

материала, который должен усвоить каждый ученик общеобразовательной школы.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА НА НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ

Ревинская О.Г., Кравченко Н.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Затухающие колебания являются одной из фундаментальных тем курса общей физики. Традиционно при изучении этой темы рассматривают влияние на гармонические колебания маятника только силы вязкого трения, пропорциональной модулю скорости. При этом амплитуда колебаний уменьшается по экспоненциальному закону. Другие виды трения (сопротивления среды) описываются другими зависимостями силы сопротивления от скорости и приводят к иному характеру изменения амплитуды затухающих колебаний от времени. Однако анализ этого вопроса отсутствует как в современных учебниках по общей физике, так и лабораторных практикумах. Тогда как, например, природа влияния силы трения скольжения на движение колебательной системы полностью соответствует содержанию курса общей физики и описывается доступным студентам младших курсов математическим аппаратом.

С методической точки зрения важно показать, что затухание колебаний может происходить не только по экспоненциальному закону, и что характер изменения со временем амплитуды колебаний зависит от природы сил сопротивления (трения) действующих в изучаемой системе. Экспериментальное изучение в лабораторном практикуме различных видов затухающих колебаний позволит добиться методической цельности рассмотрения данного вопроса в курсе общей физики, и подчеркнуть особенности методики исследований описывающих их характеристик.

Физическая модель

Рассмотрим пружинный маятник, который может двигаться с трением вдоль наклонной плоскости: тело массой m , соединенное с невесомой пружиной жесткостью k , скользит по наклонной плоскости, расположенной под углом α к горизонту; второй конец пружины закреплен в верхней точке наклонной плоскости. Согласно второму закону Ньютона, ускорение \vec{a} тела (материальной точки) массой m зависит от векторной суммы

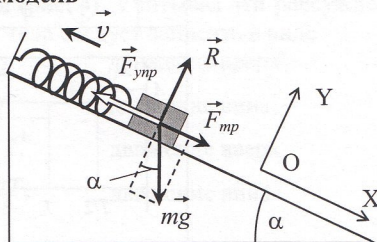


Рис. 1

сил, действующих на тело (силы тяжести $m\vec{g}$, силы реакции опоры \vec{R} , силы упругости со стороны пружины $\vec{F}_{\text{упр}}$ и силы трения $\vec{F}_{\text{тр}}$):

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{упр}} + m\vec{g} + \vec{R} + \vec{F}_{\text{тр}}.$$

Начало отсчета декартовой системы координат XOY (рис. 1) удобно совместить с точкой, в которой соединенная с телом пружина не деформирована. Тогда x -координата тела будет задавать не только его положение на наклонной плоскости, но и величину деформации связанной с телом пружины. Направим ось OX так, чтобы положительной координате тела соответствовало растяжение, а отрицательной – сжатие пружины.

Модуль силы трения равен $|F_{\text{тр}}| = \mu|R| = \mu mg \cdot \cos \alpha$ (где μ – коэффициент трения). Проекция силы трения на ось OX поочередно меняет знак с плюса (движение вверх) на минус (движение вниз) и обратно. С учетом этого движение тела по наклонной плоскости будет описываться поочередно

двумя уравнениями: $m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx + mg \cdot \sin \alpha \pm |F_{\text{тр}}|.$

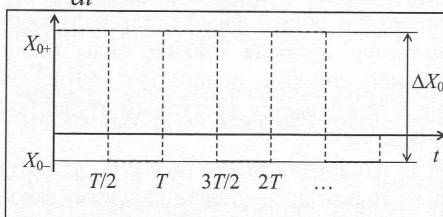


Рис. 2

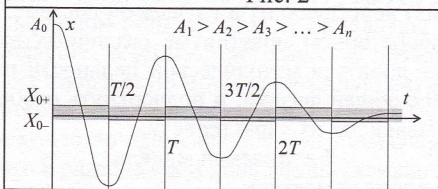


Рис. 3

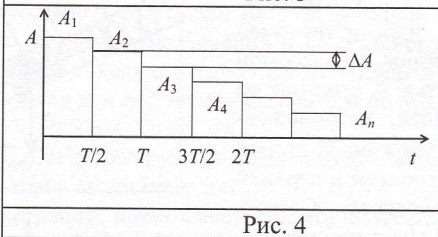


Рис. 4

Для решения дифференциальных уравнений удобно ввести константы, имеющие смысл положений равновесия маятника:

$$X_{0+} = \frac{1}{k} (mg \sin \alpha + |F_{mp}|) \text{ и } X_{0-} = \frac{1}{k} (mg \sin \alpha - |F_{mp}|).$$

Тогда дифференциальные уравнения примут вид уравнений гармонических колебаний относительно соответствующих положений равновесия с постоянной частотой $\omega = \sqrt{k/m}$. Следовательно, решения этих дифференциальных уравнений с учетом начальных условий ($v(0) = v_0 = 0$, $x(0) = A_0 > 0$, движение начинается вверх) можно записать в виде: $x = X_{0\pm} + A \cos \omega t$.

Тело останавливается и меняет направление движения (знак проекции скорости) каждые полпериода. Поэтому уравнения $x = X_{0+} + A \cos \omega t$ и $x = X_{0-} + A \cos \omega t$, описывающие зависимость координаты тела от времени, тоже чередуются каждые полпериода. Следовательно, положения равновесия маятника чередуется X_{0+} , X_{0-} , X_{0+} , X_{0-} ... (рис. 2). То есть каждые полпериода происходит скачкообразное смещение положения равновесия маятника на одну и ту же величину ΔX_0 (то в одну, то в другую сторону):

$$\Delta X_0 = |X_{0+} - X_{0-}| = \frac{2|F_{mp}|}{k}.$$

Таким образом, зависимость положения равновесия маятника от времени носит разрывный кусочно-линейный характер. Такое поведение положения равновесия маятника со временем вызвано наличием постоянной по модулю, но периодически меняющей направление силы трения скольжения в системе.

Если бы при таком поведении положения равновесия колебания пружинного маятника совершались с постоянной амплитудой A , то функция $x(t)$ представляла бы собой разрывную кусочно-гладкую функцию. Однако это не так – маятник движется так, что координата тела меняется непрерывно (рис. 3). Чтобы при кусочно-линейном характере изменения положения равновесия $X_{0\pm}$ получить непрерывный характер зависимости $x(t)$, необходимо чтобы амплитуда колебаний A также являлась кусочно-непрерывной функцией, изменяясь каждые полпериода (рис. 4). Учитывая эти рассуждения, зависимость от времени координаты тела следует записать в виде

$$x(t) = \begin{cases} X_{0+} + A_1 \cos \omega t & 0 \leq t \leq T/2, & \text{движение вверх} \\ X_{0-} + A_2 \cos \omega t & T/2 \leq t \leq T, & \text{движение вниз} \\ X_{0+} + A_3 \cos \omega t & T \leq t \leq 3T/2, & \text{движение вверх} \\ X_{0-} + A_4 \cos \omega t & 3T/2 \leq t \leq 2T, & \text{движение вниз} \\ \dots & \dots & \dots \end{cases}$$

Чтобы зависимость $x(t)$ была гладкой и непрерывной необходимо, чтобы ее соседние куски на границе имели одинаковые значения функции и производной. Границами отдельных кусков этой функции являются экстремумы (точки остановки, в которых скорость обращается в ноль, а тело меняет

направление движения). Так как частота колебаний постоянна, функция имеет экстремумы через каждые полпериода. Тогда легко показать, что амплитуды колебаний A_n и A_{n-1} пружинного маятника в соседних n -м и $(n-1)$ -м полупериодах связаны следующим образом:

$$A_n = A_{n-1} - \Delta A, \text{ где } \Delta A = X_{0+} - X_{0-} = 2 \frac{|F_{mp}|}{k}, A_1 = A_0 - X_{0+}.$$

Амплитуда колебаний пружинного маятника уменьшается каждые полпериода на постоянную величину ΔA . С увеличением модуля силы трения в системе изменение амплитуды $\Delta A = 2|F_{mp}|/k$ за полупериод увеличивается, следовательно, тело совершит меньше колебаний до остановки. Заставить маятник совершать большее количество колебаний можно, либо увеличив жесткость пружины, либо уменьшив силу трения.

Модуль силы трения $|F_{mp}| = \mu mg \cdot \cos \alpha$ зависит от массы тела m , коэффициента трения μ и угла наклона α плоскости по отношению к горизонту. Увеличение угла наклона плоскости α равносильно уменьшению трения в системе.

Методика изучения характеристик затухающих колебаний

Из анализа физической модели видно, что основными характеристиками затухающих колебаний пружинного маятника на наклонной плоскости являются частота колебаний, закон изменения амплитуды и закон изменения положения равновесия со временем.

Так как колебания происходят с постоянной частотой в эксперименте для определения частоты ω колебаний маятника необходимо измерить период T колебаний (время одного полного колебания). Тогда частоту колебаний можно легко рассчитать: $\omega = 2\pi/T$.

Для получения зависимости положений равновесия и амплитуды от времени необходимо измерить по две координаты тела, относящиеся к одному и тому же полупериоду движения, в пределах которого координата тела выражается одним и тем же уравнением. Наиболее удобными для измерений являются точки соседних экстремумов функции $x(t)$. Выполнив последовательно измерения координат всех экстремумов функции $x(t)$, по каждому соседним парам значений x_{\max} и x_{\min} можно рассчитать амплитуду A_n и положение равновесия X_{0+} (или X_{0-}) для соответствующего полупериода колебаний

$$A_n = \frac{1}{2}(x_{\max} - x_{\min}), X_{0\pm} = \frac{1}{2}(x_{\max} + x_{\min}).$$

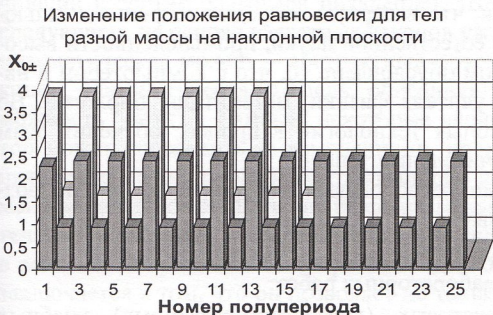
Компьютерная модель экспериментальной установки и результаты исследования

На основании изложенной физической модели и методики исследования характеристик затухающих колебаний авторами разработана компьютерная лабораторная работа «Пружинный маятник на наклонной плоскости».

В данной работе с помощью средств компьютерной графики моделируется движение пружинного маятника на деревянной наклонной плоскости длиной 250 см. Трение в системе представлено только силой трения скольжения тела о наклонную плоскость. Остальные виды трения отсутствуют. Высоту наклонной плоскости можно изменять от 0 до 150 см. Для определения периода колебаний студентам рекомендуется измерить время целого количества полупериодов с помощью встроенного секундомера. Для получения зависимости от времени амплитуды и положений равновесия маятника необходимо измерить координаты тела в точках поворота (максимумах и минимумах графика зависимости координаты тела от времени, который строится синхронно с выполнением эксперимента).



a)



b)

Рис. 5 (для тела массой: ■ – 80 г, □ – 120 г)

Компьютерная лабораторная работа «Пружинный маятник на наклонной плоскости» позволяет выполнять исследования для маятников, состоящих из невесомой пружины с известной жесткостью и тела, которое может быть выполнено из материалов, характеризующихся различным коэффициентом трения о деревянную поверхность, например, из цинка, латуни, стали, чугуна и т.д. На рисунке 5 приведены полученные при выполнении данной работы зависимости от времени амплитуды колебаний (рис. 5a) и положений равновесия (рис. 5б) для маятников с деревянными телами различной массы, двигавшихся по наклонной плоскости высотой 150 см. Предложенная

авторами лабораторная работа позволяет выполнить аналогичные исследования и на горизонтальной плоскости.

Получаемый в работе набор экспериментальных данных позволяет также рассчитать работу силы трения скольжения двумя способами: 1) из определения работы; 2) из теоремы об изменении и сохранении механической энергии системы. Сопоставление результатов расчетов, полученных двумя разными способами, позволяет проконтролировать корректность определения модуля силы трения из характеристик затухающих колебаний. Этот же метод может быть использован и при выполнении аналогичных натуральных экспериментов.

Описанная лабораторная работа позволяет на материале курса общей физики продемонстрировать, при каких условиях затухание колебаний может носить неэкспоненциальный характер, а физическая система – описываться кусочно-непрерывными зависимостями.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА УРОКАХ ФИЗИКИ

Ремеева А.Н., Матюгина Е.В.

Стерлитамакский филиал ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет»

Исторически сложилось так, что в первую очередь внедрение компьютерной техники шло в области естественной науки, промышленности высоких технологий. Этим во многом обусловлено то, что с компьютером в наших школах плотно знакомы учителя физики, математики, биологии. Во внедрении компьютерных учебных технологий в процесс обучения этим предметам и были сделаны значительные успехи.

Основными компьютерными технологиями на уроках физики и, возможно, астрономии, можно назвать:

- компьютерное моделирование;
- проведение модельных лабораторных работ;
- использование гипертекстовых (контекстно-связанных) учебных пособий;
- контроль знаний, тестирование.

Это деление довольно условно. Большинство программных средств объединяет в себе эти технологии. Среди них можно назвать такие, как "Открытая физика", "Физика в картинках" (компания Физикон), "1С: Репетитор. Физика" (фирма 1С), "Курс физики для школьников и абитуриентов" (фирма МедиаХауз), "Физика в текстах, решениях и демонстрациях для школьников и абитуриентов" (Росучприбор) и многие другие. На уроке может быть организован как отдельный этап с использованием компьютерных средств, так возможно и проведение полностью компьютеризированного