен 0,2 мм; при совпадении третьего штриха нониуса с третьим штрихом линейки зазор увеличится до 0,3 мм и т.д.

Следовательно, число десятых долей миллиметра можно определить по номеру штриха нониуса, совпадающего с каким-либо штрихом линейки. Показание прибора на ри.2.г. равно 10,6 мм.

Измерение длины с помощью штангенциркуля производят следующим образом:

- измеряемое тело закрепляют (без нажима) между ножками основной линейки и подвижной части штангенциркуля (см.рис.3). Подвижная часть закрепляется винтом.
- по <u>основной шкале</u> определяют число целых миллиметровых делений, укладывающихся от «0» основной шкалы до «0» нониуса – число **К**;
- по <u>шкале нониуса</u> находят деление, которое совпадает с любым каким – то делением основной шкалы – деление **n**;
- размер объекта **L = (К + 0,1·n**)мм.

Пример 1. На рис.3 показание штангенциркуля равно 3см+1мм+0,7мм=31,7 мм.

Пример 2. Показание штангенциркуля, представленное на рис. 4.б, соответствует 5.4 мм.

Рис.4.

Задание: Снимите показания штангенциркуля (рис.5.)

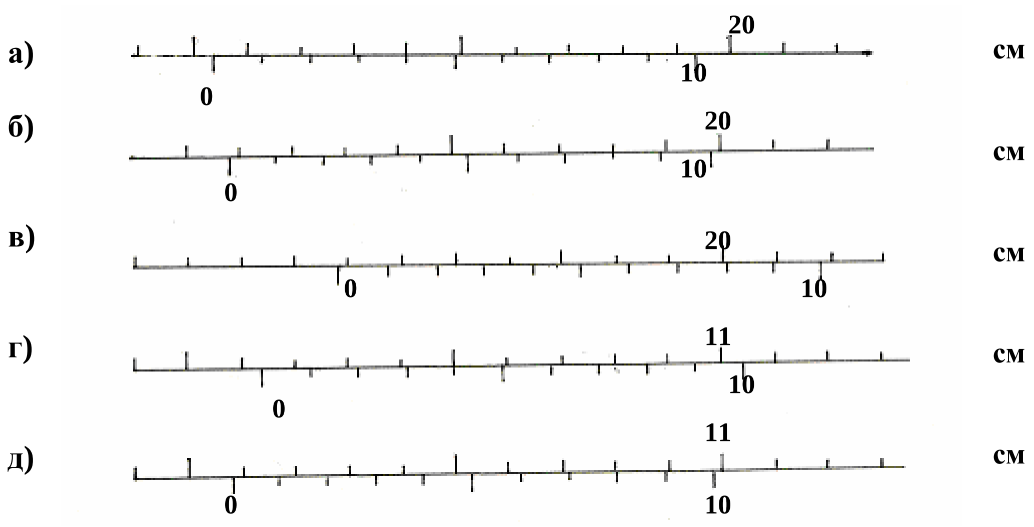


Рис.5.

С помощью штангенциркуля можно определить внешние и внутренние размеры деталей, например, внешний и внутренний диаметры трубок, а также глубину вырезов и отверстий посредством штока **3**, длина выдвигающейся части которого равна расстоянию между выступами **4** и **5** штангенциркуля.

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

Микрометр. Микрометр служит для определения внешних размеров небольших предметов и деталей в пределах от 0 до 25 мм с точностью до 0.01 мм.

Микрометр (рис.6) состоит из стальной скобы **1** с цилиндрическим упором **2** и подвижного цилиндрического стержня **3**. Положение подвижного стержня фиксируется стопорным винтом **4**. Микрометрический винт вращается внутри неподвижной втулки **5** с внутренней резьбой. Шаг резьбы обычно составляет 0.5 мм. На внешней поверхности втулки нанесена продольная шкала **6**, состоящая из двух частей, разделенных горизонтальной линией. Нижняя часть служит для отсчета целого числа миллиметров, а верхняя – для отсчета половинных долей миллиметра. На обеих частях шкалы нанесены штрихи через 1 миллиметр. Штрихи верхней шкалы делят каждый миллиметр нижней шкалы пополам.

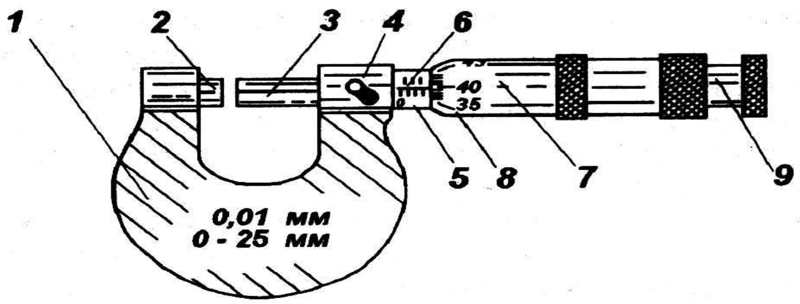


Рис.6

На микрометрический винт насажен удлиненный барабан **7**, левая скошенная кромка которого перемещается относительно шкалы на втулке. На кромке барабана нанесена круговая шкала **8**, содержащая 50 равных делений. На правом конце винта расположена фрикционная головка с трещоткой **9**. Конструкция головки такова, что вращательное движение от трещотки передается винту посредством трения, благодаря чему при достижении определенной силы нажима цилиндрического стержня на упор или на измеряемый предмет дальнейшее вращение прекращается. При одном полном обороте барабан перемещает цилиндрический стержень на 0.5 мм, а поворот барабана на одно деление круговой шкалы соответствует 0.01 мм, т.е. 10 микрометрам, что и определяет точность прибора.

Перед началом измерений необходимо проверить нулевое положение микрометра, при котором плоскость упора **2** и подвижного стержня **3** соприкасаются друг с другом. Такое соприкосновение обеспечивается вращением по часовой стрелке с помощью фрикционной головки до появления характерного треска от трещотки. В нулевом положении настроенного микрометра нулевой штрих круговой шкалы барабана должен находиться против горизонтальной линии на неподвижной втулке. При нарушении нулевого положения микрометр следует настроить, что может сделать только специалист, или при обработке результатов следует учесть систематическую ошибку, вызванную отклонением от нулевого положения.

Во избежание нарушения настройки микрометра вращательное движение барабана следует осуществлять только с помощью фрикционной головки до появления треска.

Процедура измерения с помощью микрометра такова:

1. Проверьте нулевое положение микрометра.

P.S! Вращать микрометр следует только за головку с трещоткой!

Если нулевое положение нарушено, то:

- либо попросите преподавателя исправить прибор;
- либо запишите «нулевое значение» микрометра и учитывайте его в дальнейших измерениях.

2. Поместите измеряемый предмет между плоскостями цилиндрического упора **2** скобы и подвижного цилиндрического стержня **3**. Вращением фрикционной головки до появления треска зажмите предмет между упором и подвижным стержнем.

3. Отсчитайте число целых делений по линейной шкале. Т.к. цена деления шкалы равна 0,5 мм, то полученное число равно $n \cdot 0{,}5$ мм.

4. Отсчитайте число делений m по шкале барабана.

P.S! Деления отсчитываются от горизонтальной линии микрометра Измеренная величина $L = (n \cdot 0{,}5 + m \cdot 0{,}01)$мм.

Пример. По линейной шкале микрометра получено 7 целых делений, по шкале барабана – 12 делений. Измеренная длина равна $7 \cdot 0{,}5$мм + $12 \cdot 0{,}01$ мм = (3,5 + 0,12)мм = 3,62 мм.

При измерениях возможны два случая:

- Скошенная кромка барабана закрывает штрих верхней линейной шкалы. В этом случае показания микрометра складываются из целого числа миллиметров, отсчитанного по нижней линейной шкале до кромки барабана, и сотых долей миллиметра, отсчитанных по круговой шкале при совпадении ее штриха с горизонтальной линией продольной шкалы. Например, показание микрометра на рис.6,а соответствует 12мм+0,33 мм=12,33 мм.
- Кромка барабана находится правее штриха верхней линейной шкалы, к показаниям нижней линейной шкалы и круговой шкалы прибавляется 0,5 мм. Например, на рис.6,б показание микрометра 13мм+0,37мм+0,5мм = 13,87 мм.

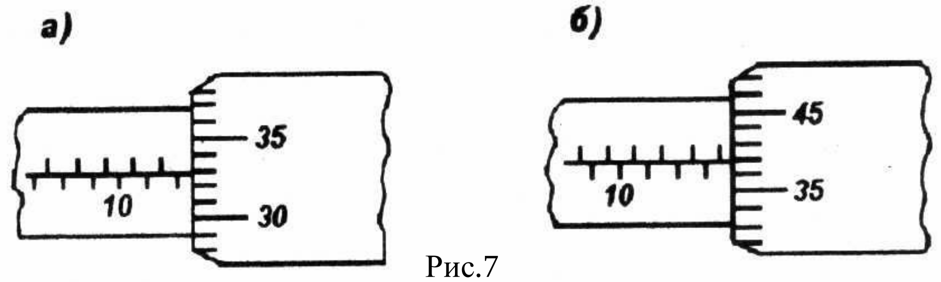


Рис.7

Если микрометр не настроен, в показаниях микрометра следует учесть поправку, компенсирующую систематическую ошибку.

Задания:

1. Установите на микрометре «нулевое» значение. Запишите «нулевое» значение микрометра.
2. Сделайте один оборот барабана и внимательно присмотритесь к делениям линейной шкалы. Риска верхней шкалы должна появиться полностью, если барабан винта совершит один полный оборот (50 делений по шкале барабана).
3. Сделайте еще один оборот винта и заметьте, как располагается край барабана относительно штриха нижней шкалы (он тоже должен появиться полностью).

ЗАДАНИЕ 1. **ИЗМЕРЕНИЕ ДИАМЕТРА ПРОВОЛОКИ МИКРОМЕТРОМ**

После получения допуска к выполнению данной лабораторной работы студенты самостоятельно измеряют микрометром диаметр проволоки и затем обрабатывают результаты измерений.

1. Проволока слегка деформирована, поэтому для более полного учета случайных ошибок диаметр измерьте не менее 10 раз в разных местах проволоки.

2. Рассчитайте среднее значение диаметра:

$$\langle D \rangle = \frac{\text{сумма всех измерений}}{\text{число измерений}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_i}{n} \quad (1)$$

3. Определите абсолютную погрешность каждого измерения:

$$\Delta D_i = \langle D \rangle - D_i \quad (2)$$

4. Определите среднюю погрешность измерений:

$$\langle \Delta D \rangle = \frac{\text{сумма модулей погрешностей каждого измерения}}{\text{число измерений}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |\Delta D_i|$$

5. Запишите ответ в форме:

Диаметр проволоки D= (<D> ± <ΔD>) мм

Результаты измерений заносятся в табл.1, начерченную в лабораторной тетради.

Таблица 1

Номер измерения i	D_i, мм	<D>, мм	ΔD_i, мм	<ΔD>, мм

ЗАДАНИЕ 2. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТЕЛА.**

Определение объема цилиндрического тела – пример простейших косвенных измерений. С учетом результатов прямых измерений диаметра D и длины L цилиндрического тела его объем вычисляют по формуле:

$$V = \pi \cdot D^2 L / 4 \qquad (1)$$

Диаметр цилиндрического тела измеряется микрометром, а его длина – штангенциркулем. Измерения диаметра производятся в разных местах цилиндрического тела.

Порядок выполнения задания:

1. Определить длину цилиндра L (5 ÷ 10 раз). Определите среднее значение < L> и среднюю погрешность < ΔL> : L= (<L> ± <ΔL>) мм.

2. Определите диаметр цилиндра D не менее 5 ÷ 10 раз (измерения каждый раз производят в разных сечениях цилиндра). Определите среднее

значение <D> диаметра цилиндра и абсолютную погрешность измерений <ΔD> : D= (<D> ± <ΔD>)мм.

3. Рассчитайте объем цилиндра по формуле

$$\langle V\rangle = \frac{\pi\langle D\rangle^2\langle L\rangle}{4}$$

Абсолютная погрешность вычисления объема цилиндра рассчитывается как при косвенных измерениях (см. учебную литературу). Простейший способ дает выражение:

$$\Delta V = \langle V\rangle \cdot \left[\frac{2\langle \Delta D\rangle}{\langle \Delta D\rangle} + \frac{\langle \Delta L\rangle}{\langle L\rangle}\right] \qquad (2)$$

При выводе формулы (2) мы пренебрегаем ошибкой в значении π, но для исключения дополнительной ошибки при округлении в числе π следует взять не менее пяти значащих цифр, т.е. π = 3.1416.

Номер измерения i	D_i, мм	ΔD_i, мм	L_i, мм	ΔL_i, мм
Средние значения	<D> =…	<ΔD> =…	<L> =…	< ΔL>= …

Окончательный результат представьте в стандартной форме:

Объем цилиндрического тела V = (<V> ± ΔV) мм^3

Контрольные вопросы и упражнения

1. Для чего служит нониус в штангенциркуле?
2. Что такое точность нониуса?
3. Как изменится точность нониуса при увеличении числа его делений в два раза?
4. От чего зависит точность штангенциркуля?
5. Определите погрешность измерений с нониусом.
6. Какова цена деления нониуса?
7. Как сделать нониус, позволяющий измерять с точностью до 0,01 мм? Разумно ли это?
8. Какова точность штангенциркуля, с помощью которого производилось измерение длины цилиндрического тела?
9. Можно ли скомпенсировать ошибку микрометра, обусловленную смещением нулевого положения?
10. Можно ли считать абсолютно точными результаты измерений диаметра микрометром, если все десять его показаний совпали?
11. Как определяется абсолютная ошибка измерения диаметра проволоки, если все показания микрометра совпали?

12. Можно ли существенно повысить точность определения объема цилиндрического тела при увеличении числа измерений его диаметра и длины до 20 и более раз?
13. Длину предмета измеряли штангенциркулем пять раз. Результаты измерений: 6.2; 6.3; 6.4; 6.2 и 6.2 мм. Чему равны абсолютная и относительная ошибки измерений?

Лабораторная работа
Точное взвешивание

Описание целей работы

Конкретные цели	Критерии достижения цели
1. Изучение теории	Студент правильно отвечает на вопросы а - д
2. Изучение теории метода	Студент правильно объясняет принцип устройства рычажных весов и правила взвешивания. Студент правильно отвечает на вопросы № 1 - 6
3. Экспериментальные навыки	Студент правильно пользуется методами точного взвешивания.

Оборудование: весы рычажные, набор гирь и разновесов; тела для взвешивания.

Основные теоретические сведения.

1. Приступая к выполнению работы, Вам необходимо обратиться к учебной литературе и определить для себя ответы на следующие вопросы:

а) Что в физике называется массой тела? Что она характеризует? Чем это понятие отличается от понятия «количество вещества2? В каких единицах измеряется?

б) Что в физике называют силой? Приведите примеры известных Вам сил.

в) Какое взаимодействие характеризует сила тяготения? Сила тяжести? Вес тела? Укажите их направления и точки приложения в следующих случаях:

- тело падает в воздухе;
- тело лежит на горизонтальной поверхности;
- тело подвешено;
- тело лежит на наклонной поверхности;
- тело лежит на полу лифта, движущегося вверх; вниз; неподвижного;
- магнит прилип к вертикальной плите.

г) Как рассчитывается величина силы тяготения? Силы тяжести? В каких случаях вес тела равен силе тяжести?

д) Если Вы переехали с экватора на северный полюс Земли, то какая из величин и как изменится: сила тяготения; сила тяжести; вес тела; масса тела?

2. **Взвешиванием** называют определение массы тел при помощи весов.

Весы – приборы для определения массы тел по действующей на них силе тяжести. В зависимости от назначения весы делятся на образцовые (для поверки гирь), лабораторные (в т.ч. аналитические) и общего назначения. По принципу действия весы подразделяются на рычажные, пружинные, крутильные, гидравлические, электротензометрические и др. Наибольшее распространение имеют рычажные и пружинные весы.

В основу действия пружинных весов положен закон Гука: деформация тела пропорциональна нагрузке. Чувствительным элементом в пружинных весах является пружина, деформирующаяся под действием веса тела Р. На рис 1б показаны силы, действующие на груз:

mg – сила тяжести тела;

Т – сила упругости пружины.

Сила Р – вес тела = действует на пружинку со стороны груза.

Т.к. Р = Т – по третьему закону динамики

mg = Т - по второму закону динамики, то Р = mg.

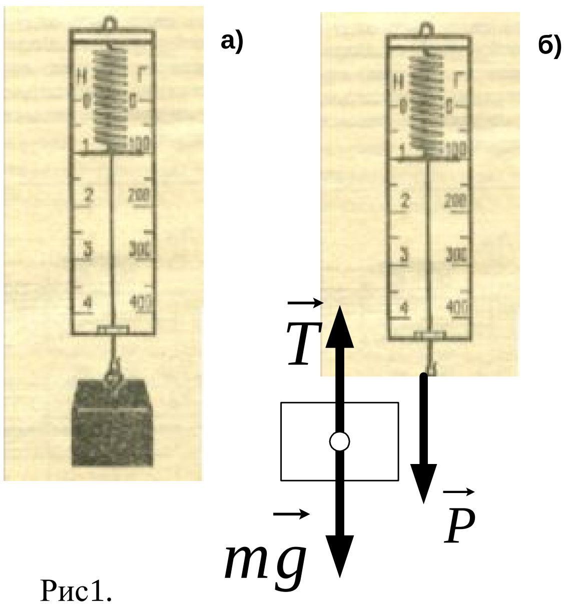


Рис1.

Абсолютное удлинение пружины по закону Гука пропорционально нагрузке Р:

$\Delta\ell = \alpha P$, где **<u>α-коэффициент</u>** пропорциональности Пружина обычно снабжается указателем, скользящим вдоль шкалы, проградуированной в единицах веса (или в единицах массы). Принимается, что после снятия нагрузки указатель возвращается в нулевое положение, т.е. отсутствуют остаточные деформации пружины. Т.к. пружинные весы измеряют не массу, а вес тела, показания пружинных весов зависят от изменений ускорения свободного падения g (т.е. от места их нахождения). Кроме того, упругие свойства пружины зависят от температуры и меняются со временем; всё это снижает точность пружинных весов.

Принцип действия наиболее распространенных рычажных весов основан на законе равновесия рычага. В данной работе используются равноплечные весы. Это означает, что точка опоры рычага (коромысла весов) находится посередине (рычаг первого рода) На рис.2 условно изображен такой рычаг, где P_1 и P_2 – веса левой и правой чашек весов; В – точка опоры коромысла весов; ℓ_1 и ℓ_2 – плечи сил P_1 и P_2 – расстояния от точки опоры до точки подвеса чашек с грузами и гирями.

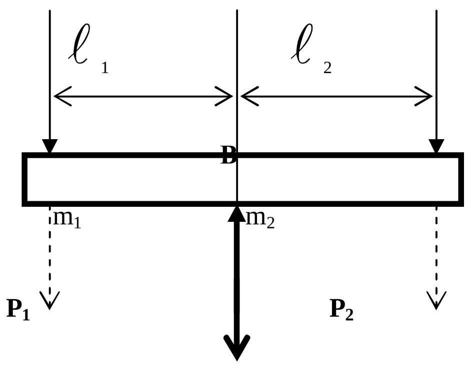


Рис2.

При равновесии рычага выполняется правило моментов: $P_1 \ell_1 = P_2 \ell_2$, т.е.

$P_1 = P_2$. Т.к. $P_1 = m_1 g$ и $P_2 = m_2 g$, то $m_1 = m_2$. Таким образом, при взвешивании тел на рычажных весах мы сравниваем силу, с которой масса взвешиваемого тела притягивается к Земле с силой притяжения к Земле эталонной массы. Так как эталоном при этом является масса, то фактически взвешивание на рычажных весах сводится к определению массы и результат измерений в этом случае, не зависит от места нахождения весов (при единых эталонах массы).

1.5. **Разновесы**. К каждым весам прилагается специальный набор гирь составленный по определенной системе.

Набор гирь следующий: 100, 50,20,20, 10, 5, 2, 2, 1 г.

Кроме того в наборе имеются миллиграммовые гири: 500, 200,200,100, 50, 20, 20, 10 мг. Эти гири имеют форму квадратов с одним загнутым углом – для удобства захватывания пинцетом.

1.6. **Методы взвешивания.** На практике чрезвычайно трудно изготовить весы так, чтобы они были строго равноплечими. При взвешивании на неравноплечих весах вес гирь не равен весу тела. Однако существуют различные методы взвешивания, позволяющие определить массу тела достаточно точно.

Метод двойного взвешивания (метод Гаусса) заключается в том, что тело взвешивают два раза – один раз на левой чашке, другой раз –на правой. Пусть P- вес тела, P_1 и P_2 – вес гирь при взвешивании соответственно на левой и правой чашках, ℓ_1 и ℓ_2 – плечи коромысла. Искомый вес тела P определяется из условия равновесия

$$P\ell_1 = P_1\ell_2 \qquad P\ell_2 = P_2\ell_1$$

Отсюда $P = \sqrt{P_1 P_2} \approx \dfrac{P_1 + P_2}{2}$

(так как P_1 и P_2 мало отличаются друг от друга).

Метод тарирования (метод Борда). На одну из чашек весов помещают взвешиваемое тело, на другую любую тару (песок, дробь и тд.), которую изменяют до тех пор, пока весы не придут в равновесие. Снимают тело с чашки и накладывают на нее разновесы, пока весы не придут в равновесие. В этом случае вес разновесов равен весу тела.

Метод постоянной нагрузки (метод Менделеева). Чувствительность весов зависит от нагрузки. Метод Менделеева позволяет производить взвешивание, не изменяя чувствительности весов. На левую чашку весов помещают гирю определенного веса (например, 100 Г), а на правую- мелкие разновесы, общий вес которых равен весу гири. Помещают тело на правую чашку и снимают с нее разновесы до уравновешивания весов. Очевидно, вес тела равен весу снятых разновесов.

1.7 Определение нулевой точки весов. Нулевой точкой весов называется положение стрелки ненагруженных весов при равновесии. Если отклонить чашку уравновешенных весов, то стрелка весов будет совершать затухающие колебания около нулевой точки.

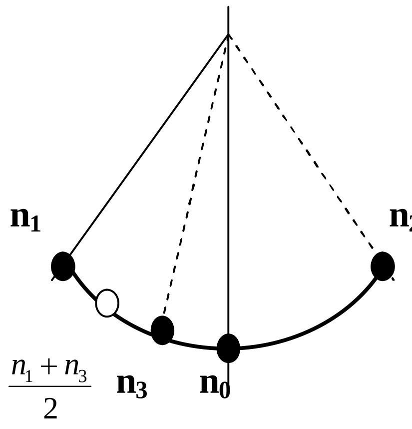


Рис.3

Однако вследствие трения, стрелка может остановиться не в нулевой точке, а вблизи ее. Поэтому для определения нулевой точки пользуются методом качания, который состоит в следующем. Определяют последовательные максимальные отклонения стрелки влево n_1, вправо n_2 , и влево n_3 (рис. 3) с точностью до половины деления. Поскольку колебания затухающие, то каждое последующее отклонение от положения равновесия меньше предыдущего. Из рисунка ясно, что положение нулевой точки можно определить из условия:

$$n_0 = \frac{\frac{n_1 + n_3}{2} + n_2}{2}$$

Для определения положения нулевой точки с большей точностью отсчитывают пять максимальных отклонений стрелки.

Тогда

$$n_0 = \frac{\frac{n_1 + n_3 + n_5}{3} + \frac{n_2 + n_4}{2}}{2}$$

Обыкновенно крайнее левое деление шкалы обозначают цифрой 0, крайнее правое –цифрой 20. Иногда среднее деление шкалы принимают за 0, тогда отклонения влево считают отрицательными, вправо – положительными.

1.8 Определение цены деления весов. При взвешивании тела очень трудно подобрать гири таким образом, чтобы положение равновесия стрелки совпадало с нулевой точкой ненагруженных весов. Обычно они отличаются друг от друга на несколько делений. Точный вес тела на одной из чашек можно найти, если известна цена деления нагруженных весов. Цена деления весов определяется весом перегрузка, вызывающего смещения стрелки весов на одно деление шкалы.

Цена деления может быть определена следующим образом. Кладут тело на левую чашку и уравновешивают его. Определяют нулевую точку нагруженных весов методом качаний n_1 . Добавляют малый перегрузок *p* (порядка 1 мГ) и вновь определяют нулевую точку n_2. Цена деления весов

$$C = \frac{p}{|n_2 - n_1|}.$$

1.9 Поправка на потерю веса тела в воздухе. Все предыдущие рассуждения относились к взвешиванию тел в пустоте. При взвешивании в воздухе на тела и гири действует выталкивающая сила. Так как объемы взвешиваемых тел и гирь, как правило, неодинаковы, то неодинаковы и выталкивающие силы. Рассмотрим условие равновесия при взвешивании в воздухе. Положим тело на левую чашку и уравновесим его. На левую чашку действует сила $F_1=P-V\rho_1 g$, где P – вес тела в пустоте, $V\rho_1 g$ – выталкивающая сила, ρ_1 – плотность воздуха.

Объем тела $V = \frac{P}{\rho_2 g}$; где ρ_2 – плотность тела. Отсюда

$$F_1 = P\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}\right).$$

На правую чашку действует сила $F_2 = P_1\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_3}\right)$,

где P_1 – вес гирь на правой чашке, ρ_3-плотность гирь.

Условие равновесия: $F_1\ell_1 = F_2\ell_2$

$$P\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}\right)\ell_1 = P_1\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_3}\right)\ell_2,$$

При взвешивании на правой чашке условие равновесия можно записать аналогично

$$P\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}\right)\ell_2 = P_2\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_3}\right)\ell_1,$$

$$P = \sqrt{P_1 P_2}\,\frac{1 - \frac{\rho_1}{\rho_3}}{1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}}.$$

Умножая числитель и знаменатель правой части на $1+\frac{\rho_1}{\rho_2}$ и пренебрегая малыми величинами, получим окончательно: $P = \sqrt{P_1 P_2}\left(1 + \frac{\rho_1}{\rho_2} - \frac{\rho_1}{\rho_3}\right)$ (1)

1.10 Правила взвешивания.

а) Помещать на чашки и снимать взвешиваемые тела и разновесы можно только при закрытом арретире;

б) Открывать и закрывать арретир нужно осторожно и плавно. Успокаивать качание чашек можно прикосновением листка бумаги или кисточки.

в) Центр тяжести взвешивания грузов должен по возможности находиться посередине чашки.

г) Разновесы можно брать только пинцетом, после снятия с весов их следует класть в ящик на свое место.
д) Не следует оставлять надолго грузы на чашках, особенно, если весы не арретированы.

е)Помещать гири нужно в следующем порядке: начинать с гири, приблизительно одинаковой с массой взвешиваемого тела. Если масса гири будет больше массы тела, то следует ее заменить ближайшей меньшей гирей следующими за последней меньшими гирями разновеса, пока равновесие не будет достигнуто.

ж) Подсчитывать массу гирь следует дважды: по пустым местам в ящике для разновесов и при возвращении разновесов в ящик.

Задание 1. Определение массы тел методом Гаусса

1. Определяют нулевую точку ненагруженных весов.
2. Кладут тело на левую чашку.
3. Уравновешивают тело гирями, устанавливая их пинцетом. Центр тяжести взвешиваемого тела и гирь должен по возможности находиться посередине чашек.
4. Вычисляют вес тела на левой чашке.
5. Повторяют процесс взвешивания на правой чашке. Вычисляют вес тела в воздухе:

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

6. По формуле (1) вычисляют вес тела в пустоте.

7. Погрешности вычисляются по формулам:

$$\Delta P = \frac{1}{2}\left(\Delta P_1 + \Delta P_2\right)$$

Контрольные вопросы:

1. Что мы определяем, пользуясь пружинными весами? Рычажными весами?
2. Что может быть источником ошибки при определении массы на рычажных весах? Какими способами можно исключить ее?
3. Каковы правила взвешивания.
4. Как определить нулевую точку весов? Почему нельзя судить о нулевой точке по его положению, принимаемому стрелкой после полного затухания колебаний?
5. Что такое чувствительность весов? От чего она зависит?
6. Как определить цену деления весов?

Лабораторная работа
Определения ускорения свободного падения с помощью маятника

Описание целей работы

<table>
<tr><td>Конкретная цель</td><td>Критерий достижения цели</td></tr>
<tr><td colspan="2">Изучение теории</td></tr>
<tr><td>1. Владение понятием «ускорение свободного падения»
а) Изучение теории метода с применением математического маятника
б) с применением физического маятника</td><td>Студент отвечает правильно на вопросы № 1 - 9
Студент может обосновать (с помощью конспекта) вывод используемых формул и указать условия, при которых они применимы</td></tr>
<tr><td colspan="2">Экспериментальные навыки</td></tr>
<tr><td colspan="2">Студент правильно:
- выполняет измерения: Т, ℓ
- определяет погрешность результата измерений</td></tr>
</table>

Приборы и принадлежности: математический и физический маятники, секундомер, линейка.

Необходимые теоретические сведения

1. Приступая к работе, Вам необходимо прочитать учебную литературу и определить ответы на следующие вопросы:

1. Что в физике называют силой. Назовите известные Вам силы и укажите, какова природа их взаимодействия.
2. Что называют гравитационной силой? При каких условиях она существует? Каково ее направление? Как определить ее модуль? Почему в обыденной жизни мы чаще всего ею пренебрегаем?
3. Как определить силу гравитационного тяготения между Вами и Земным шаром (направление, модуль, точка приложения сил)?
4. Что такое центробежная сила инерции (её природа, направление, модуль)? Определить величину силы инерции, действующей на Вас из-за суточного вращения Земли?
5. Что называют силой тяжести? Её направление? Модуль? Точка приложения?
6. В каких точках Земной поверхности сила тяжести менее всего и более всего отличается от гравитационной силы (по величине, по направлению)?

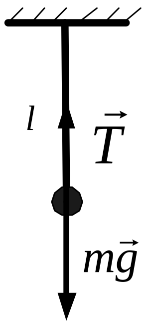
7.	В каком случае падение тел называют свободным падением? Приведите примеры тел, падение которых можно приблизительно считать свободным.
8. Отчего и как зависит величина ускорения свободного падения?
9. Какое значение g считается общепринятым?

Для определения ускорения свободного падения можно воспользоваться методом маятника, который основан на зависимости периода колебания маятника от ускорения свободного падения.

Периодом колебания маятника называется время, в течение которого маятник совершит одно полное колебание, смещаясь сначала в одну сторону от начального положения и снова возвращаясь к нему. Определим как связан период колебаний маятника с ускорением свободного падения.

Математический маятник

Материальная точка**,** подвешенная на гибкой, невесомой, нерастяжимой нити, называется **математическим маятником. Материальной точкой** можно считать любое физическое тело в случае, если его размерами можно пренебречь (по сравнению с длиной подвеса). В вертикальном положении сила тяжести материальной точки полностью уравновешивается натяжением нити, и маятник остается в покое (рис.1а).



а)

б)

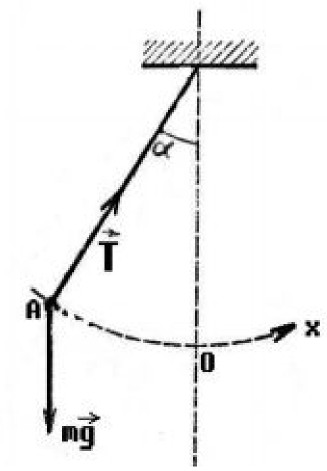


Рис.1

Если маятник отклонить от положения равновесия на некоторый угол α (рис.1б), то сила тяжести, по – прежнему, будет направлена вертикально вниз, а сила упругости (натяжения) нити $\vec{T}$ - вдоль нити. По второму закону динамики равнодействующая этих сил будет определять ускорение движения маятника:

$$\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a} \qquad (1)$$

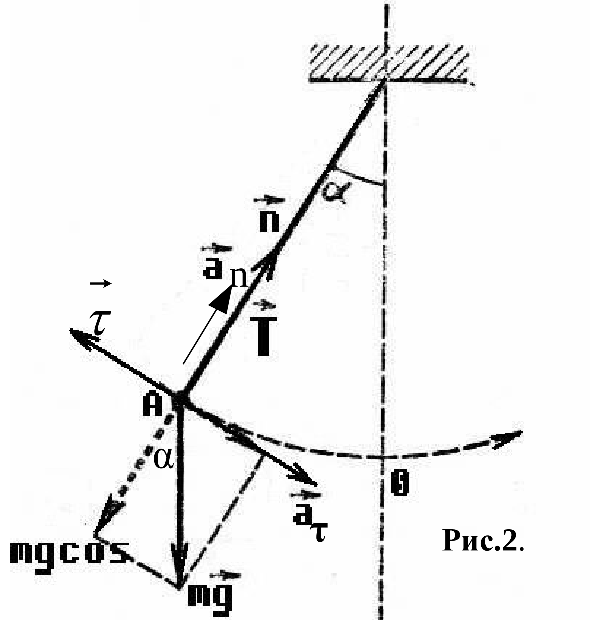


Рис.2.

Введем оси координат так, чтобы одна ось $\vec{n}$ была направлена вдоль нити вверх, а вторая ось $\vec{\tau}$ была направлена перпендикулярно первой, т.е. по касательной к траектории (рис.2). Ось τ направлена по направлению смещения точки.

Спроектируем уравнение (1) на выбранные оси:

$$\vec{n}: \quad T - mg\cdot\cos\alpha = ma_n \qquad (1а)$$

$$\vec{\tau}: \quad -mg\cdot\sin\alpha = ma_\tau \qquad (1б)$$

Уравнение (1а) показывает, что сила натяжения нити $\vec{T}$ уравновешивает вес маятника и обеспечивает искривление его траектории ($\vec{a}_n$).Уравнение (1б) показывает, что маятник будет двигаться к положению равновесия с ускорением $a_\tau = -g\sin\alpha$ (2).

Введем условие, что угол отклонения α очень мал: $\alpha \le 5^0 \div 6^0$. В этом случае $\sin\alpha = tg\alpha \approx \alpha$ (рад). Величина угла в радианной мере равна отношению длины дуги к радиусу дуги: $\alpha = \frac{OA}{\ell} = \frac{x}{\ell}$, где x – длина дуги ОА или смещение маятника от положения равновесия, ℓ – длина нити. Знак (–) в выражении (1б) определяется тем., что направление смещения маятника от положения равновесия (направление оси $\vec{\tau}$) не совпадает с направлением ускорения a_τ. Тангенциальное ускорение маятника a_τ всегда направлено к положению равновесия, т.е. против смещения маятника. Однако, величина a_τ всегда пропорциональна величине смещения x. Это означает, что маятник будет совершать гармонические колебания. Подставим значение α в (2) и получим:

$$a_\tau = -\frac{gx}{\ell}.$$

Теперь вспомним, что ускорение a_τ есть вторая производная от смещения x:

$$a_\tau = \frac{d^2x}{dt^2}; \qquad -\frac{gx}{\ell} = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad (3).$$

Уравнение (3) является дифференциальным. Чтобы его решить, надо найти функцию $x(t)$, удовлетворяющую уравнению (3). Положим

$$x(t) = x_{\max}\cos\omega t \qquad (4)$$

$$x'(t) = \frac{dx(t)}{dt} = -x_{\max}\,\omega \sin \omega t = -\upsilon_{\max} \sin \omega t = \upsilon_x(t)$$
$$x''(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = -x_{\max}\,\omega^2 \cos \omega t = -a_{\max} \cos \omega t \qquad (5)$$

Подставим (5) и (4) в (3) получим:

$$-x_{\max}\,\omega^2 \cos \omega t = -\frac{g}{l} x_{\max} \cos \omega t$$

откуда $\omega^2 = \frac{g}{l}$. Уравнение (4) является уравнением гармонических колебаний . Т. к. $\omega = \frac{2\pi}{T}$, период колебаний математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (6)$$

Из (6) получаем $$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \qquad (7)$$

Измерения и обработка результатов измерения.

1. Подготовьте маятник к работе.
2. Измерьте не менее трёх раз длину маятника от точки подвеса до центра тяжести шара.
3. Найдите среднее значение длины маятника *l* и абсолютную погрешность определения длины $\Delta l = \langle l \rangle \pm \langle \Delta l \rangle$. Можно измерить длину маятника один раз (поточнее) и оценить максимальное значение Δl.
4. Отведите маятник от положения равновесия на небольшой угол (не более 5°), и отпустите груз, предоставив ему возможность свободно колебаться. В момент наибольшего отклонения пустите в ход секундомер и отсчитайте время, в течении которого маятник совершает n (n ≈ 20) полных колебаний. Измерения времени проведите не менее трех раз.
5. Найдите среднее значение времени $\langle t \rangle$ и расчитайте период колебаний маятника по формуле $T = \frac{\langle t \rangle}{n}$.
6. Найдите среднее значение погрешности определения времени $\langle \Delta t \rangle$ и периода $\langle \Delta T \rangle$.
7. Вычислите g по формуле (7)
8. Найдите значение погрешности определения ускорения силы тяжести Δg по формуле: $\Delta g = g\left(\frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta T}{T}\right)$.

9. Занесите все результаты в таблицу 1.

Таблица 1

l, *м*	*Δl*, *м*	*n*	t_i, *с*	<*t*>, с	<Δ*t*>, с	**Т, с**	Δ*T*, *с*	*G*, *м/с*^{2}	*Δg*, *м/с*^{2}

10. Измените длину маятника и повторите п.п.2-9. Длину маятника надо изменять 2÷3 раза.

Физический маятник.

Каждое тело, подвешенное в точке, лежащей выше его центра тяжести, может совершать колебания и представляет собой **физический маятник.**

Для определения величины g часто применяется оборотный физический маятник. Применение оборотного маятника основано на свойствах сопряженности центра качания и точки подвеса. Это свойство заключается в том, что во всяком физическом маятнике, а следовательно в оборотном, всегда можно найти такие две точки, что периоды колебания маятника вокруг этих точек равны. Расстояние между этими точками называется **приведенной длиной.**

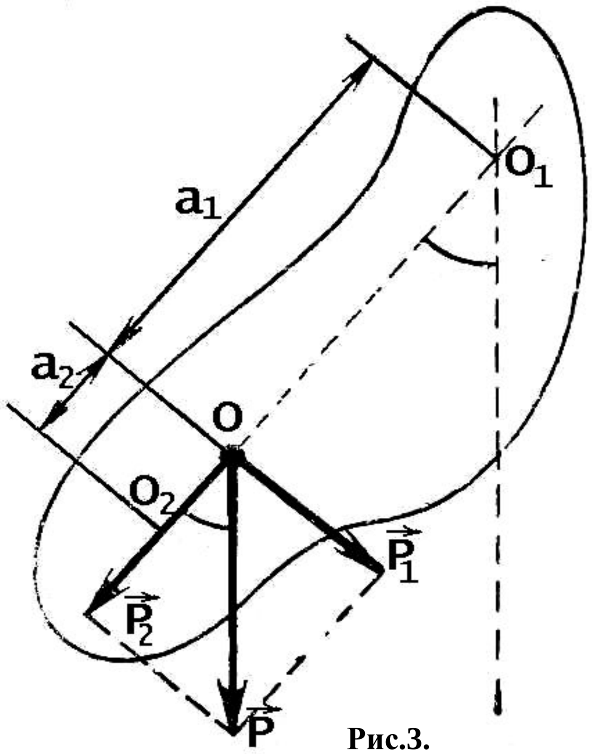


Рис.3.

Пусть на рис. 3 точка О есть центр тяжести маятника, а точки O_1 и O_2 –сопряженные точки. Подвесим маятник и приведем его в колебательное движение. Если амплитуда колебания маятника мала (малые колебания), то для периода его колебаний получена формула:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mag}} \quad \textbf{(8)}$$

где m - масса маятника; a - расстояние между осью вращения и центром тяжести маятника

I - момент инерции физического маятника относительно оси вращения.

По теореме Штейнера (см. лит-ру) $I = I_0 + ma^2$, где I_0-момент инерции маятника относительно оси, проходящей через центр тяжести маятника и параллельной оси вращения. Если данный вам маятник будет совершать колебания вокруг точек (сопряженных!) O_1 и O_2, то их периоды колебаний должны подчиняться соотношениям:

$$\mathrm{T}_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + ma_1^2}{mga_1}} \qquad\qquad \mathrm{T}_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + ma_2^2}{mga_2}}$$

Возведем оба выражения в квадрат и вычтя второе из первого получим:

$$ga_1T_1^2 - ga_2T_2^2 = 4\pi^2(a_1^2 - a_2^2)$$

Если периоды T_1=T_2=T, то g равно:

$$g = \frac{4\pi^2(a_1^2 - a_2^2)}{(a_1 - a_2)T^2} = \frac{4\pi^2(a_1 + a_2)}{T_2}$$

Итак:

$$g = \frac{4\pi^2(a_1 + a_2)}{T^2} \qquad (9)$$

Измерения и обработка результатов.

1. Подвесьте данный вам маятник за одну из опорных призм и несколько раз определите время, за которое маятник совершает 20 колебаний. Вычислите:
- Среднее время 20-ти колебаний $t_{ср}$.
- Среднюю погрешность <Δt>.
- Период колебаний T_1=<t>/20.
- Погрешность определения периода <ΔT_1>=<Δt>/20.

2. Подвесьте маятник за другую опорную призму и вновь несколько раз определите время 20-ти полных колебаний. Вычислите период T_2=<t>/n.

3. Если периоды T_1 и T_2 совпадают (в пределах погрешности), то сопряженные точки O_1 и O_2 вами определены. Если нет, то слегка измените расстояние между опорными призмами и вновь проверьте совпадение периодов. Продолжайте работу до тех пор, пока не получите такое положение призм, при котором периоды колебаний маятника на обеих призмах совпадают. Снимите маятник и положите его на стол.

4. Измерьте расстояние (a_1+a_2), т. е. расстояние между вершинами опорных призм и определите погрешность Δ(a_1+a_2).

5. Вычислите по формуле (6) ускорение g. Если периоды T_1 и T_2 не совпадают (в пределах погрешности), то используйте значение $T=(T_1+T_2)/2$

Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте определения и укажите различия в понятиях: гравитационная сила, сила тяжести, вес тела, масса тела.
2. Как зависит сила тяжести: а) от высоты тела над поверхностью Земли; б) от географической широты местности?
3. Что называется периодом колебания маятника?
4. Как реализовать математический маятник? Физический маятник? Приведите примеры.
5. Ножницы можно подвесить следующим образом (см. рис. 4.а,б,в). В каком из указанных случаев полученные маятники можно считать математическими? Физическими?

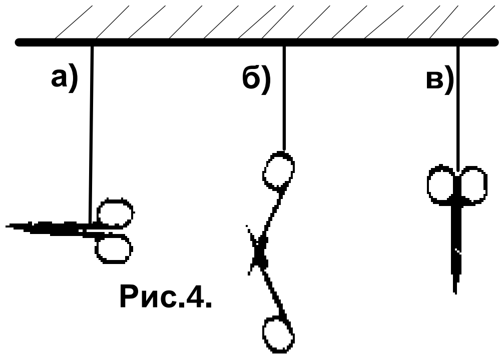


Рис.4.

6. Напишите формулы определения периода свободных колебаний для математического и физического маятников и объясните смысл входящих в них величин.
7. Что такое оборотный маятник? Чему равна приведенная длина физического маятника?
8. В каком случае период колебаний маятника не зависит от его массы?
9. Какие колебания называют малыми?

Лабораторная работа

Изучение законов прямолинейного движения на машине Атвуда.

Описание целей работы

Конкретная цель	Критерии достижения цели
I. Изучение теории	
1.Основные понятия кинематики материальной точки	Студент может сформулировать определение и привести примеры понятий: механическое движение, система отсчета, материальная точка, траектория, путь, перемещение, радиус-вектор, скорость, ускорение.
2. Законы прямолинейного равноускоренного движения	Студент правильно отвечает на вопросы № 1-6
3. Теория эксперимента	Студент может объяснить вывод формул (4) , (5).
II. Практические навыки	
Студент должен научиться: - подготавливать установку к работе; - снимать измерения; - определять погрешность экспериментальных измерений.	

Оборудование: машина Атвуда, набор грузов.

Необходимые теоретические сведения.

1.1 Изучив учебную литературу, сформулируйте определения понятий: механическое движение, система отсчета, материальная точка, траектория, путь, перемещение, радиус-вектор, скорость, ускорение.

Проиллюстрируйте свой ответ примерами. Укажите единицы измерения перечисленных величин.

1.2 Изучив литературу, ответьте на следующие вопросы:

1. Какое движение называется прямолинейным равноускоренным? Приведите примеры.

2. Какой вид для прямолинейного равноускоренного движения имеет зависимость скорости от времени? Модуль перемещения от

времени?

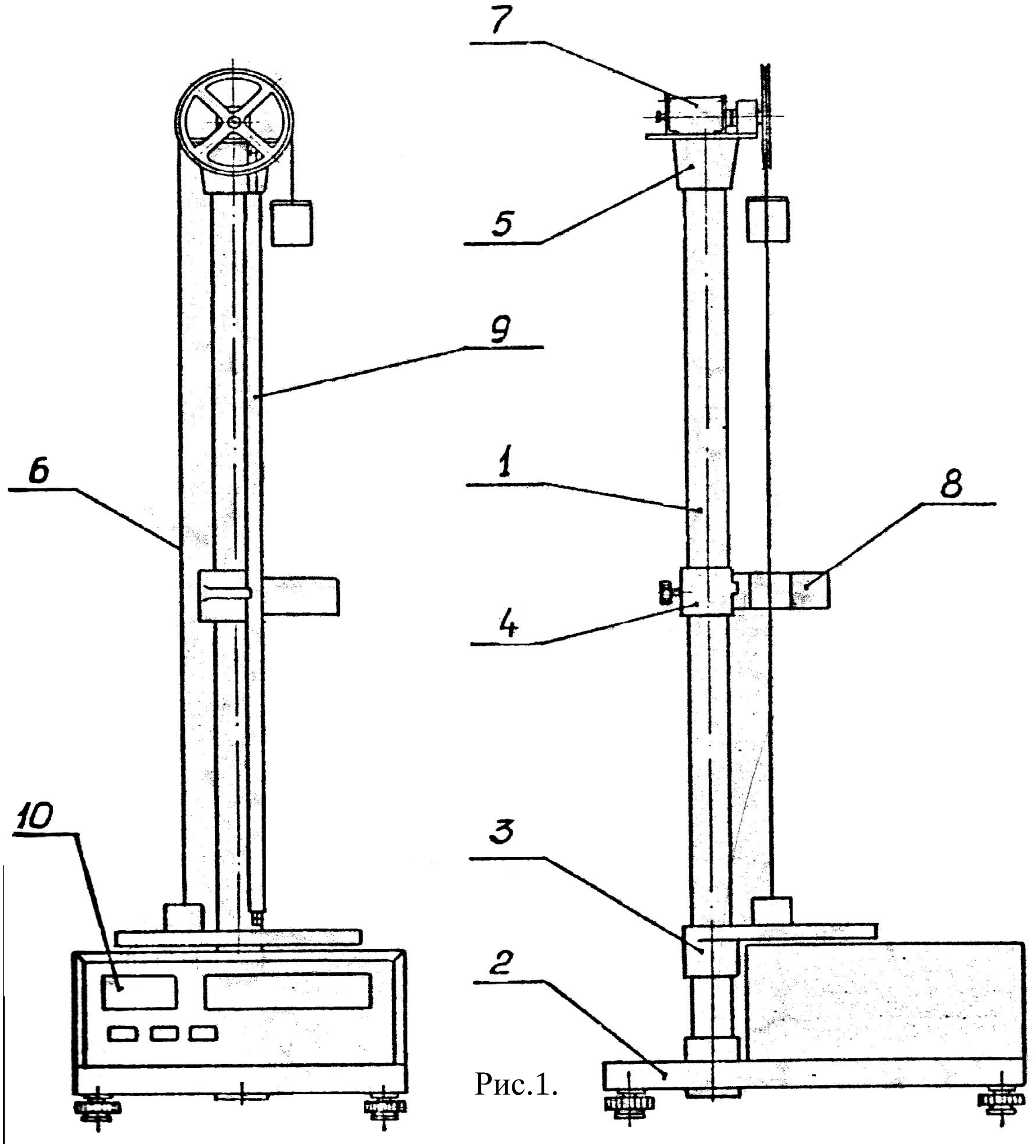


Рис.1.

3. Как движется тело при $a > 0$? при $a < 0$?

4.Для каждой из ниже перечисленных зависимостей укажите:

а) $\upsilon = 10+2t$ д) $S = 10t+t^2$

б) $\upsilon = 10-2t$ е) $S = 10t-t^2$

в) $\upsilon = 5t$ ж) $S= 12{,}5t^2$

г) $\upsilon = -5t$ з) $S = 5t^2$

- вид зависимости;
- равномерное или переменное движение описывается в данном выражении? Почему вы так решили?
- какова начальная скорость движения?
- каково ускорение движения?
- как движется тело?

- составьте зависимость S(t) для случаев а, б, в, г (S_0=0);
- составьте зависимость υ(t) для случаев д, е, ж, з;
- для каждого случая определите скорость и перемещение точки в конце пятой секунды.

1.3. Согласно закону инерции Галилео Галилея свободное тело (т.е. не испытывающее действия других тел) движется не меняя скорости, т.е. прямолинейно и равномерно. Причиной изменения скорости тела является действие на него других тел, характеризуемое физической величиной «сила». Второй закон динамики утверждает, что получаемое телом ускорение $\vec{a}$ пропорционально действующей на тело силе и обратно пропорциональна массе тела (его инертности):

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \qquad (1)$$

Если на тело действует несколько сил $\vec{F_1}, \vec{F_2}, \vec{F_3}$ и т.д. то в (1) имеется в виду равнодействующая сила $\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{F_3} + \ldots$.

В данной работе предлагается проверить соотношение (1) на установке, называемой **машиной Атвуда**.

На рис. 1 изображен внешний вид установки.

На основании 2 прибора укреплены вертикальная стойка 1 и миллисекундомер 10. На вертикальной стойке расположены три кронштейна: нижний 3, средний 4, верхний 5.

На верхнем кронштейне крепится блок с узлом подшипников качения, через который перекинута нить с грузами одинаковой массы. Электромагнит 7, с помощью фрикциона

(при подаче на него напряжения), удерживает систему с грузами в неподвижном состоянии.

На среднем кронштейне крепится фотодатчик 8, который выдает электрический сигнал окончания счета времени равноускоренного движения грузов. Фотодатчик соединен кабелем с миллисекундомером. Кронштейн имеет индекс, положение которого совпадает с оптической осью фотодатчика (риска на его корпусе).

Нижний кронштейн представляет собой площадку с резиновым амортизатором, о который ударяется груз при его остановке. Средний и нижний кронштейны имеют возможность свободного перемещения и фиксации на вертикальной стойке по всей ее свободной длине. На вертикальной стойке укреплена миллиметровая линейка 9, по которой определяют начальное и конечное положение грузов, следовательно, и пройденный путь. Начальное положение определяют визуально по нижнему срезу груза, конечное положение – по индексу среднего кронштейна.

Принцип работы установки состоит в том, что когда на концах нити висят грузы одинаковой массы М, система находится в положении безразличного равновесия. Если на один из грузов положить перегрузок массой m система выходит из равновесия и начинает двигаться равноускоренно. В комплект добавочных грузов входит несколько перегрузков, что позволяет исследовать движение с разными ускорениями.

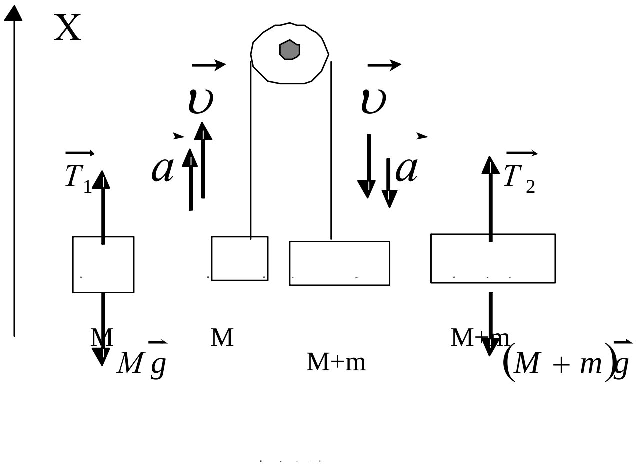


Рис.2.

Чтобы найти ускорение, определим силы, действующие на каждый груз (рис. 2). Если нить не растягивается, то очевидно, что оба груза движутся с одинаковым по модулю ускорением a. На левый груз действует притяжение Земли- сила тяжести $M\vec{g}$ и натяжение нити - сила упругости нити $\vec{T_1}$. На правый груз- сила тяжести $(M+m)\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T_2}$.

Применим второй закон Ньютона:

для левого груза — для правого груза

а) $\vec{T_1} + M\vec{g} = M\vec{a}$ б) $\vec{T_2} + (M+m)\vec{g} = (M+m)\vec{a}$ (2)

Выберем произвольную ось x и спроецируем на нее уравнения (2). Получим:

а) $T_1 - Mg = Ma$ б) $T_2 - (M+m)g = -(M+m)a$ (3)

Вообще говоря, T_1 и T_2 различны. Но если допустить, что

- нить и блок невесомы;
- трение в блоке отсутствует,

тогда $T_1 = T_2 = T$.

Вычтя из (3а) (3б), получим:

$$a = \frac{mg}{(2M + m)} \qquad (4)$$

Выражение (4) показывает, что система из двух грузов общей массой 2M+m движется с ускорением a под действием силы тяжести перегрузка m. Зная М и m можно вычислить значение a.

Значение ускорения a можно также определить экспериментально. Т.к. движение грузов происходит равноускоренно без начальной скорости, то пройденный каждым грузом путь

$$S = \frac{at^2}{2}$$

Измерив пройденный путь по линейке и время секундомером, найдем

$$a = \frac{2S}{t^2} \qquad (5)$$

II. Порядок выполнения работы

1. Приведите подвижную систему в исходное состояние, установив правый груз в крайнем верхнем положении.
2. Нажмите на кнопку «сеть» милисекундомера, при этом должен сработать фрикцион электромагнита.
3. Положите на правый груз один из перегрузков (разновесов).
4. Определите пройденный путь по шкале, как расстояние от верхнего положения груза до индекса среднего кронштейна.
5. Нажмите на кнопку «пуск» милисекундомера. При этом отключается электромагнит и груз придет в движение. Одновременно включается милисекундомер, который выключится в тот момент, когда груз дойдет до индекса на среднем кронштейне.
6. Запишите показания милисекундомера - время движения груза.
7. По формуле (5) определите ускорение a.
8. Определите погрешность определения ускорения Δa.
9. Измените пройденный путь, передвинув средний кронштейн и вновь повторите п.п. 1-8.
10. Еще раз измените путь (не меняя перегрузка) и вновь найдите значение ускорения a и его погрешности Δa.
11. Найдите среднее значение ускорения и среднее значение абсолютной погрешности определения ускорения.
12. Сравните полученное значение ускорения с рассчитанными по формуле (4). Значения M и m получите у лаборанта.
13. Возьмите другой перегрузок и повторите п.п. 1-12.
14. Объясните:

- Почему ускорение не должно меняться с изменением длины пройденного пути?
- Почему ускорение можно определить по формуле (5)

Литература:

1. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. т.1. М.: Наука, 1974г.
2. Савельев И.В. Курс общей физики.т.1,М.:Наука, 1982г.
3. Трофимова Т.И. . Курс физики, М.:Высшая школа, 1985г.
4. Шубин А.С. Курс общей физики, М., 1991 г.
5. Бутиков Е.И., Быков А.А., Кондратьев А.С. Физика, М. «Наука», 1979
6. Грабовский Р. И. Курс общей физики, М.:Наука 1968г.
7. Джанколи Д. Физика: в 2-х т. Пер с англ. М: Мир 1989 г.
8. Механика. Молекулярная физика. Под ред. В.И. Ивероновой, М.: Наука 1968 г.
9. Майсова Н.Н. «Практикум по курсу общей физики», М.:ВШ, 1970 г.
10. Кортнев А.В., Рублёв Ю.В., Куценко А.Н., «Практикум по физике», М.: Высшая школа ,1961г.
11. СавельевИ.В, Курс общей физики. Т.1 Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука, 1986г.
12. А.С. Шубин “Курс общей физики”,
13. Р.И. Грабовский “Курс общей физики
14. Б.М.Яворский, А.А.Детлаф “Справочник по физике”, 1977
15. Е.И.Бутиков, А.А.Быков, А.С.Кондратьев “Физика”, 1982
16. А.В.Кортнев “Практикум по физике”,
17. Зисман Г.А. Тодес О.М. Курс общей физики, т.1. М.: 1969г.
18. Деденко Л.Г., Керженцев В.В. Математическая обработка результатов эксперимента в лабораториях общего физического практикума. М.: МГУ, 1977.
19. Общий физический практикум. Механика.- .: МГУ, 1991.
20. Кортнев А.В., Рублев Ю.В., Куценко А.Н. Практикум по физике.
21. Карякин Н.И., Быстров К.Н., Киреев П.С. Краткий справочник по физике.
22. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2
23. Савельев И.В. Общий курс физики. Т.1
24. Грабовский В.И. Курс общей физики
25. Шубин А.С. Курс общей физики
26. Иверонова В.И. Физический практикум.
27. Зисман Г.А., Тодес О.М. «Курс общей физики». т.1. М.: Наука, 1974г.
28. Савельев И.В. «Курс общей физики».т.1,М.:Наука, 1982г.
29. Трофимова . «Курс физики», М.:Высшая школа, 1985г.
30. Шубин А.С. «Курс общей физики»,
31. Бутиков Е.И., Быков А.А., Кондратьев А.С. «Физика»
32. Иверонова В.И. «Физический практикум»,М.:Наука 1968г.
33. Майсова Н.Н. «Практикум по курсу общей физики», М.: Высшая школа, 1970г.
34. Кортнев А.В., Рублёв Ю.В., Куценко А.Н., «Практикум по физике», М.: Высшая школа ,1961г.