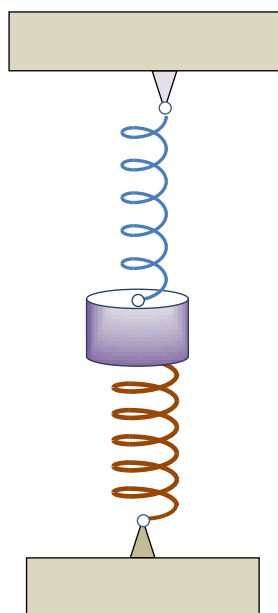


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Г. Рипп, О.В. Матузаева

# Гармонические колебания

**Учебное пособие**  
по общей физике  
для студентов технических  
и естественно-научных специальностей



Севастополь  
СевГУ  
2019

УДК 53.08 (075.8)  
Р537

**Рецензент:**

**А.Н. Бакулина** - кандидат технических наук, доцент

**Рипп А.Г.**

**Р537** Гармонические колебания: учеб. пособие по общей физике /  
А.Г. Рипп, О.В. Матузаева. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 16 с.

Учебное пособие разработано преподавателями кафедры «Физика» СевГУ и предназначено для студентов 1 и 2 курсов технических и естественно-научных специальностей, выполняющих лабораторные работы по дисциплинам: «физика» и «физический практикум». В пособии студентам предлагается познакомиться с гармоническими вертикальными колебаниями пружинного маятника, с методами экспериментальной проверки характера движения и с методами измерения параметров пружинного маятника: собственной частоты колебаний и упругости пружины. Лабораторная установка, на которой предлагается провести эксперименты, виртуальная.

Пособие содержит краткий теоретический материал, описание лабораторной установки, порядок выполнения лабораторной работы и методы оценки погрешности измерений. Материал изложен подробно и в доступной форме. Для студентов, желающих получить больше информации, в конце пособия приводится список литературы.

УДК 53.08 (075.8)

Учебное пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Физика», протокол № 6 от 28 февраля 2019 г.

## Работа 52. Гармонические колебания

### Цели работы

- Изучение характеристик свободного гармонического колебательного движения.
- Проверка формулы периода собственных колебаний пружинного маятника.
- Измерение коэффициента жёсткости пружины с помощью пружинного маятника.

### 1. Краткая теория

#### 1.1. Гармонические колебания

*Колебаниями* называются процессы (движения или изменения состояния некоторой системы), в той или иной степени повторяющиеся во времени. Среднее положение (среднее состояние) системы, вокруг которого совершаются её колебания, называют *положением равновесия*.

Система, совершающая колебания, называется колебательной системой или *осциллятором*. Это слово имеет ещё одно значение: так называют всякую функцию состояния системы  $s$ , которая с течением времени совершает колебания – то увеличивается, то уменьшается.

В зависимости от физической природы колебательного процесса и механизма его возбуждения различают *механические* колебания (например, колебания маятников, струн, частей машин и механизмов), *электромагнитные* (например, колебания переменного электрического тока в цепи), *электромеханические* (например, колебания мембраны телефона) и др. Несмотря на многообразие колебательных явлений, все колебательные процессы описываются одинаковыми характеристиками и одинаковыми уравнениями.

Колебания называются *свободными*, если они возникают вследствие какого-либо начального отклонения осциллятора от положения равновесия и совершаются при последующем отсутствии переменных внешних воздействий на осциллятор.

Частным случаем свободных колебаний являются *собственные* колебания. Они происходят тогда, когда на осциллятор не действуют диссипативные силы, которые постепенно уменьшают (рассеивают) энергию осциллятора. Собственные колебания являются незатухающими, то есть продолжаются бесконечно долго.

Колебания называются *периодическими*, если значения функций состояния осциллятора повторяются через *равные* промежутки времени. Наименьший промежуток времени  $T$ , удовлетворяющий этому условию, называется *периодом* колебаний. За период система совершает *одно* полное колебание. Величина, обратная периоду,  $\nu = \frac{1}{T}$  называется *частотой* колебаний. Смысл частоты – это количество полных колебаний в единицу времени.

Периодические колебания, при которых осциллятор изменяется по гармоническому закону (по закону синуса или косинуса), называются *гармоническими*. В этом случае и осциллятор называют гармоническим. Итак, колебания гармонического осциллятора описываются уравнениями:

$$s(t) = A\cos(\omega t + \varphi_0) \quad \text{или} \quad s(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0).$$

Неотрицательная величина  $A$  – это максимальное значение осциллятора, оно называется *амплитудой*. Величина  $\omega$  называется *круговой (циклической) частотой*. Аргумент синуса или косинуса  $\varphi = (\omega t + \varphi_0)$  – называется *фазой* колебания, а постоянная величина  $\varphi_0$ , равная фазе колебаний в момент времени  $t = 0$ , называется *начальной фазой*.

Циклическая частота  $\omega$  связана с периодом колебаний  $T$  и частотой  $\nu$  соотношениями

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

## 1.2. Собственные колебания пружинного маятника

Типичным механическим осциллятором является *пружинный маятник*. Он состоит из некоторого тела, которое собственно и называется маятником, и пружины (одной или нескольких). Каждая пружина одним концом соединена с маятником, а другим прикреплена к некоторому неподвижному телу (опоре). Два вида пружинных маятников показаны на рисунках 1.1 и 1.2.<sup>1</sup>

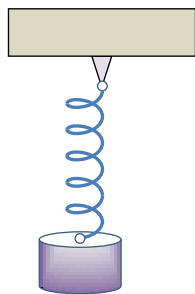


Рис. 1.1. Маятник с одной пружиной

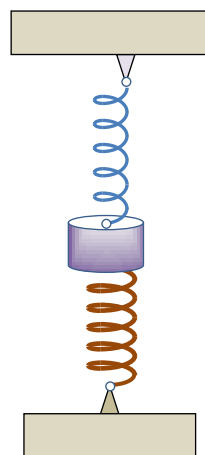


Рис. 1.2. Маятник с двумя пружинами

Выясним сначала характер движения маятника с одной пружиной.

Если начальное воздействие на маятник, выводящее его из положения равновесия, направлено в вертикальном направлении, то возникают колебания маятника только в вертикальном направлении, поэтому для описания его движения достаточно выбрать только одну вертикальную ось  $OX$ . Направим её вверх и выберем начало координат  $0$  в точке равновесия маятника – см. рис. 1.3.

<sup>1</sup> Маятник с двумя пружинами, показанный на рисунке 1.2, называется маятником с двумя *последовательно* соединёнными пружинами. Возможно и другое соединение пружин – параллельное.

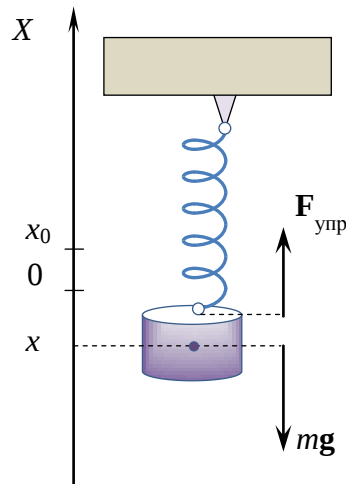


Рис. 1.3. Маятник и действующие на него силы

А теперь запишем основной закон динамики – Второй закон Ньютона:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{F_x}{m}. \quad (1.1)$$

Будем считать, что на маятник действуют только две силы: сила тяжести и сила упругости. В этом случае на маятник не действуют никакие внешние переменные силы и нет диссипативных сил, поэтому колебания маятника – по определению, *собственные*.

Если в процессе колебаний пружина не слишком сильно деформируется, то для силы упругости выполняется закон Гука:

$$F_{\text{упр},x} = k(x_0 - x), \quad (1.2)$$

где  $k$  – упругость пружины (коэффициент жёсткости),  $x_0$  – координата маятника в момент, когда пружина не деформирована. Подстановка (1.2) в (1.1) даёт:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{k(x_0 - x) - mg}{m} = \frac{k}{m}x_0 - \frac{k}{m}x - g. \quad (1.3)$$

Учтём, что в положении равновесия  $x = 0$  и  $F_x = 0$ , так что

$$kx_0 - mg = 0.$$

Тогда уравнение (1.3) упрощается:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x.$$

Введя обозначение

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

получим известное дифференциальное уравнение

$$\boxed{\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 = 0}.$$

Оно называется *дифференциальным уравнением гармонических колебаний*, и его решением как раз и являются гармонические функции – например, косинус:

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

так что координата маятника  $x$  – это гармонический осциллятор. Скорость  $v_x$  и ускорение  $a_x$  маятника – тоже гармонические осцилляторы, так как

$$v_x(t) = \frac{dx}{dt} = -A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = v_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi),$$

$$a_x(t) = \frac{dv_x}{dt} = -A\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = a_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi),$$

где  $v_m = A\omega_0$  – амплитуда скорости, а  $a_m = A\omega_0^2$  амплитуда ускорения.

Естественно, и сам маятник тоже можно называть гармоническим осциллятором.

Так как  $\omega_0$  – это частота собственных колебаний, то её называют *собственной частотой* осциллятора. Период собственных колебаний равен

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Убедитесь самостоятельно, что характер движения маятника с двумя пружинами – точно такой же, то есть маятник с двумя пружинами тоже является *гармоническим осциллятором*. Отличие только в том, что период его колебаний зависит от упругости *обеих* пружин. Эта зависимость следующая:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad k = k_1 + k_2.$$

Здесь  $k_1$  – упругость одной из пружин, а  $k_2$  – упругость второй пружины. Их сумму  $k$  можно назвать *общей* упругостью системы.

## 2. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка виртуальная, то есть представляет собой компьютерную программу, имитирующую реальную установку. Программа разработана в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

Установка позволяет наблюдать собственные гармонические колебания пружинного маятника с одной и двумя пружинами. При включении установки (при запуске программы) открывается начальное окно с названием работы и кнопками «Ход работы», «Эксперимент», «Завершение работы». Вам надо нажать на кнопку «Эксперимент», и тогда откроется окно, показанное на рисунке 2.1.

В центре окна расположена область визуализации: слева качается маятник, а справа строится график зависимости координаты маятника от времени. Построенный график можно сохранить в буфере для того, чтобы затем вставить его в отчёт.

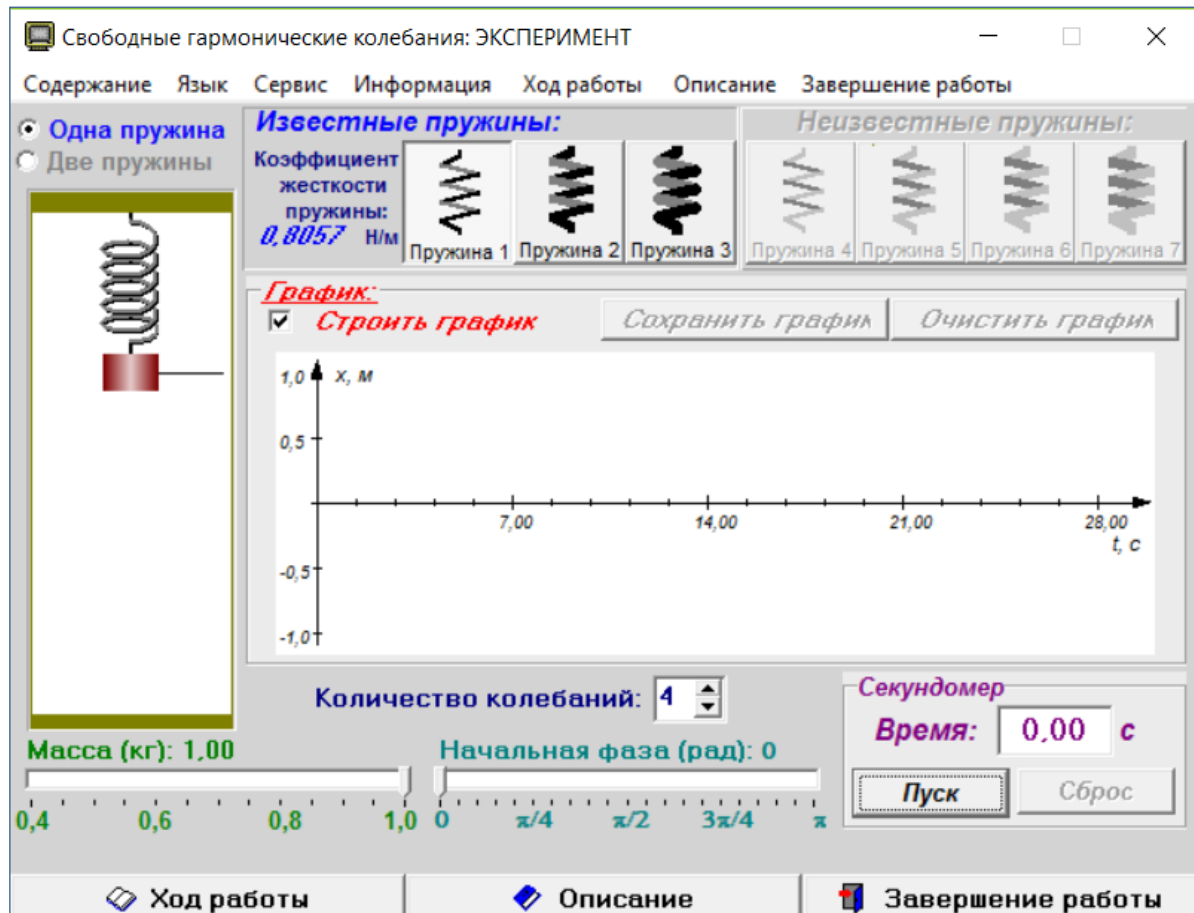


Рис. 2.1. Окно «Эксперимент»

В верхней части окна расположены кнопки выбора пружин, в нижней части – следующие кнопки и окна управления.

- Окно с бегунком для выбора массы маятника.
  - Окно с бегунком для выбора начальной фазы колебаний в интервале  $(0; \pi)$ . Под фазой понимается аргумент косинуса:  $x(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ . Поэтому, например,  $\varphi_0 = 0$  означает, что в начальный момент времени  $t = 0$  маятник находится в амплитудном положении (вверху):  $x_0 = A \cos(0) = A$ , а  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$  означает, что в начальный момент времени маятник находится в положении равновесия:  $x_0 = A \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$ .
  - Окно для выбора количества наблюдаемых колебаний  $N$ .
  - Секундомер с окном индикации, в котором время указывается с точностью до сотых долей секунды, и кнопками управления «Пуск» и «Сброс».
- Амплитуда колебаний в установке фиксированная:  $A = 1\text{ м}$ .

### 3. Задания

**Задание 1.** Убедиться в том, что собственные колебания маятника с одной пружиной являются *периодическими*.

В этом случае, во-первых, график зависимости  $x(t)$  будет выглядеть как синусоида. Во-вторых, зависимость количества полных колебаний от времени наблюдения  $N(t)$  имеет вид

$$N(t) = \nu_0 t = \frac{t}{T_0},$$

где  $T$  – период колебаний, *не изменяющийся* с течением времени. Это означает, что число полных колебаний  $N$  пропорционально времени наблюдения  $t$ , так что графиком зависимости  $N(t)$  должна быть прямая линия, проходящая через начало координат. Данный факт следует проверить экспериментально.

**Задание 2.** Для маятника с одной пружиной (известной) проверить теоретическую формулу  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ .

Период собственных колебаний маятника зависит от двух параметров: массы маятника  $m$  и упругости пружины  $k$ . Массу маятника можно изменять и измерять, период маятника тоже можно измерять – используя формулу

$$T_0 = \frac{t}{N}.$$

Следовательно, можно получить экспериментальную зависимость  $T_0(m)$ . Для того чтобы убедиться, что эта экспериментальная зависимость подтверждает теоретическую  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ , целесообразно сначала данную формулу линеаризовать. Это можно сделать, введя вспомогательную переменную  $y = T_0^2$ . В результате получается линейная (более того, пропорциональная) зависимость

$$y = bm, \quad b = \frac{(2\pi)^2}{k}.$$

Если экспериментальный график зависимости  $y(m)$  действительно окажется прямой линией, проходящей через начало координат, то это будет *подтверждением* формулы  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ . Кроме того, используя экспериментальные данные зависимости  $y(m)$ , можно измерить коэффициент пропорциональности этой зависимости  $b$ , а так как этот коэффициент связан с упругостью пружины  $k$  формулой  $b = \frac{(2\pi)^2}{k}$ , то можно, зная значение  $b$ , определить (*измерить*) упругость пружины:

$$k = \frac{(2\pi)^2}{b}.$$

Если измеренное значение  $k$  совпадёт с заданным значением, то это будет дополнительным подтверждением формулы  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ .

**Задание 3.** Для маятника с двумя пружинами необходимо сначала убедиться, как и в задании 2, что теоретическая формула  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  подтверждается результатами экспериментов, а затем измерить упругость второй (неизвестной) пружины.

Для измерения упругости неизвестной пружины  $k_2$  надо сначала измерить общую упругость системы  $k$  – тем же методом, который описан в задании 2. После этого величину  $k_2$  можно узнать, используя формулу  $k = k_1 + k_2$ , то есть по формуле

$$k_2 = k - k_1.$$

#### 4. Порядок выполнения работы

##### Порядок выполнения задания 1.

- 4.1. Установите флажки «Одна пружина» и «Строить график».
- 4.2. Выберите по указанию преподавателя одну из известных пружин, массу маятника  $m$  и начальную фазу  $\varphi_0$ . Данные занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Условия экспериментов

|                                       |             |     |  |
|---------------------------------------|-------------|-----|--|
| Известная пружина                     |             |     |  |
| Упругость известной пружины           | $k$         | Н/м |  |
| Масса маятника                        | $m$         | кг  |  |
| Период колебаний (расчётное значение) | $T_0$       | с   |  |
| Начальная фаза колебаний              | $\varphi_0$ | рад |  |
| Погрешности прямых измерений          | $\Delta(t)$ | с   |  |
|                                       | $\Delta(m)$ | кг  |  |

Расчётное значение периода собственных колебаний маятника определите по формуле

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

- 4.3. Установите количество колебаний  $N = 1$ .
- 4.4. Подготовьте установку к проведению очередного эксперимента.
  - Если секундомер показывает не ноль, то нажмите кнопку «Сброс».
  - Если в окне «График:» изображён график, то нажмите кнопку «Очистить график».
- 4.5. Включите секундомер кнопкой «Пуск».

- 4.6. Когда движение маятника и построение графика  $x(t)$  прекратятся, занесите значение  $N$  и показание секундомера  $t$  в первую строку таблицы 2.

Таблица 2  
Зависимость числа полных колебаний  
от времени наблюдения

| Номер<br>опыта | $t$ | $N$ |
|----------------|-----|-----|
|                | с   | шт  |
| 1              |     |     |
| 2              |     |     |
| ...            |     |     |
| ...            |     |     |

- 4.7. Увеличьте количество колебаний  $N$  на 1. Затем снова проделайте пункты 4.4 – 4.6, результаты измерений записывайте в следующую строку. Повторяйте это до тех пор, пока счётчик колебаний позволяет увеличивать число колебаний.
- 4.8. Последний график, который получился при максимально возможном  $N$ , *не стирайте*, а нажмите кнопку «**Сохранить график**» и выберите имя файла для сохранения. После вы сможете вставить рисунок из этого файла в свой отчёт для того, чтобы показать, что график зависимости  $x(t)$  имеет вид синусоиды.
- 4.9. На основании данных таблицы 2 постройте график зависимости  $N(t)$ . Нанесите на график планки погрешностей и линию тренда. Убедитесь, что линия тренда проходит через начало координат и через планки погрешностей всех экспериментальных точек.
- 4.10. С помощью функции ЛИНЕЙН измерьте коэффициент пропорциональности между  $N$  и  $t$ , который равен собственной частоте колебаний  $\nu_0$ , а затем – период собственных колебаний  $T_0 = \frac{1}{\nu_0}$ . Оформите всё в виде таблицы 3.

Таблица 3  
Частота и период собственных колебаний маятника

| Величина               | Частота<br>колебаний | Период<br>колебаний |
|------------------------|----------------------|---------------------|
| Обозначение            | $\nu_0$              | $T_0$               |
| Размерность            | Гц                   | с                   |
| Значение               |                      |                     |
| Абсолютная погрешность |                      |                     |
| Абсолютная погрешность |                      |                     |

- 4.11. Запишите результат измерения периода собственных колебаний маятника в стандартной форме:

$$T_0 = (\dots \pm \dots) \text{ с}, \quad \varepsilon(T_0) = \dots \%$$

- 4.12. Сравните результат измерения периода собственных колебаний маятника с расчётным значением, указанным в таблице 1.
- 4.13. Сформулируйте выводы.

### Порядок выполнения задания 2.

- 4.14. Установите флажки «**Одна пружина**» и «**Строить график**».
- 4.15. Выберите по указанию преподавателя одну из известных пружин и начальную фазу колебаний  $\varphi_0$ . Данные занесите в таблицу 4.

Таблица 4

Условия экспериментов

|                              |             |     |  |
|------------------------------|-------------|-----|--|
| Известная пружина            |             |     |  |
| Упругость известной пружины  | $k_1$       | Н/м |  |
| Начальная фаза колебаний     | $\varphi_0$ | рад |  |
| Погрешности прямых измерений | $\Delta(t)$ | с   |  |
|                              | $\Delta(m)$ | кг  |  |

- 4.16. Установите минимальное значение массы маятника  $m = 0,4$  кг.
- 4.17. Установите максимально возможное значение количества колебаний  $N$ .
- 4.18. Подготовьте установку к проведению очередного эксперимента:
- Если секундомер показывает не ноль, то нажмите кнопку «**Сброс**».
  - Если в окне «**График**» изображён график, то нажмите кнопку «**Очистить график**».
- 4.19. Включите секундомер кнопкой «**Пуск**» и измерьте время колебаний  $t$ . Результаты измерений запишите в таблицу 5.

Таблица 5

Зависимость периода колебаний маятника с одной пружиной от массы маятника

| Номер опыта | $m$<br>кг | $N$<br>шт | $t$<br>с | $T_0$<br>с | $y$<br>с <sup>2</sup> | $\Delta(T_0)$<br>с | $\Delta(y)$<br>с <sup>2</sup> |
|-------------|-----------|-----------|----------|------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------|
| 1           | 0,4       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 2           | 0,5       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 3           | 0,6       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 4           | 0,7       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 5           | 0,8       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 6           | 0,9       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 7           | 1,0       |           |          |            |                       |                    |                               |

- 4.20. Увеличьте массу маятника на 0,1 кг и снова выполните пункты 4.17 – 4.19. Проведите эту операцию для всех масс, указанных в таблице 5.
- 4.21. Определите период собственных колебания маятника во всех опытах. Для этого используйте формулу  $T_0 = \frac{t}{N}$ , результаты впишите в таблицу 5.
- 4.22. Определите для всех опытов значения вспомогательной переменной  $y = T_0^2$ .

- 4.23. Используя данные таблицы 5, постройте график зависимости  $y(m)$ . Нанесите на график планки погрешностей и линию тренда. Убедитесь, что линия тренда проходит через начало координат и через планки погрешностей всех экспериментальных точек.
- 4.24. С помощью функции ЛИНЕЙН измерьте коэффициент пропорциональности  $b$  между  $m$  и  $y$ , а затем определите с помощью формулы  $k = \frac{(2\pi)^2}{b}$  значение упругости пружины  $k$ . Оформите всё в виде таблицы 6.

Таблица 6

Упругость известной пружины

| Величина                  | Коэффициент пропорциональности | Упругость пружины |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Обозначение               | $b$                            | $k$               |
| Размерность               | $\text{с}^2/\text{кг}$         | $\text{Н/м}$      |
| Значение                  |                                |                   |
| Абсолютная погрешность    |                                |                   |
| Относительная погрешность |                                |                   |

- 4.25. Сравните результат измерения упругости известной пружины с заданным значением, которое указано в таблице 4.
- 4.26. Сформулируйте выводы.

### Порядок выполнения задания 3.

- 4.27. Установите флажки «**Две пружины**» и «**Строить график**».
- 4.28. Выберите по указанию преподавателя одну из известных и одну из неизвестных пружин, а также начальную фазу колебаний  $\varphi_0$ . Данные занесите в таблицу 7.

Таблица 7

Условия экспериментов

|                              |               |              |  |
|------------------------------|---------------|--------------|--|
| Известная пружина            |               |              |  |
| Неизвестная пружина          |               |              |  |
| Упругость известной пружины  | $k_1$         | $\text{Н/м}$ |  |
| Начальная фаза колебаний     | $\varphi_0$   | $\text{рад}$ |  |
| Погрешности прямых измерений | $\Delta(t)$   | $\text{с}$   |  |
|                              | $\Delta(m)$   | $\text{кг}$  |  |
|                              | $\Delta(k_1)$ | $\text{Н/м}$ |  |

- 4.29. Установите минимальное значение массы маятника  $m = 0,4$  кг.
- 4.30. Установите максимально возможное значение количества колебаний  $N$ .
- 4.31. Подготовьте установку к проведению очередного эксперимента:
- Если секундомер показывает не нуль, то нажмите кнопку «**Сброс**».
  - Если в окне «**График**» изображён график, то нажмите кнопку «**Очистить график**».

4.32. Включите секундомер кнопкой «**Пуск**» и измерьте время колебаний  $t$ . Результаты измерений запишите в таблицу 8.

Таблица 8

Зависимость периода колебаний маятника с двумя пружинами от массы маятника

| Номер опыта | $m$<br>Кг | $N$<br>шт | $t$<br>с | $T_0$<br>с | $y$<br>с <sup>2</sup> | $\Delta(T_0)$<br>с | $\Delta(y)$<br>с <sup>2</sup> |
|-------------|-----------|-----------|----------|------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------|
| 1           | 0,4       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 2           | 0,5       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 3           | 0,6       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 4           | 0,7       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 5           | 0,8       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 6           | 0,9       |           |          |            |                       |                    |                               |
| 7           | 1,0       |           |          |            |                       |                    |                               |

4.33. Увеличьте массу маятника на 0,1 кг и снова выполните пункты 4.30 – 4.32. Прodelайте эту операцию для всех масс, указанных в таблице 8.

4.34. Определите период собственных колебания маятника во всех опытах. Для этого используйте формулу  $T_0 = \frac{t}{N}$ , результаты впишите в таблицу 8.

4.35. Если вы закончили все измерения, то нажмите кнопку «**Завершение работы**».

4.36. Определите для всех опытов значения вспомогательной переменной  $y = T_0^2$ .

4.37. Используя данные таблицы 8, постройте график зависимости  $y(m)$ . Нанесите на график планки погрешностей и линию тренда. Убедитесь, что линия тренда проходит через начало координат и через планки погрешностей всех экспериментальных точек.

4.38. С помощью функции ЛИНЕЙН измерьте коэффициент пропорциональности  $b$  между  $m$  и  $y$ , а затем определите с помощью формулы  $k = \frac{(2\pi)^2}{b}$  значение общей упругости двух пружины  $k$ , а по формуле  $k_2 = k - k_1$  – значение упругости неизвестной пружины. Оформите всё в виде таблицы 9.

Таблица 9

Общая упругость двух пружин и упругость неизвестной пружины

| Величина                  | Коэффициент пропорциональности | Общая упругость двух пружин | Упругость неизвестной пружины |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Обозначение               | $b$                            | $k$                         | $k_2$                         |
| Размерность               | с <sup>2</sup> /кг             | Н/м                         | Н/м                           |
| Значение                  |                                |                             |                               |
| Абсолютная погрешность    |                                |                             |                               |
| Относительная погрешность |                                |                             |                               |

4.39. Запишите результат измерения упругости неизвестной пружины в стандартной форме:

$$k_2 = (\dots \pm \dots) \text{ Н/м}, \quad \varepsilon(k_2) = \dots \%$$

4.40. Сформулируйте выводы.

## 5. Оценка погрешностей

5.1. Погрешности прямых измерений.

Прямые измерения в данной работе – это измерения количества колебаний  $N$ , времени колебаний  $t$  и массы маятника  $m$ . Погрешность  $\Delta(N)$  примите равной нулю, погрешности  $\Delta(t)$  и  $\Delta(m)$  оцените самостоятельно.

5.2. Погрешность измерения периода собственных колебаний маятника.

Для измерения периода используются два метода. В первом задании он определяется по формуле  $T_0 = \frac{1}{\nu_0}$ . Из формулы следует, что

$$\varepsilon(T_0) = \varepsilon(\nu_0).$$

Абсолютную погрешность частоты  $\Delta(\nu_0)$  выдаёт функция ЛИНЕЙН.

Во втором и третьем заданиях для измерения периода используется формула  $T_0 = \frac{t}{N}$ , из которой следует, что

$$\Delta(T_0) = \frac{1}{N} \Delta(t).$$

5.3. Погрешность измерения вспомогательной переменной  $y = T_0^2$ .

Из общего правила получаем:

$$\Delta(y) = \left| \frac{dy}{dT_0} \right| \Delta(T_0) = 2T_0 \Delta(T_0).$$

5.4. Погрешность измерения упругости известной пружины и системы пружин.

Упругость измеряется с помощью формулы  $k = \frac{(2\pi)^2}{b}$ . Из этой формулы следует:

$$\varepsilon(k) = \varepsilon(b).$$

Погрешность коэффициента пропорциональности  $\Delta(b)$  выдаёт функция ЛИНЕЙН.

5.5. Погрешность измерения упругости неизвестной пружины  $k_2$ .

Для измерения  $k_2$  используется формула  $k_2 = k - k_1$ , из которой следует:

$$\Delta(k_2) = \Delta(k) + \Delta(k_1).$$

## 6. Контрольные вопросы

- 6.1. Что означает слово «осциллятор»?
- 6.2. Что значит «свободные колебания»?
- 6.3. Что значит «собственные колебания»?
- 6.4. Что значит «гармонические колебания»?
- 6.5. Что такое «амплитуда колебаний»?
- 6.6. Что такое «циклическая частота колебаний»?
- 6.7. Как связаны друг с другом период гармонических колебаний и циклическая частота этих колебаний?
- 6.8. Как устроен пружинный маятник?
- 6.9. Запишите дифференциальное уравнение гармонических колебаний.
- 6.10. От чего и как зависит циклическая частота собственных колебаний пружинного маятника?
- 6.11. Чем отличаются процессы собственных колебаний маятника с одной пружиной и с двумя пружинами?
- 6.12. Зачем в данной работе предлагается построить график зависимости  $N(t)$ ?
- 6.13. Каким образом в данной работе предлагается проверить формулу периода собственных колебаний пружинного маятника?
- 6.14. На что в данной установке влияет начальная фаза  $\varphi_0$ ?

## 7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 7.1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. – М.: Наука, 1977–1985.
- 7.2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. – М.: Наука, 1989.
- 7.3. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2003.
- 7.4. Ревинская О.Г., Кравченко Н.С. Лабораторный практикум по изучению моделей физических процессов на компьютере. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007.
- 7.5. Рипп А.Г. Обработка измерений: метод. пособие. – Севастополь: СНУЯЭП, 2012.

У ч е б н о е   и з д а н и е

**Рипп Александр Гешелевич**  
**Матузаева Ольга Вячеславовна**

## Гармонические колебания

*Учебное пособие*

*В авторской редакции*

Изд. № 68/19. Объем 1 п.л.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»