

## **Цикл исследовательских экспериментальных работ по изучению упругой деформации пружины**

***Атаманченко А. К.***

учитель высшей категории  
МАОУ лицея №4, г. Таганрог

*В статье предложены варианты модернизации школьной лабораторной работы 9 класса по физике «Определение жёсткости пружины». Также предложены дополнительные экспериментальные задания, которые расширяют и углубляют содержание работы, позволяют варьировать её сложность в зависимости от уровня подготовки учащихся.*

Общаясь с учениками школ города и преподавателями физики этих школ, я пришёл к неутешительному выводу, что физический эксперимент в школе исчезает, особенно демонстрационный. Лабораторный эксперимент, если он и осуществляется в основной школе, то носит иллюстративный характер, т. е. лабораторные работы проводятся после изложения соответствующего теоретического материала. Причём каждая работа снабжена подробной инструкцией: «возьми то..., налей столько..., рассчитай по формуле...» и т. д. Такой подход: элемент новизны, фактор субъективного «открытия» сведён для учащихся до минимума. Говорить о творческом подходе в эксперименте не приходится. Творческие работы должны содержать элементы новизны. Покажу на примере одной классической лабораторной работы «Определение жёсткости пружины», как эту работу выполнить в творческом варианте с элементами исследования.

### **Классический вариант работы**

*Тема:* Определение жёсткости пружины.

*Цель работы:* Опытным путём из закона статики определить жёсткость исследуемой пружины.

*Оборудование и средства измерения:* Исследуемая пружина, штатив с муфтой и лапкой, цилиндр стальной с крючком №1, цилиндр латунный с крючком №2, весы с разновесом, миллиметровая линейка.

*Краткие справочные сведения:*

Сила упругости  $F_y$  возникает при деформации тела (см. рис. 1). На рисунке приняты следующие обозначения:

$$\Delta l = l - l_0 \quad (1)$$

– величина деформации, где  $l_0$  – длина недеформированной пружины,  $l$  – длина деформированной пружины. Сила приложена к телу, которое вызвало эту деформацию. Она численно равна силе, вызвавшей деформацию, но направлена противоположно ей

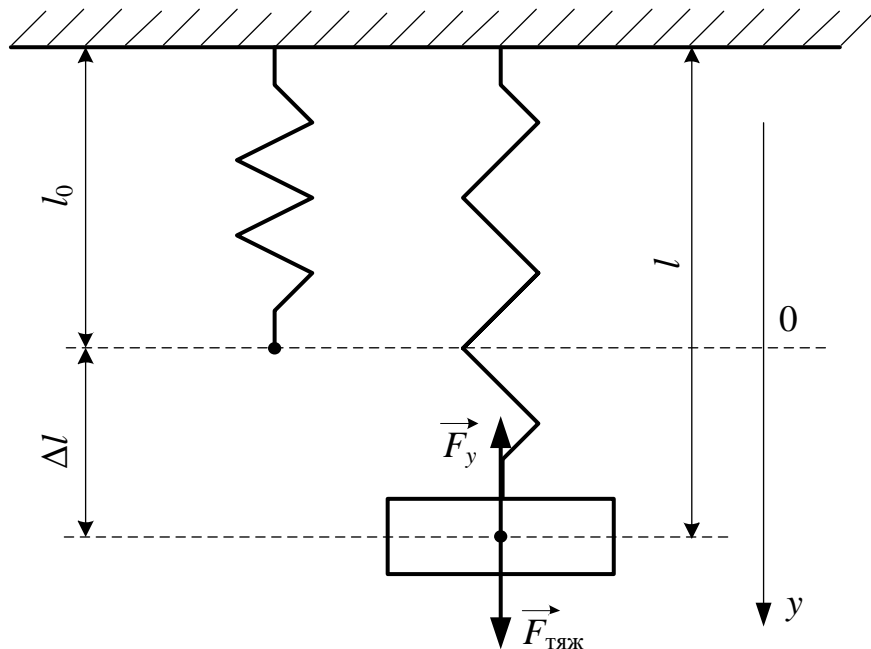


Рис. 1

$$F_y = -mg, \quad (2)$$

где  $F_y$  – проекция силы упругости на ось  $y$ , направленной вертикально вниз. Сила стремится восстановить размеры и форму пружины и направлена в сторону противоположную деформации. Сила пропорциональна деформации пружины и её деформация описывается законом Гука

$$F_y = -k\Delta l \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, называемый жёсткостью пружины, зависит от размеров, формы и материала, из которого она изготовлена. В пределах упругости не зависит от величины деформации.

*Закон статики:* на покоящееся тело действуют две противоположно направленные силы, векторная сумма которых равна нулю

$$\vec{F}_y + \vec{F}_{тяж} = 0. \quad (4)$$

Из формул 1, 2 и 3 следует что

$$k = \frac{F_y}{\Delta l} = \frac{mg}{l - l_0}.$$

*Указания к выполнению работы:*

1. Подготовьте таблицу для занесения результатов, определяемых в процессе эксперимента и вычислений в ходе работы.

	Измерить			Вычислить	
	$m$	$l_0$	$l$	$\Delta l$	$k$
Цилиндр 1					
Цилиндр 2					

2. Сделайте рисунок экспериментальной установки.
3. Укрепите пружину вертикально в лапке штатива.
4. Измерьте длину недеформированной пружины.
5. Определите массу цилиндра №1 и укрепите его на пружине.
6. Измерьте длину растянутой пружины.
7. Вычислите жёсткость пружины.
8. Выполните пункты 4 – 7 для цилиндра – груза №2.
9. Найдите среднее значение жёсткости пружины из соотношения  $k_{cp} = (k_1 + k_2) / 2$ , где  $k_1$  и  $k_2$  – жёсткости пружин для разных грузов.
10. Постройте график зависимости силы упругости  $F_y$  от деформации  $\Delta l$ .
11. Исследуйте график, найдите жёсткость пружины и сравните её значение со средним значением жёсткости, полученным в первой части эксперимента.

*Контрольные вопросы:*

1. Действие какого бытового прибора основано на законе Гука?
2. На рис. 2 дан график зависимости силы упругости от деформации двух разных пружин 1 и 2. Одинакова ли жёсткость пружин 1 и 2? Чему они равны, если масштаб по удлинению 1 см, а по силе – 1 Н?
3. Найти жёсткость пружины, которая под действием силы 2Н удлинилась на 4 см.
4. Жёсткость проволоки длиной  $l$  равна  $k$ . Чему равна жёсткость половинки этой проволоки?
5. Две пружины равной длины скреплены одними концами. Их растягивают за свободные концы руками. Пружина жёсткостью 100 н/м удлинилась на 5 см. Какова жёсткость второй пружины, если её удлинение равно 1 см?

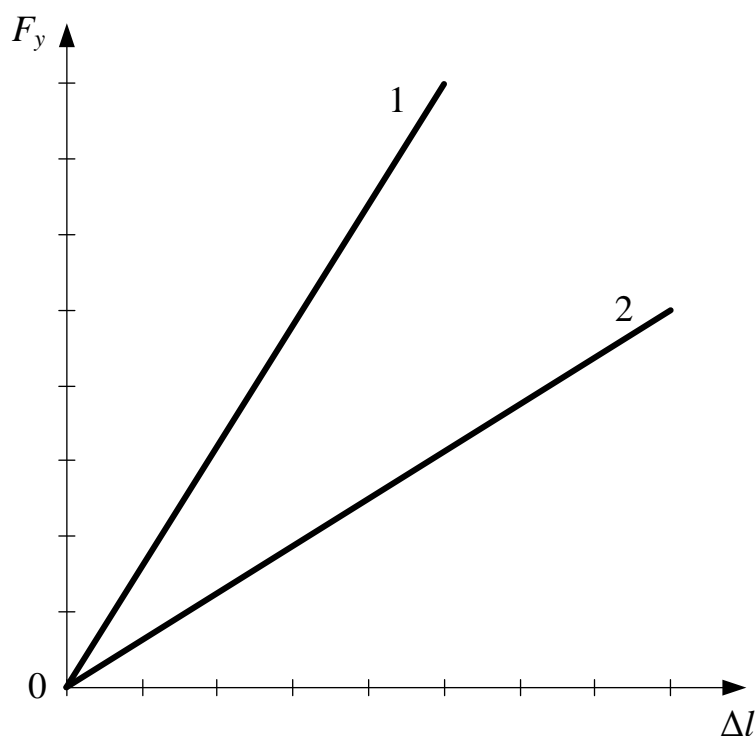


Рис. 2

### Исследовательские экспериментальные работы

Предложенные ниже варианты по определению жёсткости пружин несколько озадачивают обучающихся. Несмотря на то, что темы и цели работ совпадают. В этих заданиях нет инструкции по выполнению работ, не хватает части измерительных приборов, нет готовых формул, их нужно помнить из курса физики основной школы за 7 класс. А именно знать: как определяется масса тела по известной плотности, закон Гука, закон Архимеда, материал из геометрии, уметь пользоваться справочными материалами. Эти работы несут элементы исследовательского характера. Пусть небольшие элементы, но они способствуют развитию творческого мышления учащихся.

В своих отчётах экспериментаторы должны отразить:

1. Тему и цель работы.
2. Схематический рисунок.
3. Ход выполнения работы.
4. Исходную формулу.
5. Таблицу для занесения результатов, определяемых в процессе эксперимента и вычислений в ходе работы.
6. Решение проблемы.
7. Выводы.

### Вариант 2

В вашем распоряжении нормально растянутая пружина, стальной груз неправильной формы, прозрачный сосуд цилиндрической формы, частично

заполненный водой, объём сосуда больше, чем объём стального груза, штатив с муфтой и лапкой.

1. Исследовать изменится ли жёсткость пружины, если груз, прикреплённый к пружине, находится: а) в воздухе, б) в воде.
2. Определить вес груза в воде.

Из измерительных средств – линейка.

Дополнительная информация в справочнике по физике. Груз свободно входит в сосуд с водой.

### ***Возможное решение***

Положение груза на пружине в воздухе и воде показано на рис. 3.

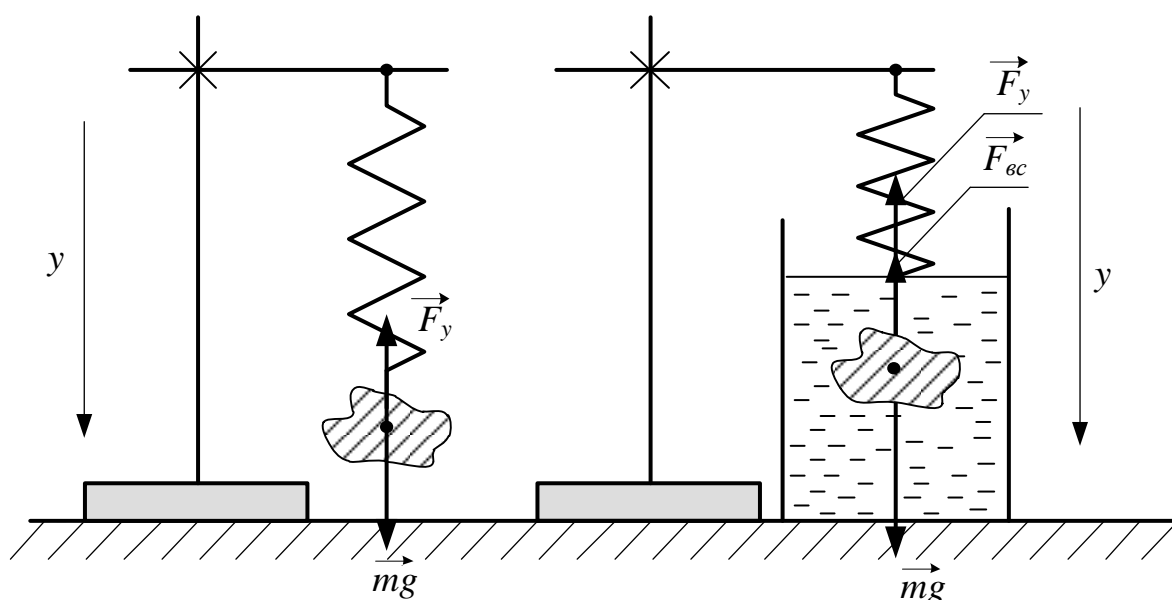


Рис. 3

1. Жёсткости пружины в различных средах определяются по формулам:

$$k_1 = \frac{mg}{\Delta l_1} \quad (1); \quad k_2 = \frac{mg}{\Delta l_2} \quad (2);$$

где  $\Delta l_1 = l_1 - l_0$  (3)

$$\Delta l_2 = l_2 - l_0 \quad (4)$$

$l_0$  – длина не растянутой пружины,

$l_1$  и  $l_2$  – длины деформированной пружины.

Масса груза определяется по формуле  $m = \rho_{cm} \cdot V$  (5),

где  $\rho_{cm}$  – плотность тела (справочные данные),  $V$  – объём тела, который определяется с помощью цилиндрического сосуда с водой.

$$V = s \cdot h = \pi d^2 h / 4 \quad (6), \text{ где } s = \pi d^2 / 4$$

$d$  – внутренний диаметр цилиндра,  $h$  – высота вытесненной воды. Приводимые параметры представлены на рис. 4.

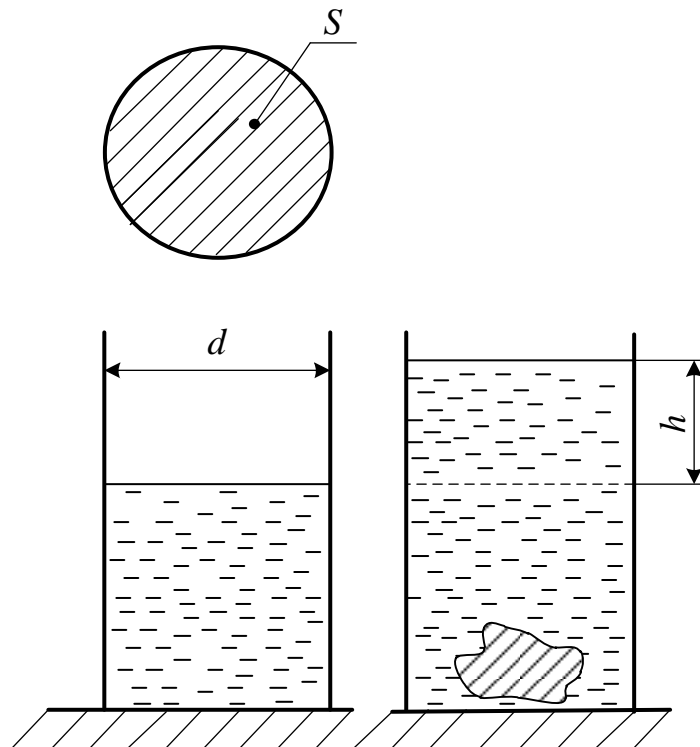


Рис. 4

Совместно решая уравнения 1, 2, 3, 4, 5, 6 получим:

$$k_1 = \frac{\rho_{cm} \pi d^2 g h}{4(l_1 - l_0)}; \quad k_2 = \frac{\rho_{cm} \pi d^2 g h}{4(l_0 - l_2)};$$

где  $d, h, l_1, l_2, l_0$  – измеряются линейкой.

Сделать вывод.

2. Вес тела в воде равен

$$P_{вода} = P_{возд} - F_{вс}; \text{ где } P_{возд} = mg; \quad F_{вс} = \rho_{жс} g V;$$

$$P_{вода} = mg - \rho_{жс} g V;$$

$m, V$  – найдены в первой части решения.

$\rho_{cm}, \rho_{возд}$  – справочные данные,  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

### Вариант 3а

В вашем распоряжении: пружина, вертикально закреплённая в лапке штатива, стальной цилиндр с крючком, линейка, часы. Определить жёсткость пружины в статическом и динамическом состояниях. Сделать выводы.

*Подсказка: Груз прикрепленный к пружине представляет собой пружинный маятник.*

#### Возможное решение

1. Статическое состояние подвешенного тела представлено на рис 5.

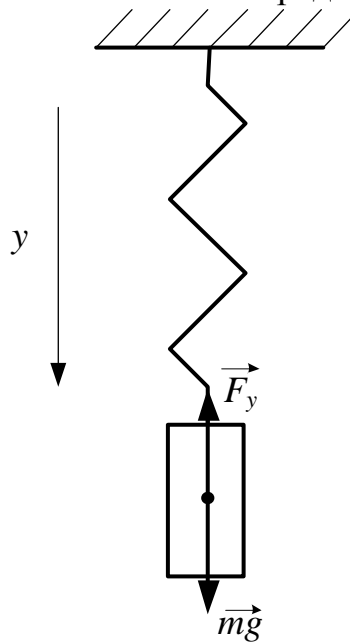


Рис. 5

Условие равенства сил

$$F_y = mg, \quad F_y = k\Delta l.$$

Отсюда

$$k = mg / \Delta l = mg / (l - l_0), \text{ где}$$

$m$  – масса стального цилиндра,

$l_0$  – начальная длина пружины,  $l$  – длина деформируемой пружины.

Из определения плотности тела с учётом обозначений на рис. 6 получим

$$m = \rho_{cm} V = \rho_{cm} Sh = \rho_{cm} \pi d^2 h / 4 \quad (2)$$

Подставляя уравнение (2) в (1), получим

$$k = \frac{\rho_{cm} \pi d^2 gh}{4(l - l_0)},$$

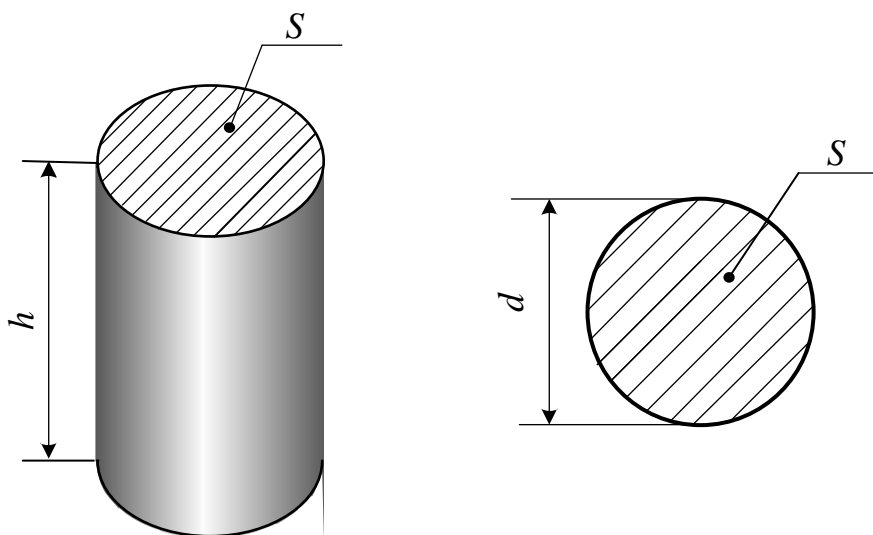


Рис. 6

где плотность стали  $\rho_{cm}$ , диаметр цилиндра  $d$ ,  $l$  и  $l_0$  – измеряются линейкой.

## 2. Динамическое состояние подвешенного тела.

Груз, подвешенный на пружине и выведенный толчком из положения равновесия, представляет собой пружинный маятник (см. рис. 7), период малых колебаний которого определяется по формуле

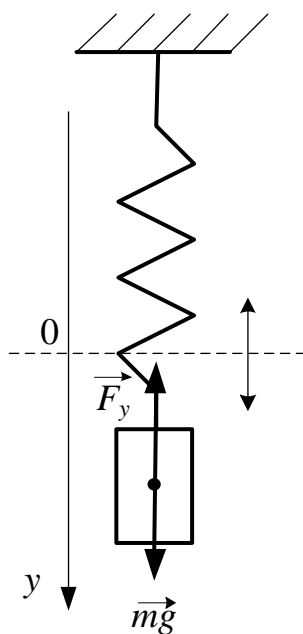


Рис. 7

$$T = 2\pi\sqrt{m/k}, \quad (1)$$



где  $m$  – масса груза (она была вычислена в пункте 1),  $T$  – период малого колебания. Из (1) можно получить жесткость пружины

$$k = 4\pi^2 m / T^2. \quad (2)$$

Если маятник совершил  $n$  колебаний и затратил на них время  $t$ , то период одного малого колебания определится из соотношения

$$T = t / n. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим

$$k = 4\pi^2 m n^2 / t^2, \quad (4)$$

где  $t$  – определяется секундомером.

Сравнить результаты определения жесткости пружины  $k$  в опытах 1 и 2. Сделать вывод.

*Несколько изменим условие поставленной задачи*

### Вариант 36

В вашем распоряжении пружина, вертикально закреплённая в лапке штатива. К свободному концу штатива прикреплено твёрдое тело.

*Задание.* Вывести маятник по вертикали из положения равновесия. Определить частоту малых колебаний маятника при помощи измерительного средства – линейки.

*Решение.* Частота малых колебаний маятника связана с периодом колебаний соотношением

$$\nu = 1/T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (5)$$

Возбудить такие вертикальные колебания пружины, при которых удлинение можно выразить через силу тяжести подвешенного груза

$$mg = k\Delta x. \quad (6)$$

Выражая из (6) отношение  $k/m$ , получим

$$\nu = 1/T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\Delta x}},$$

где  $\Delta x$  измеряется линейкой.

### Вариант 4

В вашем распоряжении нормально растянутая пружина; стеклянный стакан; стальной цилиндр. Определить жёсткость пружины.

Из измерительных средств – миллиметровая линейка. Дополнительная информация – справочник по физике.

*Пружина и цилиндр свободно входят в стеклянный стакан.*

### Возможное решение

Воспользуемся статическим методом определения жёсткости пружины, причём пружина работает на деформацию сжатия (см. рис. 8). Подход к вычислению жёсткости пружины аналогичен решению в варианте 1.

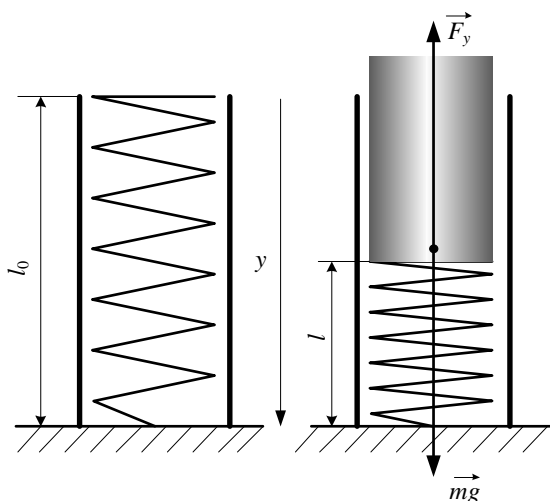


Рис.8

Формула определения жесткости пружины имеет вид

$$k = mg / (l_0 - l), \quad (1)$$

где  $l_0$  – длина пружины в исходном положении,  $l$  – длина пружины после деформации,  $m$  – масса цилиндра определяется по аналогии варианта 3 рис. 6

$$m = \pi \rho d^2 h / 4. \quad (2)$$

Уравнение (2) подставим в уравнение (1). Получим

$$k = \pi \rho d^2 h g / 4(l_0 - l) \quad (3)$$

где  $d$ ,  $h$ ,  $l_0$ ,  $l$  – измеряются линейкой,  $\rho$  – определяется по справочникам,  $g$  – ускорение свободного падения на Земле принять  $10 \text{ м/с}^2$ .