Лабораторная работа
Измерение размеров штангенинструментами и определение массы твердого тела правильной геометрической формы.

Цель работы: ознакомление с приборами для измерения линейных размеров тел, изучение принципа работы нониуса, определение массы твердого тела правильной геометрической формы, усвоение правил расчета погрешностей измерений.

Оборудование: штангенциркуль, набор гаек, таблица плотностей.

Устройство штангенциркуля.

Штангенциркулем (рис. 1.) называется прибор, применяющийся для измерения линейных размеров с точностью от 0,1 до 0,02 мм (точность указана на приборе). Любая его модификация состоит из следующих конструктивных элементов:

- Измерительная линейка (штанга) – главная часть прибора, на верхней поверхности которого нанесена шкала разметки с градацией в 1 мм. Стандартная линейка имеет длину 150 мм. Этот показатель определяет максимально доступную величину измерения. Выпускаются приборы, имеющие более длинную штангу, для замеров больших деталей.
- Измерительная рамка – подвижный элемент прибора, перемещающийся по линейке. Внутри рамки размещена плоская пружина, которая плотно прижимает ее к штанге. На рамке имеется дополнительная измерительная шкала (нониус), по которой отсчитываются десятые или сотые доли миллиметра при совмещении с одним из штрихов основной шкалы. Нониусная шкала имеет 10 делений, ширина каждого – 1,9 мм. В конструкции предусмотрен стопорный винт, который позволяет жестко фиксировать рамку.
- Неподвижные губки. Один элемент жестко прикреплен к штанге, другой закреплен на рамке и перемещаются вместе с ней. Рабочая поверхность внутри. Используются для наружных замеров.

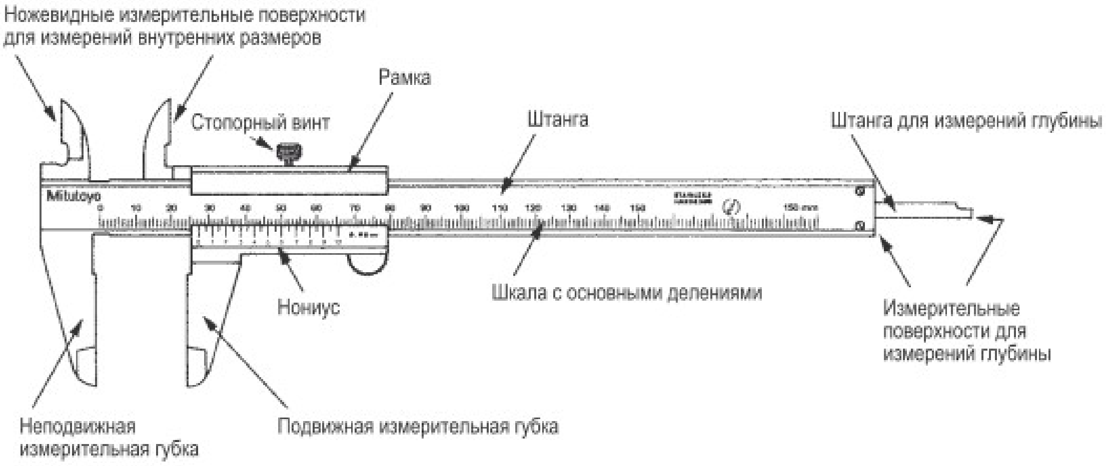
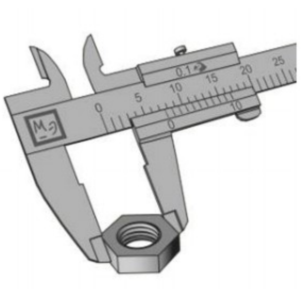


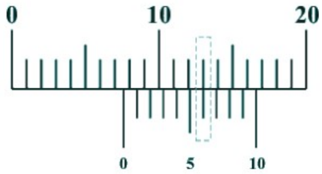
Рис. 1. Устройство штангенциркуля.

- Подвижные губки. Рабочие элементы располагаются по тому же принципу, что большие неподвижные губки, но размещены по другую сторону линейки. Рабочая поверхность обращена наружу. Дополнительные губки применяются для внутренних замеров.
- Линейка глубиномера – выдвигающаяся планка, жестко соединенная с двигающейся рамкой.

Как правильно измерять штангенциркулем наружные поверхности.



Для снятия наружных размеров (толщины) нужно развести губки штангенциркуля, поместить между ними измеряемый предмет, затем сдвинуть губки и слегка сжать. Измерительные кромки должны располагаться параллельно поверхности заготовки. Отсчёт целых делений (мм) производят по основной (верхней) шкале до нуля нониуса (для примера на рисунке слева это 7 мм). Для определения долей миллиметра необходимо смотреть, какое деление нониуса (нижней шкалы) совпадает наилучшим образом с каким-либо делением основной (верхней) шкалы. Для нашего примера это 6-е деление нониуса. Умножив это число на цену деления штангенциркуля (она же точность прибора = 0,1 мм), получим искомые доли миллиметра. Окончательный результат измерения: 7 + 6 · 0,1 = 7,6 мм).



Обработка результатов измерений

Окончательный результат обработки серии измерений величины X представляют в форме:

$$X = \langle X \rangle \pm \Delta X, (1)$$

где ΔX *– положительная величина, называемая* ***абсолютной погрешностью*** *серии измерений. Смысл формулы (1) состоит в том, что с заданной вероятностью P, называемой надежностью измерения величины X, ее истинное значение лежит в доверительном интервале от* $\langle X \rangle - \Delta X$ *до* $\langle X \rangle + \Delta X$*, т.е.* $\langle X \rangle - \Delta X < X < \langle X \rangle + \Delta X$*.*

За наиболее достоверное значение результата прямого измерения величины X принимают ее среднее арифметическое значение $\langle X \rangle$ из всех N результатов ее измерений:

$$\langle X \rangle = \frac{1}{N}(X_1 + X_2 + \ldots + X_N) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i. (2)$$

В данной работе в роли величины X выступают такие величины как высота гайки (h), её внутренний (d) и внешний диаметры (a).

Относительной погрешностью серии измерений называют величину

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

Правила для приближенных вычислений.

1. Число, для которого указывают абсолютную погрешность, должно иметь последнюю значащую цифру того же разряда, как и последняя значащая цифра погрешности.

Примеры.

а) Правильно: 17,0 ± 0,2. Неправильно: 17 ± 0,2 или 17,00 ± 0,2.

б) Правильно: 12,13 ± 0,17. Неправильно: 12,13 ± 0,2.

2. Числовые значения величины и её погрешности целесообразно записывать с указанием одной и той же единицы измерения, например: $a = (23{,}81 \pm 0{,}19) \cdot 10^{-3} (м)$.

Ход работы

1. Изучить устройство штангенциркуля и методику измерения.

2. Штангенциркулем провести шесть измерений каждого линейного размера твердого тела- высоты, внутреннего и внешних диаметров (N=6, N – число измерений), записать размеры в таблицу.

X	1	2	3	4	5	6	$\langle X \rangle$	ΔX

h, мм								
d, мм								
a, мм								

3. Рассчитать и записать в таблицу средние значения <h>,<d> ,<a> измеренных размеров тела по формуле (2).

4. Рассчитать и записать в таблицу значения погрешностей Δh, Δd, Δa . Пример расчета для Δh: вычисляем отклонения $\Delta h_1=|h_1-\langle h\rangle|$, $\Delta h2=|h2-\langle h\rangle|$,…., $\Delta h_N=|h_N-\langle h\rangle|$. Затем вычисляем среднее арифметическое данных отклонений :

$\Delta h=\frac{\Delta h_1+\Delta h_2+...+\Delta h_N}{N}$.Проделать подобный расчет для Δd и Δa.

5. Нарисовать исследуемое тело, указать на рисунке размеры *h*, *d*, *a*, определяющие его объем, и написать расчётную формулу массы тела, выразив ее через плотность и размеры тела. ($m=\rho * V$, $V=h*(\frac{\sqrt{3}}{2}a^2-\frac{\pi}{4}d^2)$).

6. Рассчитать массу тела *m* в кг по средним значениям *h,d,a.* Значения плотности можно взять в интернете в таблицах .

7. Вычисление погрешностей:

1) вычислить абсолютные погрешности прямых измерений Δ*h*, Δ*d*, Δ*a* , и косвенных m , V

2) вычислить относительные погрешности прямых измерений h,d,a ($\frac{\Delta h}{\langle h\rangle}100\%$ и т. д.)

8. Сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое нониус и как с ним работать?

2.Для чего нужен штангенциркуль? Какую точность измерений он обеспечивает?

3. Что такое прямые и косвенные измерения?

4. Что такое погрешность?

5. Какие виды погрешностей Вам известны? Приведите примеры.
6. Что такое доверительный интервал?
7. Как найти наилучшее приближение к истинному значению по результатам серии измерений одного размера?
8. Укажите возможные причины систематических ошибок в общем и в данной лабораторной работе в частности.

Лабораторная работа

Измерение коэффициента трения скольжения.

Цель работы: определить коэффициент трения скольжения и исследовать его зависимость от свойств поверхности.

Оборудование: две гайки, две наклонные плоскости из различающихся по гладкости поверхностей, лист бумаги, линейка.

Теория:

Сила трения скольжения, действующая на некое тело, направлена в сторону, противоположную направлению скорости тела. На рис 1. показаны действующие силы на скользящее с постоянной скоростью тело вдоль наклонной плоскости :

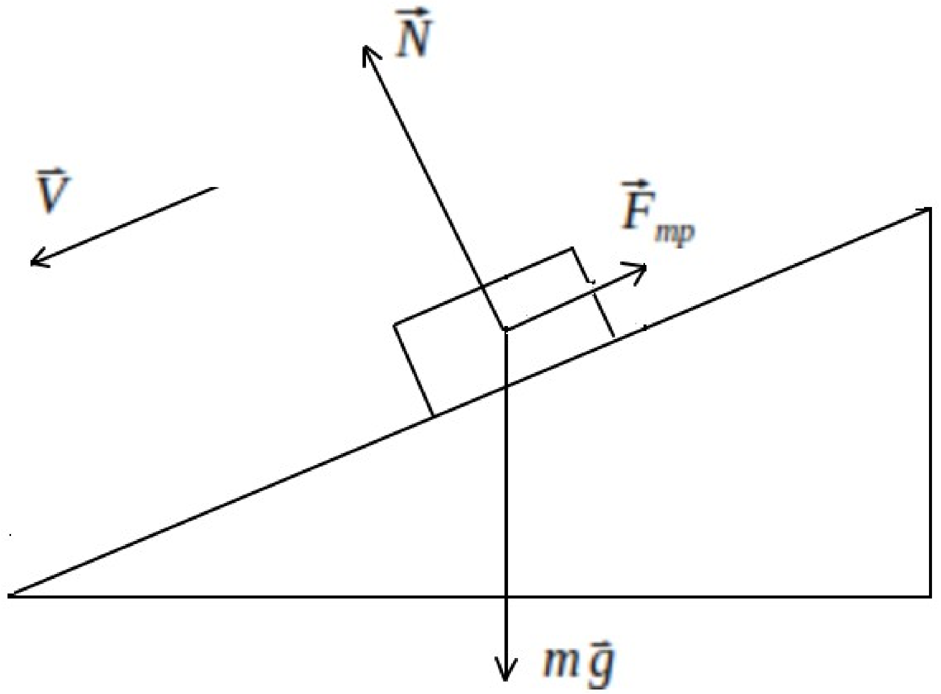


Рис 1. Скользящее равномерно тело вдоль наклонной плоскости

.

N- сила реакции опоры

mg- сила тяжести

$F_{тр}$- сила трения скольжения

Согласно второму закону Ньютона, сумма всех сил ,действующих на тело , равна произведению массы на ускорение:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \tag{1}$$

Учитывая тот факт, что тело движется равномерно, его ускорение равно нулю. Действующих сил всего три ,и второй закон Ньютона для тела на рис 1 выглядит следующим образом :

$$\vec{N} + m\vec{g} + \overrightarrow{F_{тр}} = 0$$

Выберем оси x , направленную вдоль плоскости вниз, и ось y , направленную перпендикулярно плоскости вверх.

В проекциях на выбранные оси :

$$\begin{cases} mg\sin(\alpha_0) - F_{тр} = 0 \\ N - mg\cos(\alpha_0) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} mg\sin(\alpha_0) = F_{тр} \\ mg\cos(\alpha_0) = N \end{cases} \Rightarrow$$

$$tg(\alpha_0) = \frac{F_{тр}}{N} = \frac{\mu N}{N} = \mu \tag{2}$$

Следовательно, измерив угол наклона плоскости α_0, при котором тело начинает скользить по ней, можно вычислить коэффициент трения.

Если угол наклона плоскости $\alpha > \alpha_0$, то движение тела по наклонной плоскости приобретает равноускоренный характер. В таком случае уравнение

$$\vec{N} + m\vec{g} + \overrightarrow{F_{тр}} = m\vec{a}$$

в проекции на ось X и У приобретает вид:

$$\begin{cases} mg\sin(\alpha) - F_{тр} = ma \\ N - mg\cos(\alpha) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} mg\sin(\alpha) - \mu N = ma \\ N = mg\cos(\alpha) \end{cases} \tag{3}$$

Так как тело двигалось из состояния покоя, то пройденный путь за время t можно найти по формуле

$S = \frac{at^2}{2} \Rightarrow a = \frac{2S}{t^2}$. Используя формулы (3), получаем

$$mg\sin(\alpha) - \mu mg\cos(\alpha) = \frac{m2S}{t^2} \quad ,$$

$$\mu=\frac{\sin(\alpha)-\frac{2S}{gt^2}}{\cos(\alpha)} \qquad (4)$$

Ход работы:

1. Измерьте длину l наклонной плоскости 1.

2. На поверхности парты укрепите кусок плотной бумаги, так , как показано на рис 2.

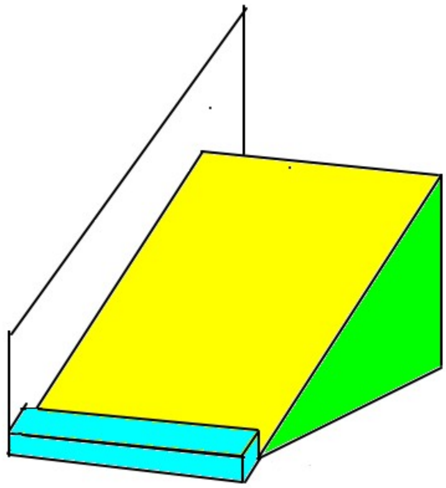


Рис. 2. Положение листа бумаги относительно наклонной плоскости: белым цветом выделено положение бумаги, голубым- упор

3. Положите гайку на наклонную плоскость 1.

4. Конец наклонной плоскости, расположенный у поверхности, не должен двигаться, поэтому закрепите его у опоры. Начинайте медленно поднимать плоскость за другой конец. Зафиксируйте на бумаге горизонтальной линей высоту плоскости, при которой брусок начнёт скользить.

5. Повторите опыт несколько раз. Сделайте расчёт коэффициента трения по формуле (2) , проведите обработку результатов измерений, вычислив из данных относительную и абсолютную погрешности μ.

6. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу :

Длина наклонной плоскости, см	Высота подъема плоскости, см	Коэффициент трения μ	Отклонение от среднего Δμ
	h_1	μ_1	$\Delta\mu_1$
l	h_2	μ_2	$\Delta\mu_2$
	….	….	….
	h_5	μ_5	$\Delta\mu_5$

7. Наклонив плоскость на угол $\alpha>\alpha_0$, и разместив гайку у её верхнего края , измерьте время соскальзывания. В качестве вспомогательного средства измерения времени можно использовать замедленную съемку на телефоне. Вычислить коэффициент трения по формуле (4) , относительную и абсолютную погрешности.

8. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу:

Высота подъема плоскости, см	Время соскальзывания, с	Коэффициент трения μ	Отклонение от среднего Δμ
h_1	t_1	μ_1	$\Delta\mu_1$
h_2	t_2	μ_2	$\Delta\mu_2$
….	….	….	….
h_5	t_5	μ_5	$\Delta\mu_5$

9. Проведите аналогичные опыты со второй плоскостью и гайкой.

10. Сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение трению. Какова природа силы трения скольжения (из-за чего возникает)?
2. Какие виды трения вам известны? Дайте их краткую характеристику.

3. От каких факторов зависит сила трения при внешнем трении?

4. Почему в серии опытов с равномерным движением гайки важно медленно поднимать плоскость ?

5. Как связаны между собой трение покоя и трение скольжения?

6. Что такое коэффициент трения? Продемонстрируйте вывод формулы для расчета данного коэффициента в случае равноускоренного скольжения.

7. Какой фактор в выводе формул (2) и (4) был принят пренебрежимо малым?

Лабораторная работа

«Исследование колебаний математического и конического маятников»

Цель работы: изучение колебаний маятников, определение и сравнение периодов их колебаний

Оборудование: маятники, лист бумаги, секундомер

Теория:

Математическим маятником называют систему, состоящую маленького шарика (материальной точки), имеющего большую массу, подвешенного на длинной нерастяжимой нити (подвесе). Это идеализированная система, которая совершает колебания под воздействием силы тяжести.

Рассмотрим движение шарика. В положении равновесия на шарик действуют сила тяжести и возникающая в нити сила упругости. При отклонении шарика на некоторый угол φ можно выделить проекцию силы тяжести на ось, направленную по касательной к траектории шарика, $F_\tau = -mg\sin(\varphi)$. Минус означает, что касательная составляющая направлена в сторону, противоположную отклонению маятника. [1]

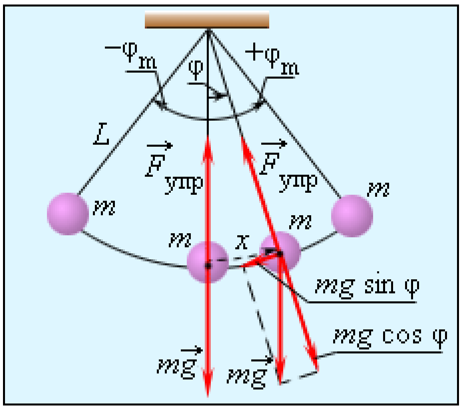


Рис 1. Математический маятник. φ – угловое отклонение маятника от положения равновесия, $x = l\varphi$ – смещение маятника по дуге

Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось , направленную вдоль x.

$$ma_\tau = F_\tau = -mg\sin(\varphi)$$

Учтем , что $x = l\varphi$, и $\sin(\varphi)=\sin(\frac{x}{l})$. Для простоты предположим, что угол отклонения маятника мал, тогда мало и отношение $\frac{x}{l}$ мало. Для малых углов справедливо приближение $\sin(\alpha)\approx\alpha$, тогда $\sin(\frac{x}{l})\approx\frac{x}{l}$ и

$$ma_\tau=-mg\frac{x}{l} \quad (5)$$

выражение (1) разделим на массу, и введем обозначение $\omega=\sqrt{\frac{g}{l}}$. Перенесём всё в одну часть и учтём, что ускорение является второй производной от координаты:

$$\ddot{x}+\omega^2 x=0 \quad (6)$$

Данное уравнение встречается часто в разных областях физики и называется уравнением гармонических колебаний, его решение известно в виде

$$x=A\sin(\omega t+\psi)$$

где А и ψ константы. Если маятник начал свое движение из положения равновесия, то ψ=0.

Синус — периодическая функция с периодом 2π. За время, равное периоду колебания, аргумент синуса должен быть равным 2π: $\omega T=2\pi$

Тогда период колебаний математического маятника :

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

Рассмотрим также систему под названием конический маятник. На двигающийся равномерно по окружности шарик действуют сила натяжения нити Т и сила тяжести mg. По второму закону Ньютона

$$m\vec{g}+\vec{T}=m\vec{a}$$

где a - центростремительное ускорение.

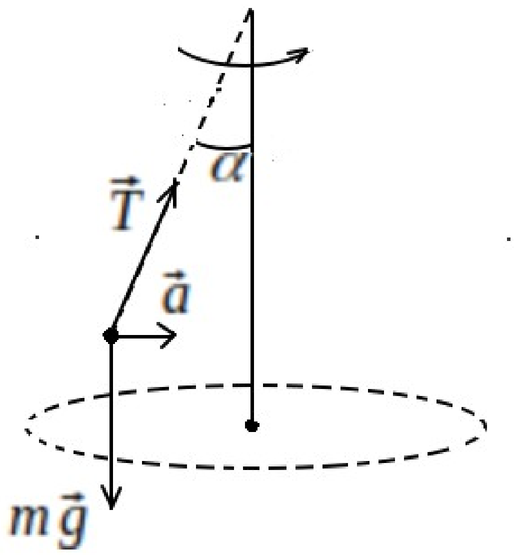


Рис.2. Конический маятник

Введем две оси : ось x , направленную вдоль ускорения, и ось y , направленную вертикально вверх. В проекциях на эти оси второй закон Ньютона принимает вид:

$\begin{cases} T\sin(\alpha_0)=ma \\ T\cos(\alpha_0)-mg=0 \end{cases}$ => $\begin{cases} T\sin(\alpha_0)=ma \\ T\cos(\alpha_0)=mg \end{cases}$. Деля первое уравнение на второе ,

получаем: .

$$tg(\alpha)=\frac{a}{g} \quad . \tag{7}$$

Теперь найдем период обращения конического маятника.

Период движущегося равномерно по окружности тела найдём по формуле

$$T=\frac{2\pi r}{v} \quad , \tag{8}$$

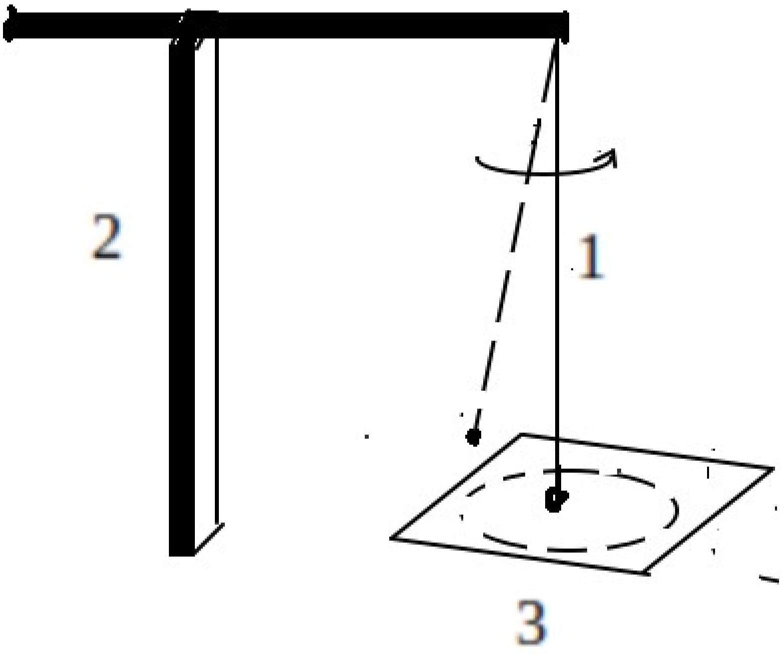
где r — радиус окружности, v — скорость тела. Используя формулу для центростремительного ускорения $a=\frac{v^2}{r}$, выразим скорость :

$v=\sqrt{ar}=\sqrt{g\,tg(\alpha)r}=\sqrt{g\,tg(\alpha)l\sin(\alpha)}$, где l -длина нити. Подставив в формулу (4), получаем выражение для периода обращения конического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos(\alpha)}{g}} \tag{9}$$

Ход работы:

1. Соберите экспериментальную установку . См. рисунок 3



.

Рис.3.Конический маятник . Здесь 1- маятник, 2 — опора, 3 - бумажный лист с изображенными окружностями.

2. Расположите маятник над центром окружностей. Проследите за тем , чтобы груз находился ровно над центром окружностей.

3. Аккуратно двигая нить возле точки подвеса, приведите маятник во вращательное движение. Добейтесь того, чтобы амплитуда движения маятника совпадала с радиусом самой большой из окружностей.

4. Убедившись в наличии устойчивого равномерного движения маятника, отпустите нить и запустите секундомер. Измерьте время 15 -20 полных колебаний.

5. Вычислите период колебаний по формуле (1)

6.Повторить пункты 2 - 4 4 раза.

7. Определить средний период колебаний из проделанных измерений.

8. Повторить пункты 2-7 , принимая радиус средней окружности как амплитуду колебаний конического маятника.

9. Повторить пункты 2 -7 , принимая радиус малой окружности как амплитуду колебаний.

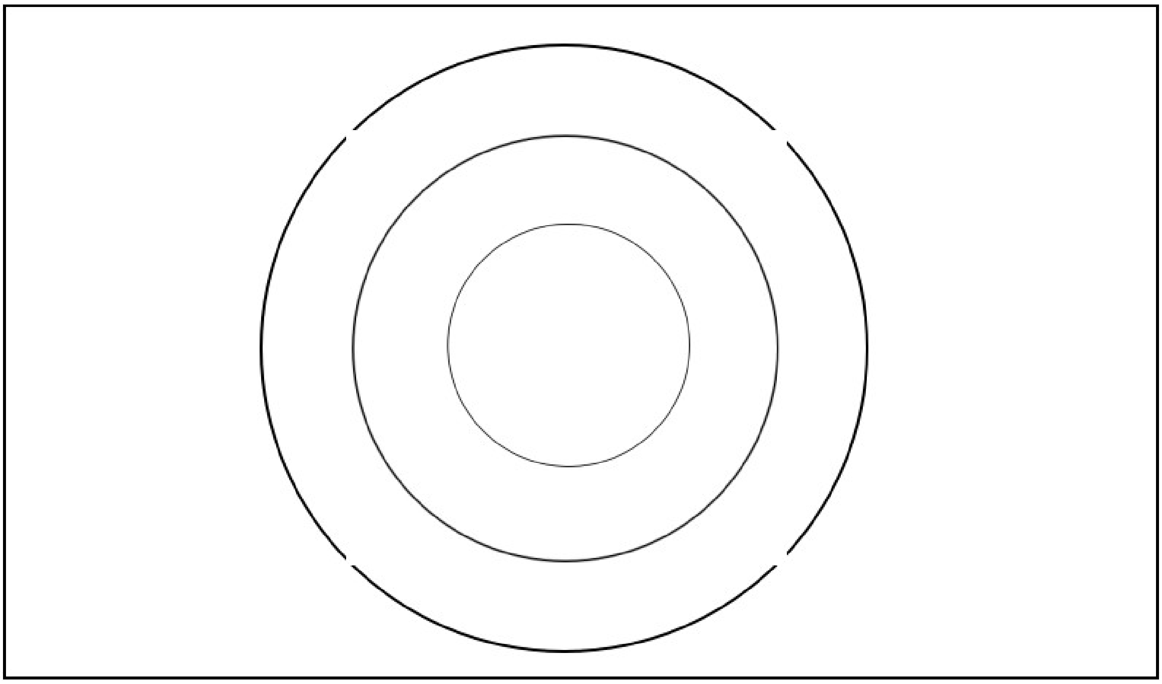


Рис .4. Внешний вид листа с окружностями.

Измерения с коническим маятником

1. Соберите экспериментальную установку.

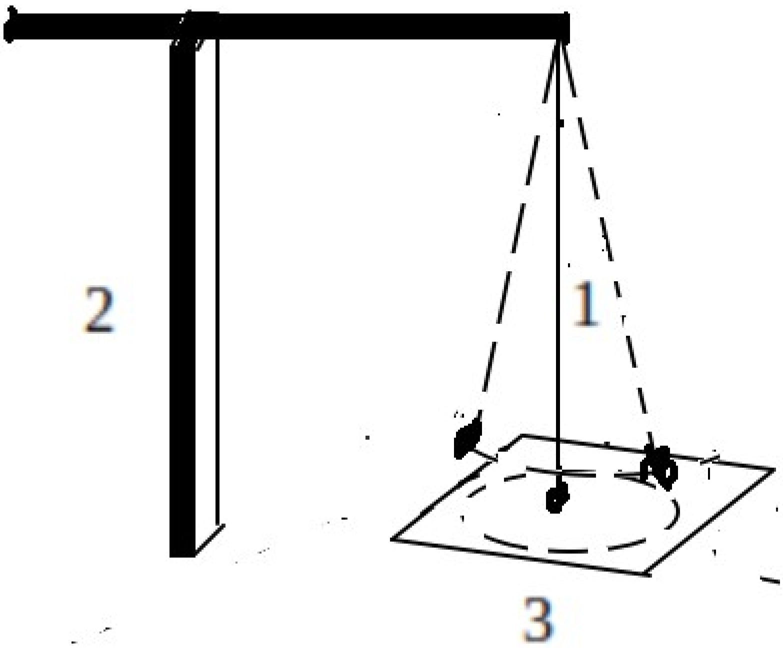


Рис 5. Математический маятник.1- маятник, 2 — опора, 3 - бумажный лист с изображенными окружностями.

2. Груз маятника разместите ровно над линией, соответствующей диаметру самой большой окружности.

3.Отпустите груз, при этом запустив секундомер. Измерьте время полных 15-20 колебаний.

4.Вычислить период колебаний по формуле (1)

5.Повторить пункты 3 и 4 4 раза.

6. Определить средний период колебаний из проделанных измерений.

7.Повторить пункты 2-6 , размещая маятник над линией средней окружности..

8. Повторить пункты 2-6 , размещая маятник над линией малой окружности.

9.Оформить результаты измерений опытов с коническим и математическим маятниками в виде таблицы.

Амплитуда колебания	Период колебаний, конический маятник		Период колебаний, математический маятник	
	<T>,c	ΔT, c	<T>, c	ΔT, c
большая				
средняя				
малая				

10. Сделать выводы.

Контрольные вопросы:

1. Определение математического маятника. При каких условиях обычный маятник можно считать математическим?
2. Выведите формулу периода колебаний математического маятника.
3. Выведите формулу периода колебаний конического маятника.
4. Какие колебания можно назвать гармоническими?
5. Возможно ли такое, что при одинаковой длине нити совпадут периоды колебаний математического и конического маятников?
6. Зависит ли период колебаний математического маятника от амплитуды его колебаний?

Источники:

1. https://physics.ru/courses/op25part1/content/chapter2/section/paragraph3/theory.html