

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.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Общий вид универсального маятника FDM - 14 представлен на рис. 1.

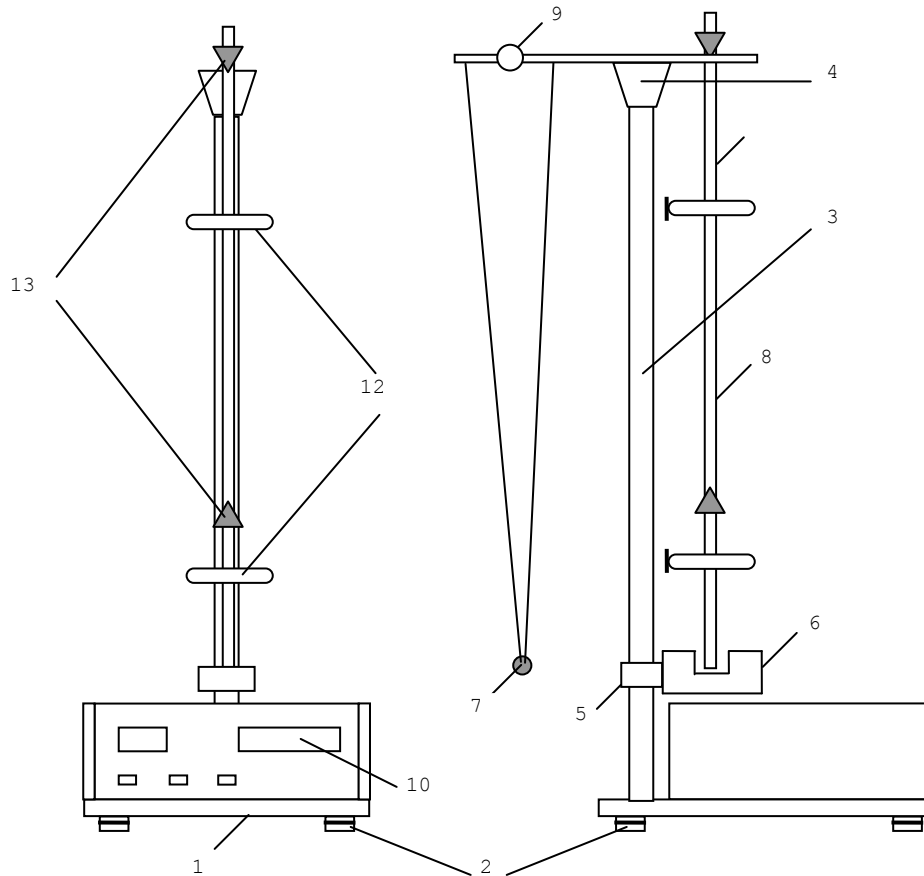


рис.1

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 лезвиями 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 разъёмом 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 1. Определение ускорения свободного падения g с помощью математического маятника

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

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

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЯ

1. Расположите нижний кронштейн 5 вместе с фотоэлектрическим датчиком 6, ножи 13 и два металлических ролика 12 так, как показано на рис.5. Затяните вороток, фиксируя фотоэлектрический датчик в заданном положении.
2. Поворачивая верхний кронштейн 4, поместите математический маятник 7 над фотоэлектрическим 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 $4-5^\circ$ 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, c	S_T, c	l, m	S_l, m	$\langle g \rangle, \frac{m}{c^2}$	$S_g, \frac{m}{c^2}$
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).

$$S_l =$$

Длину нити определяли с помощью миллиметровой линейки.

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

вывод.

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

Если расстояние между ножами оборотного маятника равно L , то положение центра тяжести маятника можно найти по формуле

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

где l - расстояние от центра тяжести оборотного маятника до точки подвеса, m ;

T_1 и T_2 - это периоды колебаний оборотного маятника на ноже №1 (верхний нож на рис.1) и ноже №2 (нижний нож на рис.1), s ;

$g = 9,81 \frac{m}{c^2}$ - ускорение свободного падения.

Моменты инерции маятника I_1 относительно ножа №1 и I_2 относительно ножа №2 можно определить по формулам:

$$I_1 = \frac{T_1^2}{4\pi^2} mgl \quad \text{и} \quad I_2 = \frac{T_2^2}{4\pi^2} mg(L-l),$$

где m - полная масса маятника (2,4 кг).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЯ

1. Поверните верхний кронштейн на 180° . После этого нижний кронштейн приподнимите так, чтобы конец стержня оборотного маятника перекрывал "окошко" фотоэлектрического датчика.
2. Установите два металлических ролика 12 и два ножа 13 так, как указано на рис. 1. Оборотный маятник удерживает на верхнем кронштейне один из ножей, вставленных в канавку (проверьте!). Этот нож считайте №1.
3. Отклоните маятник на $4-5^\circ$ от положения равновесия, нажмите кнопку "Сброс" и отпустите её. При пересечении маятником окошка фотоэлемента счётчик автоматически включается.
4. 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.
5. По формуле $T = \frac{t}{n}$ определите период колебаний маятника. Опыт повторите 5 раз.
6. Данные измерений занесите в таблицу 2.
7. Снимите маятник, измерьте расстояние L между ножами №1 и №2. Переверните его и закрепите на кронштейне на ноже №2. Повторите опыты согласно пунктам 4 и 5.
8. 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

9. По формуле $l = \frac{gT_2^2 L - 4\pi^2 L^2}{g(T_1^2 + T_2^2) - 8\pi^2 L}$ определите положение центра тяжести оборотного маятника.

10. По формулам $I_1 = \frac{T_1^2}{4\pi^2} mgl$ и $I_2 = \frac{T_2^2}{4\pi^2} mg(L-l)$,

определите моменты инерции маятника относительно ножа №1 и ножа №2.

11. Заполните до конца таблицу №2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое колебания? Какие колебания называются гармоническими? Запишите уравнение гармонических колебаний. Нарисуйте график гармонических колебаний.
2. Дайте определение и раскройте физический смысл следующих понятий: амплитуда, период, частота, фаза.
3. Дайте определения пружинного, математического и физического маятников и запишите уравнения для нахождения периодов колебаний этих маятников.

ВНИМАНИЕ: для защиты лабораторной работы необходимо её оформить, провести расчёты согласно результатам эксперимента для Вашей бригады, грамотно заполнить таблицы, проверить размерность формул, грамотно записать ответы и ответить в письменном виде в полном объёме на контрольные вопросы.

Сфотографируйте Вашу работу, а так же ответы на контрольные вопросы, и пришлите фотографии мне на WhatsApp по телефону +79092075972. Я проверю работу, сделаю при необходимости Вам замечания и отвечу.

Не забудьте подписать свою фамилию и Вашу группу.

Номер бригады соответствует последней цифре вашей зачётной книжки.

Упражнение 1. Определение ускорения свободного падения g с помощью математического маятника

Бригада 0 и 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	2,10		1,10			
2	2,13					
3	2,07					
4	2,11					
5	2,09					
Σ						

Бригада 2 и 3

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	2,15		1,15			
2	2,17					
3	2,13					
4	2,14					
5	2,16					
Σ						

Бригада 4 и 5

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	2,05		1,05			
2	2,07					
3	2,04					
4	2,03					
5	2,06					
Σ						

Бригада 6 и 7

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	2,01		1,00			
2	1,99					
3	2,04					
4	2,00					
5	1,98					
Σ						

Бригада 8 и 9

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	2,21		1,20			
2	2,23					
3	2,19					
4	2,20					
5	2,22					
Σ						

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

Бригада 0 и 1

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
	0,40	1,206	0,868	2,4			

Бригада 2 и 3

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
	0,42	1,195	0,897	2,4			

Бригада 4 и 5

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
	0,38	1,212	0,857	2,4			

Бригада 6 и 7

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
	0,39	1,218	0,861	2,4			

Бригада 8 и 9

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
	0,41	1,207	0,889	2,4			

Ответы на контрольные вопросы

(их необходимо переписать в полном объёме со всеми пояснениями)

Колебаниями называются процессы, характеризующиеся определенной повторяемостью во времени.

Колебательные процессы широко распространены в природе и технике, например, качание маятника часов, переменный электрический ток и т. д.

При колебательном движении маятника изменяется координата его центра масс, в случае переменного тока колеблются напряжение и ток в цепи. Физическая природа колебаний может быть разной, поэтому 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.

Гармонические колебания и их характеристики

Осциллятором называется система способная совершать колебания.

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

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

или

$$x = A \sin(\omega_0 t + \alpha), \quad (1.1)$$

где

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

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

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

φ (фи) (или α (альфа)) - начальная фаза колебания (это фаза колебания в начальный момент времени $t = 0$ с),

$[\varphi] = рад$ (радиан);

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

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

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

График гармонических колебаний

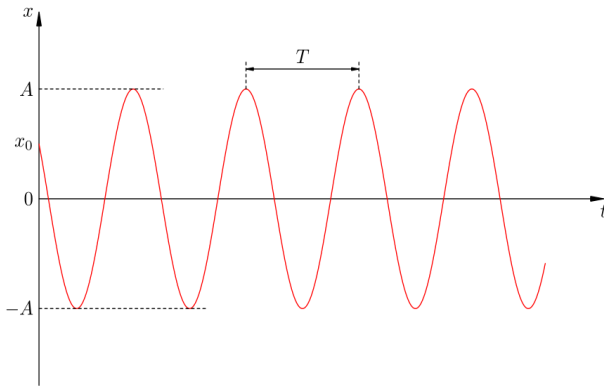


График гармонических колебаний

По графику гармонических колебаний можно определить период колебаний T (см. рис), а, следовательно, линейную частоту колебаний $\nu = \frac{1}{T}$ и циклическую частоту $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

Так же можно определить амплитуду колебаний A (см. рис) и начальную фазу φ . Для этого из рис. для момента времени $t = 0$ с определяем x_0 . В этом случае уравнение гармонических колебаний будет иметь вид

$$x_0 = A \cos \varphi.$$

Следовательно, $\cos \varphi = \frac{x_0}{A}$ или $\varphi = \arccos \frac{x_0}{A}$.

Маятники

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

Например:

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

Периодом колебаний T (тэ) называется время одного полного колебания (то есть это время, через которое система возвращается в исходное состояние).

$$[T] = c, \text{ секунда.}$$

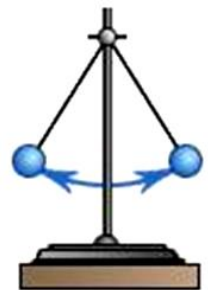
Если сил трения и сопротивления в системе нет, то период колебаний T можно определить по следующим формулам.

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)

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



l - длина нити маятника, M ; g - ускорение свободного падения, $\frac{M}{c^2}$.

Пружинный маятник

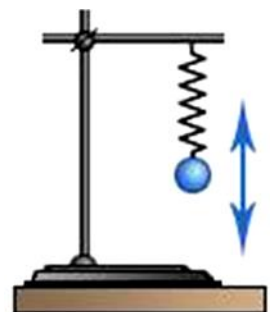
Пружинным маятником называется система, состоящая из грузика массой m , прикрепленного к абсолютно упругой невесомой пружине, совершающего колебания под действием упругой силы вида $F = -kx$,

где k - коэффициент жесткости 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 жесткости пружины, $\frac{H}{M}$; m - масса грузика, KZ .



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, $K\mathcal{Z} \cdot M^2$;

g - ускорение свободного падения, $\frac{M}{c^2}$; m - масса маятника, $K\mathcal{Z}$.