

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1-8

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ КОЛЕБАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКОВ

Студент: _____ группа: _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы: экспериментально изучить законы гармонических колебаний.**Приборы и материалы:** универсальный маятник FPM-04.**Основные теоретические сведения****Осциллятором** называется система способная совершать колебания.**Гармоническим осциллятором** называется система, совершающая колебания, описываемые дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 \quad (1)$$

Решением этого уравнения является выражение:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (2)$$

где A – амплитуда колебаний (максимальное отклонение колеблющейся величины x от её среднего значения), $(\omega_0 t + \varphi_0)$ – фаза колебания в момент времени t , [рад]; ω_0 – круговая (или циклическая) частота, $\left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$; φ_0 – начальная фаза (т.е. фаза колебания в момент времени $t = 0$ с), [рад];Период колебаний такого гармонического осциллятора равен $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$

Колебания гармонического осциллятора являются важным примером периодического движения и служат точной или приближенной моделью во многих задачах классической и квантовой физики.

Примерами гармонического осциллятора являются пружинный, физический и математический маятники при малых амплитудах колебаний и электрический колебательный контур (для токов и напряжений столь малых, при которых элементы контура можно считать линейными).

ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК.**Пружинным маятником** называется груз массой m , укрепленный на абсолютно упругой, невесомой пружине, совершающий гармонические колебания под действием упругой силы $\vec{F} = -k\vec{x}$, где k – жесткость пружины.

Рассмотрим свободные колебания горизонтального пружинного маятника (см. рис. 1)

Он состоит из тележки массой m , прикрепленной к вертикальной стене пружиной жесткостью k , которая может практически без трения перемещаться по горизонтальной поверхности. При любых положениях тележки сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции опоры $\vec{N}$ уравновешивают друг друга. При смещении тележки из положения равновесия на величину x на неё начинает действовать сила упругости со стороны пружины $\vec{F}_{\text{упр}} = -k\vec{x}$, под действием которой тележка будет совершать свободные колебания.Уравнение движения пружинного маятника в проекции на ось X на основании второго закона Ньютона будет иметь вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx \quad \text{или} \quad m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0 \Rightarrow \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0. \quad (3)$$

$$\text{Если ввести обозначение } \frac{k}{m} = \omega_0^2, \text{ то уравнение (3) примет вид } \frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0. \quad (4)$$

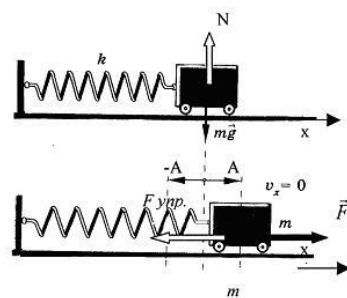


рис. 1

Уравнение (4) является дифференциальным уравнением гармонических колебаний. Таким образом, мы получили, что пружинный маятник совершает гармонические колебания по закону

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \text{ с циклической частотой } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ и периодом колебаний } T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Эти формулы справедливы в пределах выполнения закона Гука, то есть при малых деформациях пружины, а так же при условии, что масса пружины мала по сравнению с массой тела.

В данной работе мы экспериментально изучим законы колебаний физического, математического и обратного маятников.

ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Физическим маятником называется твёрдое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания в вертикальной плоскости вокруг неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через центр масс тела (см. рис 2).

Найдём период колебаний физического маятника.

Если силами трения в подвесе маятника можно пренебречь, то момент сил относительно оси качания маятника создает только сила тяжести $m\vec{g}$, действующая на маятник (момент силы реакции опоры равен нулю, так как сила реакции проходит через ось маятника).

При отклонении маятника на угол α эта сила создает момент $M = mgl \sin \alpha$, стремящийся возвратить маятник в положение равновесия ($\alpha = 0$).

Запишем основное уравнение динамики для тела, вращающегося вокруг неподвижной оси.

Так как $M = I\varepsilon$, где $M = mgl \sin \alpha$ и $\varepsilon = \frac{d^2 \alpha}{dt^2}$, то

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -mgl \sin \alpha \quad (5)$$

(знак минус в уравнении (5) обусловлен тем, что знаки величин α и M согласно правилу буравчика или правилу правого винта всегда оказываются противоположными).

В уравнении (5):

l - расстояние от центра масс маятника C до оси качания O , $[м]$;

I - момент инерции маятника относительно оси качания, $[кг \cdot м^2]$,

g - ускорение свободного падения, $\left[\frac{м}{с^2}\right]$; m - масса маятника, $[кг]$.

Если маятник отклонить на небольшой угол ($\alpha \leq 10^\circ$), то можно заменить $\sin \alpha \approx \alpha$. В этом случае уравнение (3) примет вид

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -mgl \alpha \Rightarrow \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -\frac{mgl}{I} \alpha \Rightarrow \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{mgl}{I} \alpha = 0.$$

Если ввести обозначение $\omega_0^2 = \frac{mgl}{I}$, то получим дифференциальное уравнение гармонических колебаний

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \omega_0^2 \alpha = 0, \quad (6)$$

решением которого является уравнение вида

$$\alpha = \alpha_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где α_0 - амплитуда колебаний, $[рад]$; φ_0 - начальная фаза колебаний, $[рад]$.

Из уравнения (6) следует, что при малых отклонениях от положения равновесия ($\alpha \leq 10^\circ$) физический маятник

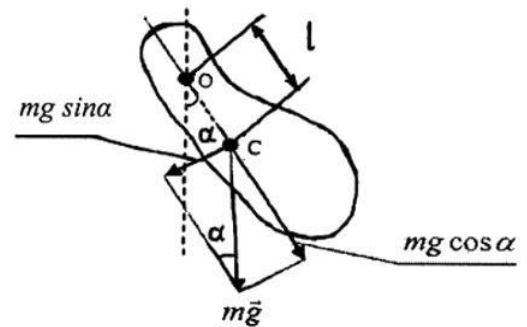


рис. 2

будет совершать *гармонические колебания* (т.е. колебания, совершаемые по закону $\sin$ или $\cos$) с круговой частотой

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgl}{I}} \text{ и периодом колебаний } T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (7)$$

где величина $L = \frac{I}{ml}$ называется **приведенной длиной физического маятника** (т.е. это длина такого математического маятника, период колебаний которого равен периоду колебаний данного физического маятника, то есть $L = l_{\text{математического}}$).

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Математическим маятником называется идеализированная система, состоящая из материальной точки массой m , подвешенной на невесомой нерастяжимой нити и совершающей колебания в вертикальной плоскости под действием силы тяжести.

Материальной точкой называется тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

Хорошим приближением математического маятника является небольшой тяжелый шарик, подвешенный на тонкой длинной нити (см. рис. 3).

В этом случае момент инерции математического маятника можно определить по формуле

$$I = ml^2, \quad (8)$$

где l - длина маятника (реально - это расстояние от точки подвеса до центра масс шарика)

Так как математический маятник можно представить как частный случай физического маятника, предположив, что вся его масса сосредоточена в одной точке - центре масс, то, подставив уравнение (8) в формулу (7), получим выражение для периода малых колебаний математического маятника:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}} = 2\pi \sqrt{\frac{ml^2}{mgl}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Таким образом, математический маятник при небольших отклонениях от вертикали ($\alpha \leq 10^\circ$) будет также совершать гармонические колебания по закону

$$\alpha = \alpha_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

с периодом колебаний $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ и циклической частотой $\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{l}}$.

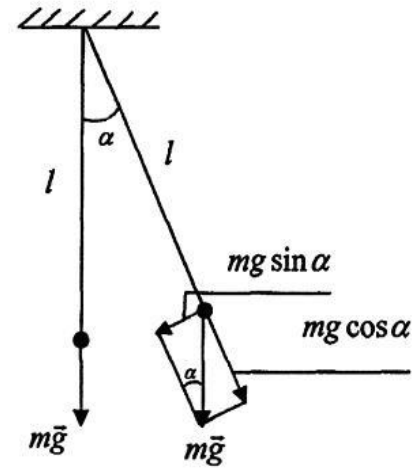


рис. 3

ОБОРОТНЫЙ МАЯТНИК

Оборотным маятником называется массивное твёрдое тело с двумя перемещающимися вдоль оси маятника трехгранными ножами, способное совершать колебания в вертикальной плоскости под действием силы тяжести вокруг каждого из ножей (см. рис 4).

(Оборотный маятник используется для экспериментального определения ускорения свободного падения).

Получим формулу для определения ускорения свободного падения с помощью оборотного маятника. При этом учтём, что он является частным случаем физического маятника.

Покажем, что любой физический маятник имеет в общем случае два различных расстояния l_1 и l_2 от центра масс маятника до точек подвеса, при которых периоды колебаний маятника будут равны, то есть $T_1 = T_2$.

Определим расстояние l , соответствующее произвольному периоду колебаний T .

Для физического маятника $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}}$. (9)

Распишем по теореме Штейнера момент инерции маятника: $I = I_0 + ml^2$.



рис. 4

Из уравнения (9) момент инерции равен $I = \frac{T^2}{4\pi^2} mgl$. (10)

Отсюда следует: $\frac{T^2}{4\pi^2} mgl = I_0 + ml^2$ или $ml^2 - \frac{T^2}{4\pi^2} mgl + I_0 = 0$.

Разделив на m , получим $l^2 - \frac{T^2}{4\pi^2} gl + \frac{I_0}{m} = 0$.

Решая это квадратное уравнение относительно величины l , найдём два корня:

$$l_1 = \frac{\frac{T^2}{4\pi^2} g + \sqrt{\frac{T^4}{16\pi^4} - \frac{I_0}{m}}}{2} \quad l_2 = \frac{\frac{T^2}{4\pi^2} g - \sqrt{\frac{T^4}{16\pi^4} - \frac{I_0}{m}}}{2}$$

Определим величину $l_1 + l_2$:

$$l_1 + l_2 = \frac{\frac{T^2}{4\pi^2} g + \sqrt{\frac{T^4}{16\pi^4} - \frac{I_0}{m}}}{2} + \frac{\frac{T^2}{4\pi^2} g - \sqrt{\frac{T^4}{16\pi^4} - \frac{I_0}{m}}}{2} = \frac{T^2}{4\pi^2} g .$$

Если ввести обозначение $l_1 + l_2 = L$, то получим простое выражение $L = \frac{T^2}{4\pi^2} g$.

Величина L называется **приведённой длиной оборотного маятника**. Её легко найти из опыта, если учесть, что L равно расстоянию между ножами оборотного маятника, в том случае, когда периоды колебаний маятника на первом и на втором ножах оказываются одинаковыми. Таким образом, измеряя период оборотного маятника и его приведённую длину можно найти ускорение свободного падения по формуле:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Общий вид универсального маятника FDM - 14 представлен на рис. 5.

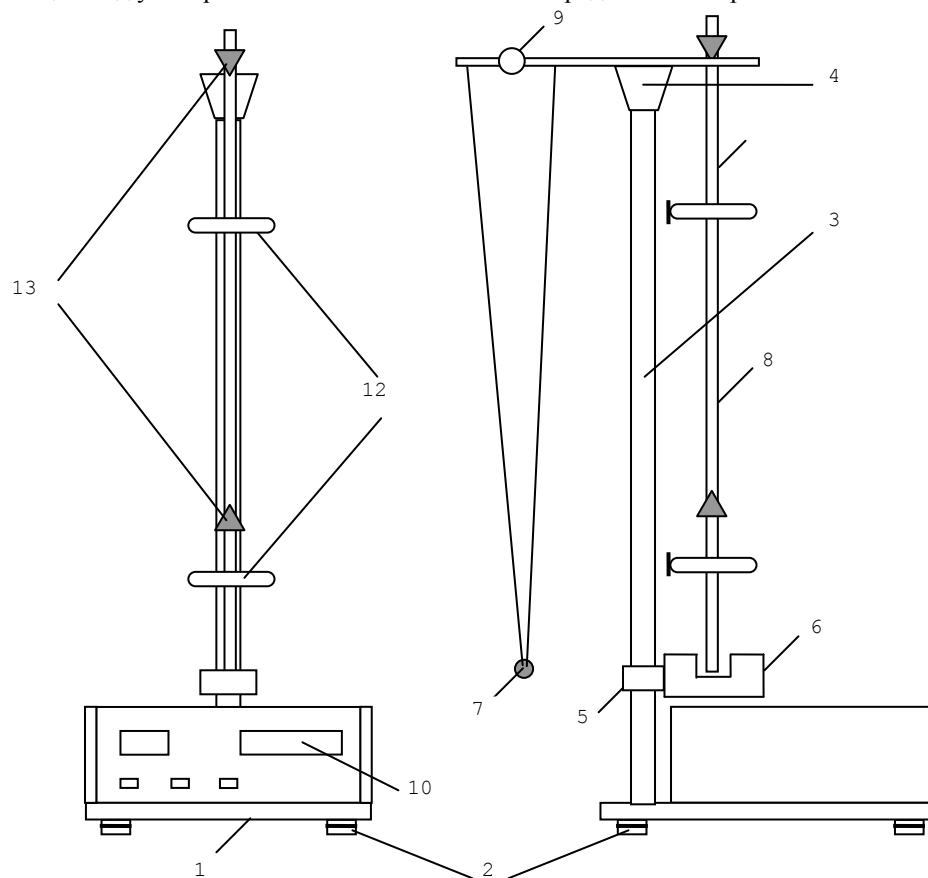


рис.5

Основание 1 оснащено регулируемыми ножками 2, которые позволяют произвести выравнивание прибора. В основании закреплена колонка 3, на которой зафиксирован верхний кронштейн 4 и нижний кронштейн 5 с фотоэлектрическим датчиком 6. После отвинчивания воротка верхний кронштейн 4 можно поворачивать вокруг колонки. С одной стороны кронштейна 4 находится математический маятник 7, с другой стороны на вмонтированных вкладышах расположен оборотный маятник 8.

Длину математического маятника можно регулировать при помощи воротка 9, а ее величину можно определить при помощи шкалы на колонке 3. Оборотный маятник выполнен в виде стального стержня, на котором фиксируются два повернутых друг к другу лезвия ножи 13 и два металлических ролика 12.

На стержне через 10 мм выполнены кольцевые нарезки, служащие для точного определения длины оборотного маятника (расстояние между ножами). Ножи и ролики можно перемещать вдоль стержня и фиксировать в любом положении. Эти элементы были выполнены таким образом, что их размер вдоль стержня кратен 10 мм, а фиксирующие воротки размещены так, чтобы при помощи кольцевых нарезок их можно было наглухо блокировать. Нижний кронштейн вместе с фотоэлектрическим датчиком можно перемещать вдоль колонки и фиксировать в произвольно выбранном положении. Фотоэлектрический датчик соединён разъемом с привинченным к основанию универсальным миллисекундомером.

На передней панели размещены элементы текущего обслуживания прибора, а на задней панели расположено гнездо для подключения фотоэлектрического датчика. В левом окошке передней панели высвечивается цифровой индикатор (считает до 99), который подсчитывает количество полных колебаний (периодов) - n . Это счётчик периодов. В правом окошке передней панели высвечивается второй цифровой индикатор - счётчик времени (считает до 999,999 с).

Упражнение I. Определение ускорения силы тяжести с помощью математического маятника.

Период колебания математического маятника определяется по формуле Гюйгенса $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Отсюда ускорение силы тяжести равно $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Нижний кронштейн 5 вместе с фотоэлектрическим датчиком установите в нижней части колонки, обращая внимание на то, чтобы верхняя грань этого кронштейна опустилась вдоль шкалы не менее чем на 50 см. Затяните вороток, фиксируя фотоэлектрический датчик в заданном положении.

2. Поворачивая верхний кронштейн 4, поместите математический маятник 7 над датчиком 6.

3. Вращая вороток на верхнем кронштейне, установите длину математического маятника - l (длина задается преподавателем). Обратите внимание на то, чтобы черта на шарике была продолжением черты на корпусе фотоэлектрического датчика. Включите прибор кнопкой "Сеть".

4. Отклоните шарик на 4-5° от положения равновесия, нажмите кнопку "Сброс" и отпустите её. При пересечении шариком окошка фотоэлемента счётчик автоматически включается.

5. После того, как в окошке счётчика высветится цифра "9", нажмите клавишу "Стоп". Счётчик досчитает до $n=10$ колебаний и прекратит счёт. Снимите показания счётчика времени.

6. По формуле $T = \frac{t}{n}$ определите период колебаний маятника. Опыт повторите 5 раз.

7. Данные измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1

$N_{изм}$	$T_i, \text{ с}$	$S_T, \text{ с}$	$l, \text{ м}$	$S_l, \text{ м}$	$\langle g \rangle, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$S_g, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
1						
2						
3						
4						
5						
Σ						

8. По формуле $\langle g \rangle = \frac{4\pi^2 l}{\langle T \rangle^2}$ вычислите среднее значение ускорения,

где $\langle T \rangle = \frac{\sum T_i}{5}$ - среднее значение периода колебаний математического маятника.

9. Вычислите дисперсию ускорения свободного падения по формуле:

$$S_g^2 = \left(\frac{4\pi^2}{\langle T \rangle^2} \right)^2 S_l^2 + \left(\frac{-8\pi^2 l}{\langle T \rangle^3} \right)^2 S_T^2 + \left(\frac{8\pi^2 l}{\langle T \rangle^2} \right)^2 S_\pi^2;$$

Величину погрешности длины нити математического маятника S_l определите как приборную погрешность *(в качестве приборной погрешности принимается величина, равная половине цены деления шкалы прибора).*

$$S_l =$$

Погрешность числа π S_π рассчитайте как табличную погрешность *(в качестве табличной погрешности принимается величина, равная половине единицы последнего разряда округлённой табличной величины).*

$$S_\pi =$$

10. Дисперсию времени рассчитайте по формуле $S_T^2 = \frac{\sum (T_i - \langle T \rangle)^2}{4}$.

11. Ответ запишите в виде $g = \langle g \rangle \pm S_g$.

12. Сравните полученный результат с табличным значением $g_T = 9,81 \frac{м}{с^2}$ и сделайте соответствующий вывод.

13. Рассчитайте относительную погрешность измерения по формуле $\varepsilon = \frac{g - g_T}{g_T} \cdot 100\%$.

Упражнение 2. Определение положения центра тяжести физического маятника методом обращения.

Если расстояние между ножами оборотного маятника равно L , то центр инерции может быть найден следующим образом. На основании формулы (6) получим

$$I_1 = \frac{T_1^2}{4\pi^2} mgl, \quad (11)$$

где l - расстояние от центра инерции до точки подвеса, [м]; m - полная масса маятника (2,6 кг).

Если маятник перевернуть и поставить на нож № 2, то период его колебаний изменится, так как изменится момент инерции маятника и расстояние от оси вращения до его центра инерции.

В этом случае момент инерции маятника можно найти по формуле $I_2 = \frac{T_2^2}{4\pi^2} mg(L-l)$ (12)

Согласно теореме Штейнера момент инерции при параллельном переносе оси вращения можно найти из выражения

$$I_1 = I_0 + ml^2, \quad (13)$$

где I_0 - момент инерции относительно оси, проходящей через центр инерции маятника.

Для перевернутого маятника можно записать $I_2 = I_0 + m(L-l)^2$

$$\text{Из формул (11) и (12) получим: } I_2 - I_1 = mL(L-2l) \quad (14)$$

Вычитая (9) из (10) и сравнивая результат с (13), имеем:

$$\frac{1}{4\pi^2} mg \left[(L-l)T_2^2 - lT_1^2 \right] = mL(L-2l), \quad \text{откуда}$$

$$l = \frac{gT_2^2 L - 4\pi^2 L^2}{g(T_1^2 + T_2^2) - 8\pi^2 L} \quad (15)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Нижний кронштейн с фотоэлектрическим датчиком опустите вниз до конца.
2. Поверните верхний кронштейн на 180° . После этого нижний кронштейн приподнимите так, чтобы конец стержня оборотного маятника перекрывал "окошко" фотоэлектрического датчика.
3. Установите закрепление 2-х роликов и 2-х ножей так, как указано на рис. 5. Оборотный маятник удерживает на верхнем кронштейне один из ножей, вставленных в канавку (проверьте!). Этот нож считайте осью № 1.
4. Отклоните маятник на $4-5^\circ$ от положения равновесия, нажмите кнопку "Сброс" и отпустите её.
5. Далее ход выполнения аналогичен пунктам 5, 6, из упражнения 1.
6. Снимите маятник, измерьте расстояние между ножами, переверните его и закрепите на кронштейне на втором ноже, считая его за ось № 2. Повторите опыты согласно пунктам 4 и 5.
7. Данные эксперимента занесите в таблицу 2.

Таблица 2

№ опыта	L , м	T_1 , с	T_2 , с	m , кг	l , м	I_1 , кг·м ²	I_2 , кг·м ²

8. По формулам (15), (11), (12) определите положение центра инерции и моменты инерции маятника относительно каждой оси колебания.

Упражнение 3. Определение ускорения силы тяжести при помощи оборотного маятника.

Земное ускорение, измеренное при помощи оборотного маятника, вычисляется по формуле:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T_0^2}, \quad (16)$$

где L - приведённая длина оборотного маятника (т. е. расстояние между ножами, при котором $T_1 = T_2$)

и T_0 - период оборотного маятника. Величины L и T_0 определяются из опыта следующим образом:

1. Оборотный маятник к концу упражнения 2 закреплён на оси 2, следовательно и период относительно этой оси равен T_2 . Если принять $T_0 = T_1$ (где T_1 - период оборотного маятника на ноже №1 из упражнения 2) и при этом окажется, что $T_2 \neq T_1$, необходимо, снимая маятник с кронштейна (размещение роликов и ножа 1 не менять!) и, перемещая нож 2, добиться того, чтобы T_2 стало равным T_1 . После этого определите приведённую длину оборотного маятника L , подсчитывая число нарезок на стержне (1 деление - 10 мм). Учтите толщину ролика - 20 мм.
3. По формуле (16) определите g .
4. Сравните значения ускорения силы тяжести, полученные в упражнении 3 с табличным значением $g_T = 9,81 \frac{м}{с^2}$.
5. Оцените относительную погрешность измерения: $\varepsilon = \frac{g - g_T}{g_T} \cdot 100\%$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое колебания? Какие виды колебаний Вы знаете?
2. Какие колебания называются гармоническими? Запишите дифференциальное уравнение гармонических колебаний и его решение. Нарисуйте график гармонических колебаний.
3. Дайте определение и раскройте физический смысл следующих понятий: амплитуда, период, частота, фаза.
4. Дайте определения пружинного, математического, физического и оборотного маятников и запишите уравнения для нахождения периодов колебаний этих маятников.
5. Что такое приведённая длина физического и оборотного маятников?

Ответы на контрольные вопросы

1.. **Колебаниями** называются движения или процессы, характеризующиеся определенной повторяемостью во времени.

Различают механические и электромагнитные колебания.

Механическими колебаниями называются механические движения тела, повторяющиеся с течением времени.

(например, колебания маятника, биение сердца и т.п.)

Электромагнитными колебаниями называются повторяющиеся со временем изменения электрического и магнитного полей, происходящие в колебательном контуре.

2.. **Гармоническими** называются колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса или косинуса:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad \text{или} \quad x = A \sin(\omega_0 t + \alpha), \quad (1)$$

где x (икс) - колеблющаяся величина (например, смещение маятника, заряд или напряжение на конденсаторе, сила тока в цепи и т.п.),

A (а) - амплитуда колебания (то есть максимальное отклонение колеблющейся величины от положения равновесия),

ω_0 (омега нулевое) - круговая или циклическая частота колебаний, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

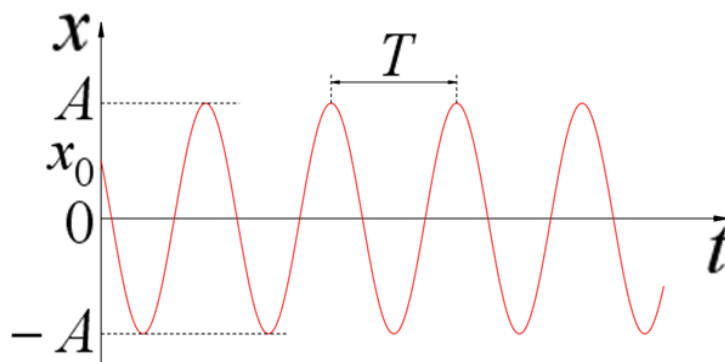
φ (фи) (или α (альфа)) - начальная фаза колебания, рад (радиан),

(это фаза колебания в начальный момент времени $t = 0$ с, она определяет значение колеблющейся величины в момент времени $t = 0$ с),

$\Phi = (\omega_0 t + \varphi)$ - фаза колебаний в произвольный момент времени t , рад ;

(фаза колебания определяет значение колеблющейся величины в данный момент времени t).

График гармонических колебаний



Дифференциальное уравнение гармонических колебаний имеет вид:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0, \quad (2)$$

где x - колеблющаяся величина (например, смещение тела от положения равновесия x , заряд q или напряжение u на конденсаторе, сила тока i в колебательном контуре и т.п.);

$\frac{d^2 x}{dt^2}$ - вторая производная колеблющейся величины x по времени;

ω_0 - собственная циклическая частота колебаний, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

3.. **Амплитудой колебаний** называется максимальное отклонение колеблющейся величины от положения равновесия).

Периодом колебаний T (тэ) называется время одного полного колебания.

$$[T] = c, \text{ секунда.}$$

Частотой колебаний ν (ню) называется величина, равная числу колебаний за одну секунду.

$$[\nu] = \frac{1}{c} \equiv \text{Гц}, \text{ Герц.}$$

Причём

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

Циклической частотой волны ω (омега) называется величина, равная числу колебаний за 2π секунд.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

$$[\omega] = \frac{\text{рад}}{c}, \text{ радиан в секунду.}$$

Фазой колебаний Φ (эф) в произвольный момент времени t называется величина, равная

$$\Phi = (\omega_0 t + \varphi)$$

где ω_0 (омега нулевое) - круговая или циклическая частота колебаний, $\frac{\text{рад}}{c}$ (радиан в секунду)

φ (фи) - начальная фаза колебания, рад (радиан),

(это фаза колебания в начальный момент времени $t = 0$ с, она определяет значение колеблющейся величины в момент времени $t = 0$ с),

$$[\Phi] = \text{рад}, \text{ радиан.}$$

4.. **Маятником** называется твёрдое тело, совершающее механические колебания около неподвижной оси.

Например:

- математический маятник,
- физический маятник,
- пружинный маятник,
- оборотный маятник и др.

Математический маятник

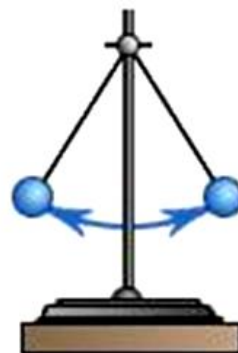
Математическим маятником называется идеализированная система, состоящая из материальной точки массой m , подвешенной на невесомой нерастяжимой нити, совершающей колебания в вертикальной плоскости под действием силы тяжести.

(хорошим приближением математического маятника является небольшой тяжелый шарик, подвешенный на тонкой длинной нити)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} - \text{период колебаний математического маятника,}$$

где l - длина нити маятника, m ;

g - ускорение свободного падения, $\frac{m}{c^2}$.



Пружинный маятник

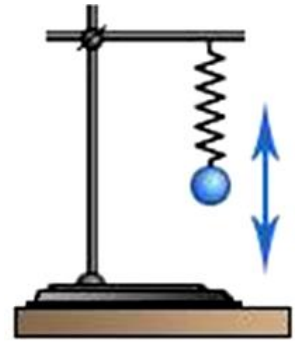
Пружинным маятником называется система, состоящая из груза массой m , прикреплённого к абсолютно упругой невесомой пружине, совершающего колебания под действием упругой силы вида $F = -kx$,

где k - коэффициент жёсткости пружины, $[k] = \frac{H}{M}$;

x - величина деформации пружины, M .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} - \text{период колебаний пружинного маятника,}$$

где k - коэффициент жёсткости пружины, $\frac{H}{M}$; m - масса груза, $кг$.



Физический маятник

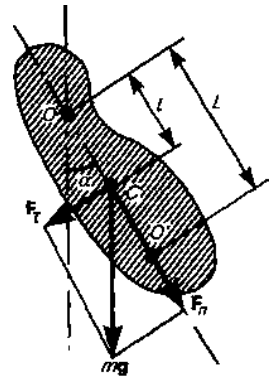
Физическим маятником называется твёрдое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания в вертикальной плоскости вокруг неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через центр масс тела.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}} - \text{период колебаний физического маятника,}$$

Где l - расстояние от центра масс маятника C до оси качания O , M ;

I - момент инерции маятника относительно оси качания, $кг \cdot м^2$;

g - ускорение свободного падения, $\frac{M}{с^2}$; m - масса маятника, $кг$.



Оборотный маятник

Оборотным маятником называется массивное твёрдое тело с двумя перемещающимися вдоль оси маятника трехгранными ножами, способное совершать колебания в вертикальной плоскости под действием силы тяжести вокруг каждого из ножей.

(Оборотный маятник используется для экспериментального определения ускорения свободного падения g).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} - \text{период колебаний оборотного маятника.}$$

где L - приведённая длина оборотного маятника (она равна расстоянию между ножами оборотного маятника, когда период колебаний маятника на каждом из ножей одинаков), M .

g - ускорение свободного падения, $\frac{M}{с^2}$.

5.. **Приведенной длиной физического маятника** L называется длина такого математического маятника $l_{\text{математического}}$, период колебаний которого равен периоду колебаний данного физического маятника, то есть $L = l_{\text{математического}}$.

Приведенную длину физического маятника L можно определить по формуле $L = \frac{I}{ml}$,

где l - расстояние от центра масс маятника до оси качания, M ;

I - момент инерции маятника относительно оси качания, $кг \cdot м^2$;

g - ускорение свободного падения, $\frac{M}{с^2}$; m - масса маятника, $кг$.

