

## Наблюдение колебания нитяного маятника

### Цель работы

Целью работы является демонстрация зависимости периода колебаний математического маятника от длины нити.

### Метод экспериментального исследования явления

В работе используется модель математического маятника, представляющая собой груз небольших размеров, подвешенный на легкой тонкой длинной нити. Горизонтальное смещение маятника измеряется с помощью ультразвукового датчика расстояния. По полученной зависимости смещения от времени определяется период колебаний маятника.

### Теория

*Математический маятник* представляет собой идеализированную модель колебательной системы: материальную точку, подвешенную на легкой тонкой нерастяжимой нити и находящуюся в поле силы тяжести. Движения маятника происходят под действием силы тяжести и силы натяжения нити. Период  $T$  колебаний математического маятника при малых углах отклонения от положения равновесия можно вычислить по формуле

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

где  $l$  — длина нити;  $g$  — ускорение свободного падения.

Если отклонить маятник от положения равновесия на небольшой угол  $\alpha_0$  и отпустить в момент времени  $t = 0$  без начальной скорости ( $v_0 = 0$ ), то угол отклонения нити маятника от вертикали будет изменяться со временем по закону

$$\alpha = \alpha_0 \cos \frac{2\pi}{T} t.$$

Таким образом, малые колебания математического маятника являются *гармоническими*. В эксперименте вместо угла отклонения  $\alpha$  маятника измеряется его горизонтальное смещение  $x$ , которое при малых колебаниях также является гармонической функцией времени:

$$x = x_0 \cos \frac{2\pi}{T} t,$$

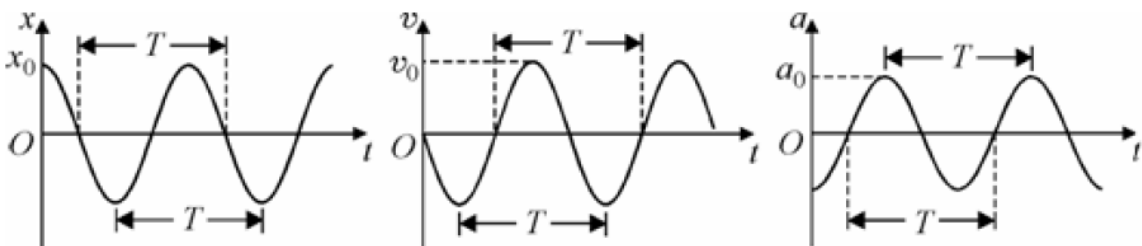
где  $x_0 \approx l\alpha_0$  — максимальное смещение маятника от положения равновесия, *амплитуда колебаний*.

В качестве дополнительного задания рекомендуется продемонстрировать учащимся зависимости от времени скорости и ускорения маятника:

$$v = -v_0 \sin \frac{2\pi}{T} t, \quad a = -a_0 \cos \frac{2\pi}{T} t,$$

где  $v_0$  — амплитудное значение скорости,  $a_0$  — амплитудное значение ускорения.

Ожидаемые зависимости горизонтального смещения маятника и горизонтальных проекций его скорости и ускорения от времени изображены на рисунке.



Зависимости смещения, скорости и ускорения маятника от времени

### Контрольные вопросы

1. При каких условиях в механической системе возникают колебания?
2. Какие колебания называются гармоническими?
3. Как определить период колебаний?
4. Зависит ли период колебаний маятника от угла его начального отклонения?
5. Как зависит период колебаний маятника от длины нити?
6. Будет ли совершать колебания маятник в свободно падающем лифте?

### Оборудование экспериментальной установки

Датчик расстояния

Штатив с крепежом:

высота штатива: 70–100 см;

длина горизонтально закрепленного стержня: 10–20 см.

Набор грузов:

общая масса: 200–300 г;

диаметр: не менее 40 мм.

Нить легкая тонкая нерастяжимая длиной 1,5 м.

Набор грузов:

общая масса: 200–500 г;

минимальная масса: 5–15 г.



### Параметры экспериментальной установки

Длительность проведения эксперимента

Рекомендуется провести по одному опыту для трех–пяти значений длины маятника.

Весь цикл измерений может быть проведен за 3–5 мин.

На обсуждение содержания эксперимента и его результатов, ответы на вопросы во время выполнения измерений и после их окончания отводится 10–30 мин.

### Точность измерений

При строгом следовании рекомендациям разделов «Монтаж и настройка», «Подготовка приборов» и «Методика выполнения эксперимента» данный эксперимент позволяет измерить частоту колебаний маятника с точностью до 2% (до 0,01 Гц).

### Техника безопасности

Во время проведения эксперимента необходимо соблюдать все правила техники безопасности, указанные для персонального компьютера как электрического оборудования.

Используемое измерительное оборудование (система сбора данных, датчик расстояния) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека.

Мощность и частота ультразвука, испускаемого датчиком расстояния, также не представляют опасности для человека.

### Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Штатив с маятником следует устанавливать на демонстрационном столе в месте, позволяющем обеспечить хороший обзор проведения эксперимента для каждого ученика.



Для обеспечения удобства управления демонстрацией эксперимента компьютер необходимо располагать достаточно близко от установки (на расстоянии не более 1,5 м).

Экран компьютера рекомендуется продублировать с помощью проектора.

Для обеспечения наглядности демонстрации период колебаний маятника должен составлять не менее 2 с. Соответственно длина нити (расстояние от точки подвеса до центра масс груза) должна быть не меньше 1 м.

## Монтаж и настройка

Груз подвешивается на нити, верхний конец которой закрепляется на штативе. Расстояние от груза до пола (стола) 1–2 см. Датчик расстояния размещается на одной высоте с грузом (при положении равновесия маятника) так, чтобы зона действия датчика была направлена горизонтально. Расстояние от датчика до груза 30–40 см (в крайнем положении маятника расстояние от датчика до груза должно быть не менее 20 см). Период колебаний маятника длиной 1,5 м составляет 2,4 с. При частоте следования ультразвуковых импульсов, излучаемых датчиком, равной 40 Гц, за период колебаний маятника фиксируется около 100 значений координаты груза.

## Подготовка приборов

Перед началом проведения эксперимента необходимо выполнить следующее:

Внимательно прочитайте инструкции, подготовьте необходимое оборудование, соберите установку в соответствии с разделом «Монтаж и настройка».

Запустите программу ИШП.

Выберите эксперимент **Наблюдение колебаний тел** в разделе «Механика».

Подключите систему сбора данных SensorLab к компьютеру с помощью USB кабеля. Убедитесь, что сообщение **Система сбора данных SensorLab не подключена** в верхней части экрана отсутствует.

Подключите датчик расстояния к цифровому входу системы сбора данных.

Убедитесь, что датчик правильно регистрирует расстояние до ближайшего объекта (расположенного не ближе 20 см).

## Методика выполнения эксперимента

### Проведение измерений

Измерьте длину нити и введите ее значение в поле Длина нити области Теоретический расчет (для расчета теоретического значения периода колебаний).

Отклоните маятник от положения равновесия на 5–10 см и отпустите его без начальной скорости.

Нажмите кнопку Пуск. На экран дисплея выводится график измеренной зависимости смещения груза от времени за время, равное 10 с. Когда время регистрации превысит 10 с, на экране появится аппроксимирующая синусоида. Значения периода (в с) и амплитуды (в см) синусоиды отображаются в соответствующих полях.

**Внимание!** Проводя измерения, следите за тем, чтобы датчик расстояния находился в плоскости колебаний маятника. Вследствие незначительных ошибок при задании начальных условий плоскость колебаний маятника через некоторое время может повернуться, и маятник выйдет из зоны действия датчика. В этом случае правильная регистрация расстояния невозможна.

Период и амплитуда аппроксимирующей синусоиды также могут быть измерены на графике с помощью курсора. Для этого:

Чтобы остановить измерения, нажмите кнопку **Стоп**.

Нажмите кнопку **Установка зоны показа** на верхней панели

Установите интервал графика от первого максимума синусоиды, запишите его координаты по оси абсцисс (в с), отображаемые в поле **Время**.

Мышь передвиньте курсор графика ко второму максимуму синусоиды, запишите новые координаты по оси абсцисс (в с).

Вычислите период колебаний маятника по разности полученных значений.

Занесите значение длины нити (в м), теоретическое значение периода колебаний (в с), измеренные значения периода (в с) и амплитуды (в см) колебаний в **Таблицу данных** нажатием кнопки **Добавить**.



### Анализ результатов

Теоретическое значение периода колебаний маятника рассчитывается автоматически по длине подвеса и заносится в поле Период области Теоретический расчет. Значения периода и амплитуды аппроксимирующей синусоиды отображаются в соответствующих полях Период и Амплитуда области Измерения. Никаких дополнительных действий для проведения анализа не требуется.

### Повторные измерения

Измените длину нити маятника.

Проведите измерения и обработку по пунктам 1–4 «Проведения измерений».

Проведя несколько опытов с нитями различной длины, обратите внимание учащихся на то, как период малых колебаний маятника зависит от этой величины, и продемонстрируйте хорошее совпадение полученных экспериментальных значений периода колебаний математического маятника с теоретическими значениями.

### Дополнительное задание

В программе предусмотрена возможность вывода на экран дисплея зависимостей скорости и ускорения маятника от времени (вкладка Скорость и ускорение), полученных по измеренной зависимости от времени его смещения. Анализ этих зависимостей позволит проиллюстрировать периодическую повторяемость всех величин, характеризующих колебательное движение, закон сохранения механической энергии при свободных колебаниях и т. п.