

## Лабораторная работа №03

### Изучение колебаний пружинного маятника

Красноухова В.Н. к.ф.-м.н. доц. кафедры кафедры физики и методики обучения физике ОмГПУ (г. Омск)

**Цель работы:** измерение динамических и кинематических параметров пружинного маятника. Изучение зависимости периода колебаний от начальных условий и свойств колебательной системы. Графическое представление гармонических колебаний.

**Оборудование:** виртуальная лабораторная работа 03. Изучение колебаний пружинного маятника

<http://efizika.ru/html5/03/index.html>

#### Указания к теоретической подготовке

Колебание пружинного маятника при малых амплитудах происходят по гармоническому закону:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (1)$$

где  $x$  - смещение точки от положения равновесия в данный момент времени,  $A$  - амплитуда смещения,  $(\omega t + \varphi_0)$  - фаза колебания,  $\omega$  - циклическая частота,  $t$  - время,  $\varphi_0$  - начальная фаза колебания.

Циклическая частота связана с линейной частотой  $\nu$  формулой:

$$\omega = 2\pi\nu \quad (2)$$

Циклическая частота связана с периодом колебания  $T$  формулой:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

Скорость и ускорение являются гармоническими функциями времени, уравнение для скорости можно получить, взяв производную от выражения (1) по времени. Взяв вторую производную по времени от выражения (1), получим уравнение для ускорения. Амплитуда скорости определяется по формуле:

$$v_{\max} = \omega A \quad (4)$$

Амплитуда ускорения определяется по формуле:

$$a_{\max} = \omega^2 A \quad (5)$$

Смещение  $x$  и скорость  $v$  в любой момент времени зависят от амплитуды и начальной фазы.

Начальные условия определяют состояние колебательной системы в начальный момент времени, их два: начальное смещение и начальная скорость, то есть при  $t = 0$ ,  $x = x_0$  и  $v = v_0$ . Начальную фазу находят, подставив начальное смещение в уравнение колебаний.

Циклическая частота пружинного маятника зависит от параметров системы - массы маятника  $m$  и коэффициента жесткости пружины  $k$ :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6)$$

Период колебаний также может быть рассчитан по известной массе и коэффициенту жёсткости:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (7)$$

Частота колебаний может быть рассчитана по известной массе и коэффициенту жёсткости:

$$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8)$$

### Описание установки и метода измерения

Экспериментальная установка представлена на рисунке. Пружина с грузом на конце (пружинный маятник), закреплённая в штативе, совершает колебания. В левой части установки имеется панель «Параметры установки», на которой можно установить массу груза и коэффициент жёсткости пружины. В средней части установки имеется координатная плоскость, на которой отображается зависимость смещения груза на пружине от времени.



Рис. 1. Экспериментальная установка «Изучение колебаний пружинного маятника»

В нижней части виртуальной установки расположен секундомер, измеряющий время в секундах, на котором есть кнопки «пуск», «пауза» и «сброс». Кнопкой «пауза» можно остановить отсчёт времени в любой момент времени. Справа от секундомера расположен счётчик числа колебаний.

Зная массу груза и жёсткость пружины можно рассчитать период и частоту колебаний по формулам (7) и (8). Затем, заставив маятник колебаться, измерить время  $t$  нескольких колебаний  $N$ , определить период  $T_3 = \frac{t}{N}$  и сравнить его с рассчитанным по формуле (7). Определить частоту  $\nu_3 = \frac{N}{t}$  и сравнить её с частотой, рассчитанной по формуле (8).

В ходе работы необходимо выяснить экспериментально зависимость частоты от массы груза, поэтому измерения делают при разных массах.

## Выполнение эксперимента

### Задание 1. Изучение зависимости периода колебаний от массы маятника

1. Установите параметры пружинного маятника  $m$  и  $k$  в соответствии с вариантом, заданным преподавателем.
2. Рассчитайте теоретическое значение периода колебаний пружинного маятника по формуле (7). Рассчитайте частоту колебаний, используя формулу (8).
3. Запустите установку, нажав на кнопку «пуск». На координатной плоскости будет отображаться зависимость смещения колеблющегося груза от времени. Измерьте время  $t$  нескольких колебаний  $N$ . Для этого нужно нажать на кнопку «пауза», когда отобразится ровно  $N$  колебаний. Вычислите экспериментальное значение периода колебаний:

$$T = \frac{t}{N} \quad (9)$$

Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу 1.

Сравните теоретическое и экспериментальное значение периода.

4. Измените массу маятника на величину шага, заданного преподавателем. Проведите измерение периода для пяти разных масс, отличающихся на величину шага.
5. Проанализируйте полученные результаты. Постройте график зависимости периода колебаний от массы.

Таблица 1. Определение периода колебания маятника при различных массах и неизменном коэффициенте жёсткости

Параметры маятника		Теоретические		Число колебаний	Время колебаний	Экспериментальные	
		период	частота			период	частота
$m$ , кг	$k$ , Н/м	$T$ , с	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$N$	$t$ , с	$T_э$ , с	$\nu_э$ , с <sup>-1</sup>

## **Задание 2. Изучение зависимости периода колебаний от коэффициента жёсткости пружины**

1. Установите параметры пружинного маятника  $m$  и  $k$  в соответствии с вариантом, заданным преподавателем.
2. Рассчитайте теоретическое значение периода колебаний пружинного маятника по формуле (7). Рассчитайте частоту колебаний, используя формулу (8).
3. Запустите установку, нажав на кнопку «пуск». На координатной плоскости будет отображаться зависимость смещения колеблющегося груза от времени. Измерьте время  $t$  нескольких колебаний  $N$ . Для этого нужно нажать на кнопку «пауза», когда отобразится ровно  $N$  колебаний. Вычислите экспериментальное значение периода колебаний:

$$T = \frac{t}{N} \quad (9)$$

Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу 2.

Сравните теоретическое и экспериментальное значение периода.

4. Измените коэффициент жёсткости пружины маятника на величину шага, заданного преподавателем. Проведите измерение периода для пяти коэффициентов жёсткости пружины, отличающихся на величину шага.
5. Проанализируйте полученные результаты. Постройте график зависимости периода колебаний от коэффициента жёсткости пружины

*Таблица 2. Определение периода колебания маятника при различных коэффициентах жёсткости и неизменной массе*

Параметры маятника		Теоретические		Число колебаний	Время колебаний	Экспериментальные	
		период	частота			период	частота
$m$ , кг	$k$ , Н/м	$T$ , с	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$N$	$t$ , с	$T_э$ , с	$\nu_э$ , с <sup>-1</sup>

## **Задание 3. Расчёт погрешности измерения периода колебаний**

1. Определите погрешность измерения секундомера (приборную погрешность).
2. Определите абсолютные случайную и полную погрешности измерения периода.
3. Определите относительную погрешность измерения периода.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие колебания являются гармоническими? Поясните смысл каждой величины, входящей в уравнение (1).
2. От чего и как зависит период колебаний пружинного маятника?

3. От чего и как зависит частота колебаний пружинного маятника?
4. Что понимают под начальными условиями колебаний?
5. Влияют ли начальные условия и амплитуда на период колебаний?

### Литература:

1. *Архангельский М. М.* Курс физики. Механика. – М. : Просвещение, 1975. – 424 с.
2. *Александров Н. В., Яшкин А. Я.* Курс общей физики. Механика. – М.: Просвещение, 1978. – 416 с.
3. *Александров В. Н. и др.* Лабораторный практикум по общей и экспериментальной физике / под ред. Е. М. Гершензона и А. Н. Мансурова. – М. : Академия, 2004. – 464 с.
4. *Бобров П.П.* Основные понятия механики: учебное пособие.– Омск: Изд-во ОмГПУ, 2013.- 180 с.
5. Механика. Часть 1. Механика материальной точки : лабораторный практикум / авт.-сост.: Т.А. Беляева, П.П. Бобров, В.Н. Красноухова. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 2016. – 52 с.
6. Общая физика : руководство по лабораторному практикуму: учеб. пособие для студ. вузов / под ред.: И. Б. Крынецкого, Б. А. Струкова. - М. : ИНФРА-М, 2008. - 598 с.

### Начальные данные по вариантам к заданию 1

Группа	m, кг	Шаг изменения массы $\Delta m$ , кг	k, Н/м	Шаг изменения коэффициента жёсткости $\Delta k$ , Н/м
1	0,5	0,1	4,1	0,5
2	0,55	0,08	4,5	0,4
3	0,6	0,06	5	0,3
4	0,65	0,05	5,5	0,2
5	0,7	0,04	6	0,3