

Лабораторная работа №6

Изучение колебаний груза на пружине.

Цели работы:

- Получить зависимость координаты и силы упругости от времени.
- Исследовать зависимость периода колебаний от параметров колебательной системы.

Проблемные вопросы:

- Как изменится график зависимости координаты груза от времени при изменении массы груза в два раза?
- Как изменится график зависимости силы упругости пружины от времени при удлинении пружины в два раза?

Теоретическое введение.

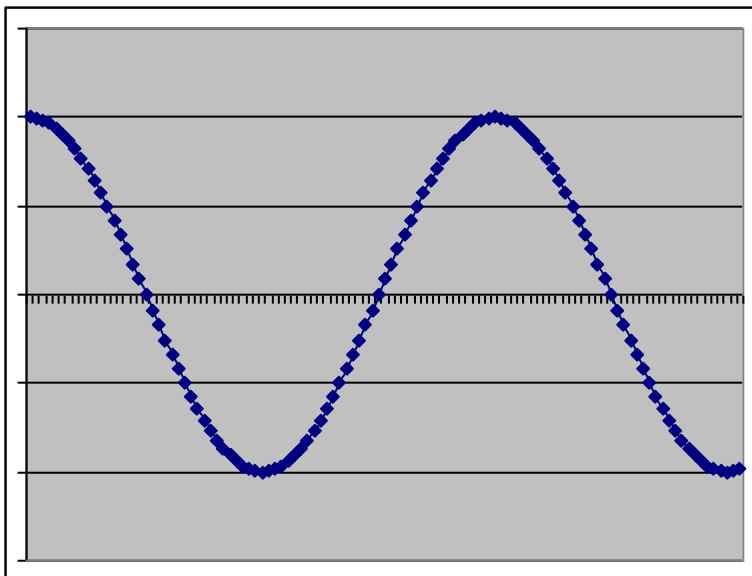
Колебаниями называются явления, имеющие разную природу, но объединенные по признаку общности характера изменения физических величин с течением времени $x=f(t)$.

Колебанием называется изменение состояния системы, которое многократно повторяется через некоторые промежутки времени.

Основные величины, характеризующие колебание, - *амплитуда* и *период* (или *частота*).

Амплитуда – модуль x величины наибольшего отклонения тела от положения равновесия.

Период – наименьший промежуток времени T (в секундах), по истечении которого повторяются значения изменяющейся физической величины (например координаты $x(t)=x(t+T)$) (см. рис.1)



Частота – f – число колебаний в секунду (измеряется в Герцах – Гц).
Частота и период связаны соотношением: $T=1/f$.

Свободными колебаниями называют колебания, которые совершает система после однократного выведения ее из положения устойчивого равновесия; период свободных колебаний определяется параметрами самой колебательной системы.

Особое место среди различных видов колебаний занимают гармонические колебания, т. е. колебания, совершающиеся по закону для координаты $x = x_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$, или $x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$, где x – периодически изменяющаяся величина координаты тела, t – время, x_0 , φ_0 и ω – постоянные величины.

$\varphi = (\omega t + \varphi_0)$ – фаза колебания, φ_0 – начальная фаза, ω – циклическая частота.

В данной работе мы будем исследовать механические колебания – колебания материальной точки (груза) на упругой пружине.

Если масса пружины много меньше массы груза, то ею можно пренебречь – такая система называется пружинным маятником; при выведении пружинного маятника из положения равновесия, возникают свободные гармонические колебания. Как определить период колебания? От чего он зависит? Как меняется величина силы упругости в процессе свободных колебаний? На эти вопросы можно ответить в результате выполнения лабораторной работы.

Рассмотрим вертикальное движение груза, которое будет происходить под действием силы упругости пружины и силы тяжести (трение, сопротивление движению отсутствуют).

Пока груз покоится справедливо выражение:

$$mg = F_{\text{упр}} \quad (1)$$

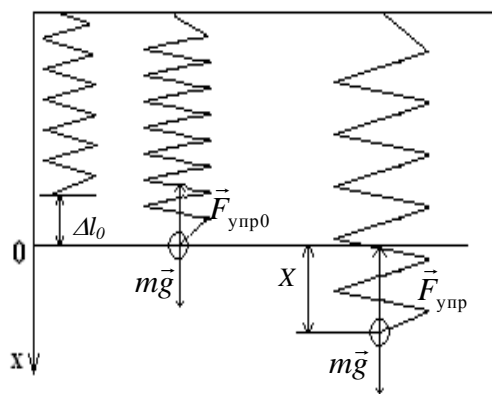


Рис.1

Используя закон Гука, получим:

$$mg = k \Delta l_0 \quad (2)$$

где m – масса груза, k – коэффициент жесткости, а Δl_0 – начальная деформация пружины.

Выведем систему из равновесия, потянув груз вниз. Второй закон Ньютона в этом случае (рис.1) запишется так:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{упр}} \quad (3)$$

Пружинный маятник при этом совершает гармонические колебания с амплитудой x_0

(см. рис.1) по закону $x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$. (4).

В формуле (4) ω – циклическая частота колебаний.

Период колебания пружинного маятника можно рассчитать по формуле:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (5)$$

Если удлинить пружину в n раз, то ее жесткость уменьшится в n раз. Из (4) видно, что при удлинении пружины период колебаний координаты возрастает в \sqrt{n} .

Поскольку сила упругости при небольших деформациях пружины подчиняется закону Гука, то закон, по которому будет меняться модуль силы упругости при колебаниях пружинного маятника, примет вид:

$$F_{\text{упр}} = kx = kx_0 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (6)$$

Оборудование:

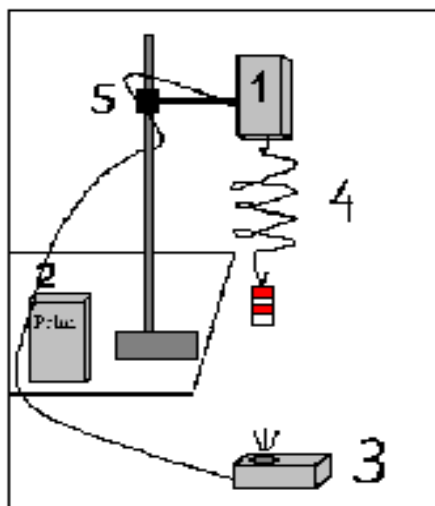


Рис. 2

- 1 - датчик силы (калибровка 10Н)
- 2 – Регистратор NOVA
- 3 - датчик расстояния
- 4 - пружина с грузом
- 5 - штатив с муфтой и лапкой

На краю стола стоит штатив 5. На кронштейне штатива закреплен цифровой датчик силы 1. К нему крепят пружину 4 заданной длины с грузом заданной массы. Под пружиной (на расстоянии не менее 60см от груза) установлен цифровой датчик расстояния 3. Датчики 1 и 3 подключают к Регистратору(2)

Внимание! Перед началом опыта убедиться, что груз попадает в «поле зрения» датчика расстояния 3.

Для исследования влияния жесткости пружины на период колебания груза необходимо иметь две пружины с одинаковым числом витков и два груза одинаковой массы.

Поскольку в установке датчик расстояния направлен вверх, следовательно, воображаемая ось X направлена тоже вверх. Чтобы определить амплитуду колебаний достаточно определить *размах колебаний* ($x_{\max} - x_{\min}$) и разделить эту величину пополам $x_0 = (x_{\max} - x_{\min})/2$

Порядок выполнения работы

- 1) Запишите данные установки:
 - а) пружина с числом витков: $N_1 =$;
 - б) масса одного груза $m_0 = 102\text{г}$;
- 2) Закрепите пружину с числом витков: N_1 на крючке датчика силы 1 (см. рис.2), закрепите на пружине тело массы m_0 ;
- 3) **Подготовьте NOVA** для проведения опыта:
 - настройте опыт на 20 измерений в секунду.
- 4) Выведите маятник из положения равновесия на $X_0 \sim 3\text{-}5\text{ см}$;

Убедитесь, что графики зависимости силы от времени и координаты от времени – гладкие синусоиды (см. рис.3). Результат покажите преподавателю и сохраните результаты опыта так , чтобы были записаны не менее трех полных периодов колебаний груза.

5) Занесите в таблицу №1 по три значения периода колебаний силы и координаты, по три значения амплитуды координаты и амплитуды силы.

6) Закрепите тело массой $2m_0$ на пружине с числом витков N_1 , назовите следующий опыт «пружина 1+2».Повторите п.3-5 с новыми данными установки и результаты занесите в таблицу №2.

7) Закрепите тело массы m_0 на двух пружинах соединенных последовательно, то есть на пружине с числом витков $2 N_1$, назовите следующий опыт « пружина 2+1». Повторите п. 3-5 с новыми данными установки результаты занесите в таблицу №3.

8) Закрепите тело массы $2m_0$ на двух пружинах соединенных последовательно, то есть на пружине с числом витков $2 N_1$, назовите следующий опыт « пружина 2+2». Повторите п. 3-5 с новыми данными установки, результаты занесите в таблицу №4.

9) Выберите опыт « пружина1+1» и занесите в таблицу №5 произвольные пары соответствующих значений $F_{упр}$ и x в течение одного периода.

10) Выберите опыт « пружина 2+1» и занесите в таблицу №6 произвольные пары соответствующих значений $F_{упр}$ и x в течение одного периода.

Таблица №1. Результаты измерений периодов силы и координаты .

Данные установки : пружина с числом витков: $N_1=$; масса одного груза $m_0=102г$;

Период координаты $T_k, с$	Период силы, $T_c, с$
$T_{k\text{ ср}}$	$T_{c\text{ ср}}$

Таблица №2. Результаты измерений периодов и силы и координаты .

Данные установки : пружина с числом витков: $n_1=$; масса двух грузов $2m_0=204г$;

Период координаты $T_k, с$	Период силы, $T_c, с$

$T_{к\text{ ср}}$	$T_{с\text{ ср}}$

Таблица №3. Результаты измерений периодов силы и координаты .
 Данные установки : пружина с числом витков: $2n_1=$; масса одного груза $m_0=102\text{г}$;

Период координаты $T_{к}, \text{с}$	Период силы, $T_{с}, \text{с}$
$T_{к\text{ ср}}$	$T_{с\text{ ср}}$

Таблица №4. Результаты измерений периодов силы и координаты .
 Данные установки : пружина с числом витков: $2n_1=$; масса двух грузов $2m_0=204\text{г}$;

Период координаты $T_{к}, \text{с}$	Период силы, $T_{с}, \text{с}$
$T_{к\text{ ср}}$	$T_{с\text{ ср}}$

Таблица №5. Значения силы упругости и координаты по результатам опыта « пружина 1+1»

$F_{\text{упр}}$							
x							

Таблица №6. Значения силы упругости и координаты по результатам опыта « пружина 2+1»

$F_{\text{упр}}$							
x							

Обработка результатов измерений

1.Сравните значения периодов колебаний $F_{\text{упр}}$ и x при различных длинах пружины и массах грузов;

Сделайте вывод о зависимости периода изменения координаты тела и силы упругости пружины и амплитуды колебаний сил упругости от параметров колебательной системы;

2. В ходе эксперимента вы одновременно определяете силу, действующую на пружину, и положение груза. Сила упругости, возникающая в пружине в процессе колебаний, связана с удлинением пружины x законом Гука: $F=kx$ и тоже изменяется по гармоническому закону. Постройте графики зависимостей $F=f(x)$ (выбрав пары значений F и x для семи моментов времени в течение одного периода колебаний из таблицы №5 и таблицы №6) по данным опытов с пружинами N_1 и N_2 ;

- на миллиметровой бумаге или бумаге в клеточку размером 10 на 14 см нанесите оси координат: по горизонтали - координата (x), по вертикали - сила $F_{упр}$, обозначьте единицы измерения;
- выберите масштабы - так, чтобы
 - 1) можно было нанести все экспериментальные точки;
 - 2) рационально использовать площадь листа;
 - 3) у каждого сантиметрового деления стояли цифры из рекомендуемых наборов: 0,1,2,3... или 0,2,4,6... или 0, 5, 10, 15...
- на подготовленное поле нанесите все полученные экспериментальные точки;
- с помощью линейки проведите линию графика $F=f(x)$ так, чтобы она прошла через экспериментальные точки или чтобы по обе стороны линии оказалось примерно одинаковое число точек.

3. По графикам п.2 определите значения k_1 и k_2 коэффициентов жесткости пружин с разным числом витков по формуле: $k=\Delta F/\Delta x$.

Поскольку для построения вы проводили линию графика так, чтобы она прошла через экспериментальные точки или чтобы по обе стороны линии оказалось примерно одинаковое число точек, то можно считать найденное значение средним значением $k_{ср}$.

4. Рассчитайте погрешность для первого графика, для величины k_1

Для расчета погрешности измерения силы можно принять относительную погрешность датчика силы $\varepsilon_f = 0.05$

Для расчета погрешности измерения расстояния можно принять относительную погрешность датчика расстояния $\varepsilon_x = 0.05$

Так как $k = \Delta F/\Delta x$, следовательно, относительная погрешность коэффициента жесткости $\varepsilon_k = \varepsilon_f + \varepsilon_x$. Зная ε_k рассчитайте абсолютную погрешность измерения коэффициента жесткости.

Ответ представьте в стандартном виде в системе СИ.

$$k = k_{ср} + \Delta k$$

Сравните значения k_1 и k_3 . Сделайте вывод.