

Демонстрация свободных колебаний груза на пружине

Цель работы

Целью работы является изучение зависимости периода колебаний пружинного маятника, совершающего колебания в вертикальном направлении, от массы груза и жесткости пружины.

Метод экспериментального исследования явления

В работе с помощью оптоэлектрического датчика измеряется период вертикальных колебаний груза, подвешенного на пружине. Используется несколько грузов разной массы и несколько пружин разной жесткости, что позволяет получить зависимость периода колебаний от массы груза и жесткости пружины.

Теория

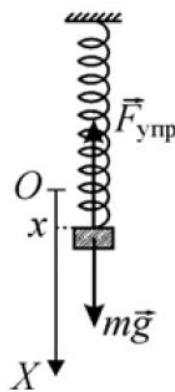


Рис. 1. Силы, действующие на тело, совершающее колебания на пружине

Рассмотрим тело небольших размеров, подвешенное на пружине. Силы, действующие на тело, изображены на рисунке 1, где mg — сила тяжести (m — масса тела), а $F_{упр}$ — сила упругости, возникающая при растяжении пружины. Будем считать деформации растяжения упругими. Тогда согласно закону Гука $F_{упр} = -k\Delta x$, где k — жесткость пружины; Δx — ее абсолютное удлинение.

В положении равновесия $F_{упр} + mg = 0$, или $kx_0 = mg$. Следовательно, в положении равновесия

$$x_0 = \frac{mg}{k}.$$

пружина растянута на величину

При анализе движения тела будем пренебрегать влиянием сил сопротивления, действующих на него. Направим координатную ось Ox вертикально вниз, а за начало отсчета примем ту точку на оси, которая определяет положение тела, находящегося в равновесии. В этой системе проекция силы упругости, действующей на тело с координатой x , равна $(F_{упр})_x = -k(x + x_0)$. Уравнение движения тела

(согласно второму закону Ньютона) имеет вид $mx'' = mg - k(x + x_0)$ или $x'' + \frac{k}{m}x = 0$, где x'' — вторая производная координаты по времени. Это уравнение описывает гармонические колебания тела с

круговой частотой $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ и периодом $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

Отметим, что период вертикальных колебаний тела, подвешенного на пружине, совпадает с периодом колебаний этого же тела на той же пружине в случае, когда тело с отверстием надето на гладкий горизонтальный стержень, а свободный конец пружины прикреплен к неподвижной опоре.

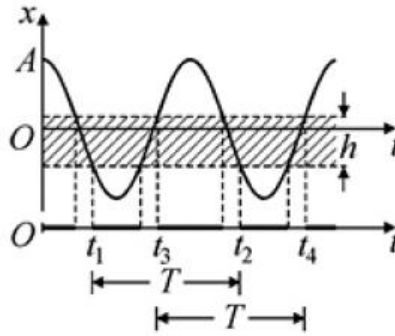


Рис. 2. К измерению периода колебаний тела, подвешенного на пружине

График зависимости координаты колеблющегося тела от времени изображен на рисунке 2. Заштрихованной областью на этом графике обозначена «мертвая зона» оптоэлектрического датчика — диапазон таких значений координаты тела, при которых оно полностью перекрывает луч, идущий от светодиода к приемнику инфракрасного излучения (фотодатчику). На вспомогательной оси O , расположенной в нижней части рисунка, толстыми линиями отмечены интервалы времени, в течение которых фотодатчик принимает луч, испускаемый светодиодом. Из рисунка видно, что измерения периода колебаний тела с помощью оптоэлектрического датчика возможны, если амплитуда колебаний A превышает вертикальный размер тела h .

При выполнении этого условия период колебаний T может быть определен, например, как промежуток времени между моментами времени t_1 и t_2 или t_3 и t_4 . Поскольку оптоэлектрический датчик формирует электрические импульсы как при попадании луча, испускаемого светодиодом, на фотодатчик, так и при его прерывании, для определения периода колебаний тела достаточно измерить временной интервал между четырьмя последовательно поступающими с оптоэлектрического датчика импульсами.

Контрольные вопросы

1. Какие колебания называют гармоническими?
2. Как связаны между собой циклическая частота и период колебаний?
3. Как зависит период колебаний тела, подвешенного на пружине, от массы тела?
4. Как зависит период колебаний тела, подвешенного на пружине, от жесткости пружины?
5. Будет ли совершать колебания тело, подвешенное на пружине, в условиях невесомости?
6. Изменится ли период колебаний тела, скользящего без трения по горизонтальному стержню и соединенного пружинкой с неподвижной стенкой, если подвесить это тело на той же пружине и привести его в движение в вертикальном направлении?

Оборудование экспериментальной установки

Датчик оптоэлектрический: точность измерений: 1 мкс.

Штатив с крепежом:

высота штатива не менее 100 см;

длина горизонтально закрепленного стержня: 10–20 см.

Набор пружин:

жесткость: 1–10 Н/м;

длина: 10–20 см.

Набор грузов общей массой 200–500 г.

Параметры экспериментальной установки

Длительность проведения эксперимента

Рекомендуется провести не менее девяти опытов: для трех разных пружин и для трех разных грузов. Весь цикл измерений может быть проведен за 4–6 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 период колебаний груза с точностью до 0,01 с (в диапазоне 0–4 с).

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 оптоэлектрический) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека.

Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Опыт следует проводить 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 значения жесткости используемых пружин и значения масс грузов должны различаться на значительную величину (30–50%).

Монтаж и настройка

К штативу, установленному на столе, прикрепляется пружина с подвешенным на ней грузом известной массы. На вертикальной штанге штатива на уровне груза, находящегося в положении равновесия, с помощью зажима закрепляется оптоэлектрический датчик. Датчик должен располагаться так, чтобы груз находился примерно посередине створа датчика между светодиодом и фотоприемником. Место подвеса груза при его смещении от положения равновесия вниз не должно перекрывать зону действия датчика.

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 **SensorLab ПО**.

Подключите систему сбора данных SensorLab к компьютеру с помощью USB кабеля.

Подключите датчик оптоэлектрический к цифровому входу системы сбора данных.

Методика выполнения эксперимента

Проведение измерений

Введите значение массы груза в поле **Масса груза**. В поле **Текущая пружина** отобразится порядковый номер используемой в опыте пружины.

Сместите груз вертикально вниз от положения равновесия на 3–5 см и отпустите его.

Нажмите кнопку **Пуск**. При этом программа начинает отсчет импульсов, поступающих с оптоэлектрического датчика, и определение периода колебаний груза.

Полученное значение периода (в с) отображается в поле **Период**. На графике **Период - Масса** появляется точка, соответствующая текущим значениям периода колебаний груза и его массы.

Внимание! Правильное определение периода колебаний возможно только при выполнении следующих условий: 1) амплитуда колебаний груза превышает его вертикальный размер; 2) при движении груза вверх-вниз от положения равновесия инфракрасный луч, испускаемый светодиодом, не прерывается и беспрепятственно попадает на приемник инфракрасного излучения (фотодатчик).

Проведите не менее трех измерений по пунктам 1–3, используя грузы разной массы.

Перед каждым новым измерением перемещайте оптоэлектрический датчик в положение, соответствующее новому положению равновесия груза. При каждом новом измерении на графике **Период–Масса** добавляются точки. После проведения трех измерений по совокупности этих точек



строится аппроксимирующая кривая вида $T = a m$, где a — коэффициент пропорциональности. Рассчитанная по этой зависимости жесткость пружины отображается в поле **Жесткость**.

Примечание. При необходимости аппроксимацию зависимости периода колебаний от массы груза можно уточнить, продолжая проводить измерения с текущей пружиной. При добавлении новых данных аппроксимирующая кривая на графике **Период–Масса** будет проводиться через все измеренные точки заново. В поле **Жесткость** будет выводиться уточненное значение жесткости текущей пружины

Анализ результатов

Проанализируйте измеренную зависимость периода колебаний от массы груза. Предложите учащимся дать качественное объяснение этой зависимости.

Повторные измерения

Выберите для измерений новую пружину и подвесьте на ней один из грузов, использовавшихся в предыдущем опыте. Переместите оптоэлектрический датчик в положение, соответствующее положению равновесия груза. Нажмите на кнопку **Добавить линию**. При этом номер пружины в поле **Текущая пружина** увеличится на единицу.

Повторите измерения по пунктам 1–4 раздела «Проведение измерений». Результаты измерений и аппроксимирующие зависимости для новой пружины будут отображаться на графике **Период–Масса** одновременно с уже имеющимися данными.

В поле **Жесткость** будет занесена жесткость новой пружины.

Проведите измерения для двух-трех пружин.

Примечание. Если измерения, проведенные с какой-либо пружиной, окажутся неудачными, выберите номер этой пружины в поле **Текущая пружина** и нажмите кнопку **Удалить данные**. Соответствующая кривая на графике **Период–Масса** будет удалена, поле **Жесткость** также очистится.

Анализ результатов

Проанализируйте аппроксимирующие кривые на графике **Период–Масса**. Обратите внимание учащихся на то, что эти кривые соответствуют пружинам разной жесткости. Предложите учащимся сделать вывод о том, как зависит период колебаний груза от жесткости пружины.

Справка

Принцип работы датчика оптоэлектрического

Датчик оптоэлектрический выполнен в виде П-образной рамки. Он состоит из оптического излучателя (светодиода) и приемника инфракрасного излучения (фотодатчика), которые установлены напротив друг друга на одной оптической оси. Если поместить в промежуток между излучателем и приемником (в створ датчика) непрозрачный объект, луч, испускаемый светодиодом, перестает попадать на фотодатчик, что приводит к изменению значения логического сигнала на выходе датчика. Формируемые датчиком цифровые импульсы измеряются платой сбора данных SensorLab: с их помощью можно определить период или частоту следования импульсов, их длительность и т. д.