

Лабораторная работа № 1.3

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

1.3.1. Цель работы

Целью работы является исследование движения тела под действием квазиупругой силы с использованием моделей математического и пружинного маятников, изучение зависимости периода (частоты) колебаний от параметров этих систем и экспериментальное определение ускорения свободного падения и массы пружинного маятника.

1.3.2. Краткая теория

Колебание – любой физический процесс, характеризующийся той или иной повторяемостью в пространстве и времени.

Простейшим видом периодических колебаний являются *гармонические колебания* – колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса или косинуса.

При механических гармонических колебаниях зависимость координаты x от времени t задается уравнением

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1.3.1)$$

где A – максимальное значение колеблющейся величины, называемое амплитудой колебаний;

ω_0 – циклическая частота собственных колебаний, число полных колебаний, совершаемых телом за 2π секунд;

$(\omega_0 t + \varphi_0)$ – периодически изменяющийся аргумент косинуса, называемый фазой колебаний;

φ_0 – начальная фаза колебаний в момент времени $t = 0$.

Периодом колебания T называется минимальное время, через которое движение тела полностью повторяется. За это время совершается одно полное колебание.

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}. \quad (1.3.2)$$

Частотой колебания ν называется величина, обратная периоду.

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (1.3.3)$$

Это число полных колебаний, совершаемых в единицу времени.

Тогда циклическая частота колебаний

$$\omega_0 = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}. \quad (1.3.4)$$

Дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0, \quad (1.3.5)$$

а для свободных затухающих колебаний –

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0, \quad (1.3.6)$$

где β – коэффициент затухания.

Математический и пружинный маятники – это модели объектов, в которых могут происходить гармонические колебания.

Математический маятник – материальная точка массой m , подвешенная на невесомой нерастяжимой нити и колеблющаяся под действием силы тяжести.

Период колебаний математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}, \quad (1.3.7)$$

где ℓ – длина маятника.

Пружинный маятник – это груз массой m , подвешенный на абсолютно упругой пружине и совершающий гармонические колебания под действием упругой силы

$$F = -kx, \quad (1.3.8)$$

где k – жесткость пружины.

Период колебания пружинного маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (1.3.9)$$

1.3.3. Порядок выполнения работы

Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите «Механика», «Механические колебания и волны», «Свободные колебания (маятник)» и «Свободные колебания (груз на пружине)». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения по обоим моделям. Закройте окна теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Внимательно рассмотрите рисунки 1.3.1 и 1.3.2, найдите все регулируемые величины и запишите их в соответствующую таблицу в отчете (см. с. 6).

1. Математический маятник

Выберите «Свободные колебания (маятник)». Установите с помощью движков — регуляторов максимальную длину нити L и значения коэффициента затухания и начального угла, указанные в табл. 1.3.1 для вашей бригады.

Нажимая мышью на кнопку «Старт», следите за движением точки на графиках угла и скорости, и за поведением маятника. Потренируйтесь, останавливая движение кнопкой «Стоп» (например, в максимуме смещения) и запуская далее кнопкой «Старт».

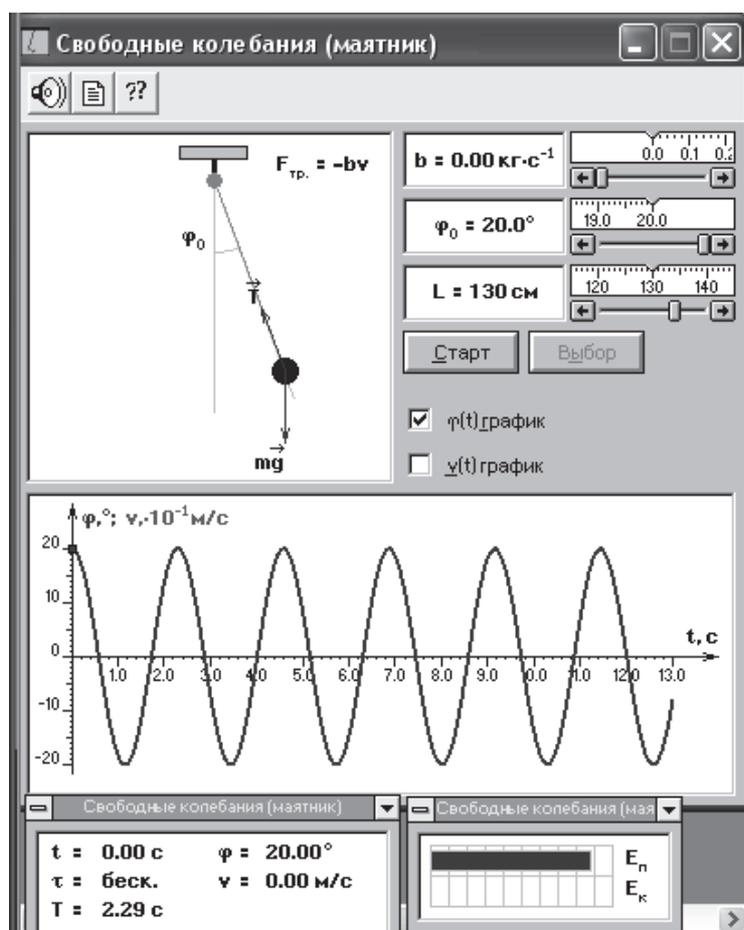


Рис. 1.3.1. Математический маятник

Приступайте к измерениям времени t , за которое совершается $N = 5$ полных колебаний, начиная с максимальной длины (150 см) нити маятника и уменьшая ее каждый раз на 10 см (до минимальной длины 80 см). Длину нити L и результаты измерений времени t колебаний записывайте в табл. 1.3.2.

Измерения удобнее выполнить в пошаговом режиме. Дождитесь, когда точка на графике окажется вблизи пятого максимума, и нажмите кнопку «||». Затем, последовательно нажимая кнопку «▶|», установите точку на максимум. Для завершения эксперимента нажмите кнопку «▶▶▶».

2. Пружинный маятник

Выберите «Свободные колебания (груз на пружине)». Установите

массу груза, значение коэффициента затухания и начальное смещение, указанные в табл. 1.3.1 для вашей бригады. Проведите измерения, аналогичные первому эксперименту, увеличивая коэффициент жесткости k каждый раз на 1 Н/м. Результаты измерений запишите в табл. 1.3.3.

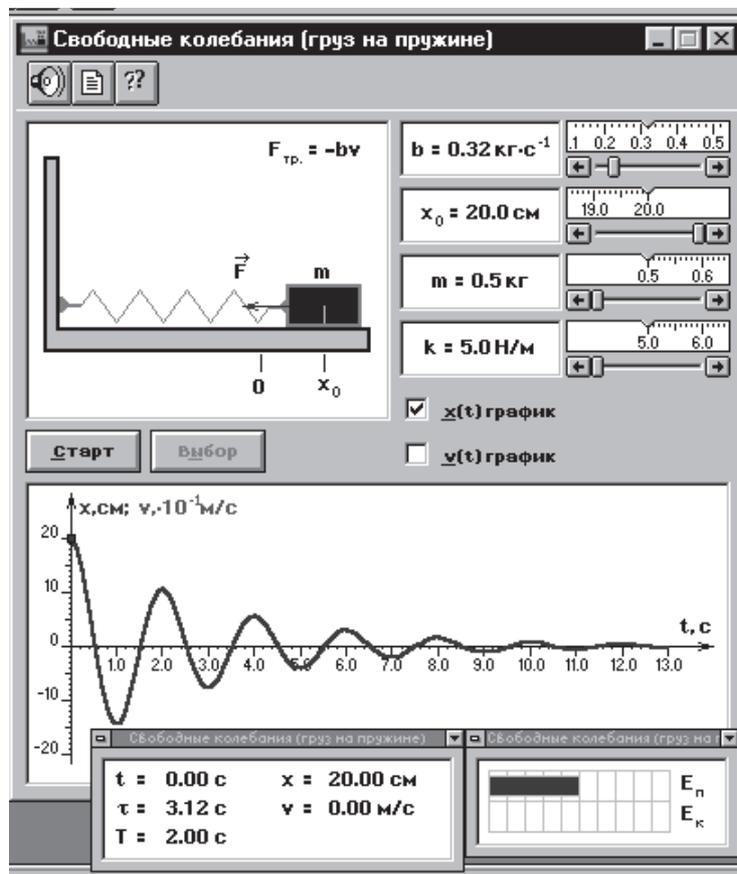


Рис. 1.3.2. Пружинный маятник

Таблица 1.3.1

Значения коэффициента затухания (вязкого трения), начального угла отклонения (для первого эксперимента) и начального отклонения (для второго)

Номер бригады	b , кг/с	φ_0 , град	X_0 , см	m , кг
1	0,2	20	10	0,5
2	0,3	18	12	0,6
3	0,2	16	14	0,7
4	0,3	14	16	0,8
5	0,1	14	11	0,75
6	0,3	16	13	0,65
7	0,2	18	15	0,55
8	0,1	20	17	0,8

Таблица 1.3.2

Результаты измерений (математический маятник)

$$\varphi_0 = \underline{\hspace{2cm}}$$

Номер измерения	$N = 5$			
	$L, \text{ м}$	$t, \text{ с}$	$T, \text{ с}$	$T^2, \text{ с}^2$
1	1,5			
2	1,4			
3	1,3			
4	1,2			
5	1,1			
6	1,0			
7	0,9			
8	0,8			
$g_{\text{эксп}} =$				

Таблица 1.3.3

Результаты измерений (пружинный маятник)

$$b = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг/с}, \quad m = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг}$$

Номер измерения	$N = 5$				
	$k, \text{ Н/м}$	$t, \text{ с}$	$T, \text{ с}$	$\omega, \text{ 1/с}$	$\omega^2, \text{ 1/с}^2$
1	5				
2	6				
3	7				
4	8				
5	9				
6	10				
$m_{\text{эксп}} =$					

1.3.4. Обработка результатов измерений

1. Вычислите период колебаний T по формуле t/N , а циклическую частоту ω по формуле (1.3.4) и заполните таблицы 1.3.2 и 1.3.3.

2. На миллиметровой бумаге постройте графики зависимости квадрата периода колебаний от длины нити математического маятника ($T^2 = f(L)$) и квадрата циклической частоты колебаний от жесткости пружины пружинного маятника ($\omega^2 = f(k)$).

3. По наклону графика $T^2 = f(L)$ (см. с. 7) определите экспериментальное значение ускорения свободного падения по формуле

$$g_{\text{эксп}} = 4\pi^2 \frac{\Delta L}{\Delta(T^2)}. \quad (1.3.10)$$

4. По наклону графика $\omega^2 = f(k)$ определите экспериментальное значение массы по формуле

$$m_{\text{эксп}} = \frac{\Delta k}{\Delta(\omega^2)}. \quad (1.3.11)$$

5. Рассчитайте средние абсолютные и относительные погрешности определения ускорения свободного падения и массы пружинного маятника (см. с. 8).

6. Запишите ответ и сделайте выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется колебанием?
2. Дайте определение гармонических колебаний.
3. Напишите уравнение гармонического колебания; назовите величины, входящие в него.
4. Что называется периодом и частотой колебания?
5. Напишите дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний материальной точки.
6. Напишите дифференциальное уравнение затухающих колебаний материальной точки.
7. Что называется математическим маятником, чему равен период его колебаний?
8. Дайте определение пружинного маятника, чему равен период его колебаний?
9. Как влияет изменение длины математического маятника и коэффициента упругости на продолжительность колебаний?