



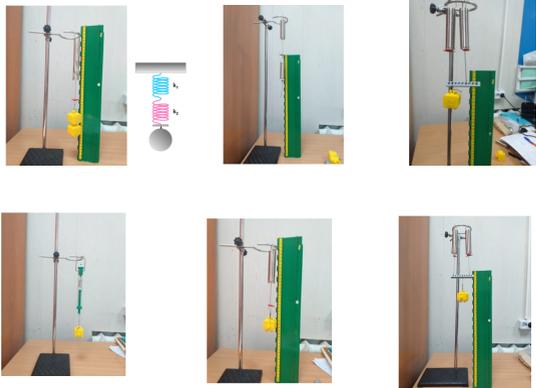
ИЗМЕРЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРУЖИНЫ

Корякин Вадим Леонидович, Слепцов Айдын Валериевич
г. Вилюйск Вилюйского улуса Республики Саха (Якутия)

Актуальность: Одной из величин, которые существуют в нашей жизни повсюду, является сила упругости. Пружина в шариковой ручке или автомобильной подвеске, точных весах или заводных в часах, в автомобильных рессорах и грузовых весах действуют благодаря силе упругости. Мы выбрали данную тему, чтобы определить, от чего зависит жесткость пружины.

Цель работы: изучить, от каких величин зависит жесткость пружины.

Практическая значимость: получены значения жесткости для пружин из набора для лабораторных работ и найдены значения жесткости при разных соединениях пружин.



Задачи:

- изучить информацию по теме работы;
- рассчитать жесткость пяти пружин из набора по закону Гука;
- исследовать зависимость жесткости пружин от диаметра проволоки; диаметра витка пружины; количества витков пружины.
- построить графики зависимости жесткости пружин от их параметров;
- рассчитать жесткость при разных соединениях пружин;
- проанализировать полученную информацию и сделать вывод.

Гипотеза:
жесткость пружины зависит от материала, диаметра проволоки; диаметра витка пружины; количества витков пружины.

Методы исследования: поиск информации, анализ материалов, эксперимент.

Объект исследования – сила упругости.

Предмет исследования – жесткость пружины.



Ход эксперимента 1. Определение жесткости пружины по закону Гука

1. Укрепляем динамометр на штативе.
2. Определим вес первого, второго, третьего грузов Р с помощью динамометра, а линейкой удлинение х пружины в каждом случае.
3. Укрепляем на штативе пружину, ставим рядом линейку, записываем значение высоты h₀, на которой находится нижний конец пружины в недеформированном состоянии.
4. Нагрузим пружину сначала одним, потом другими грузами. Измеряем новое расстояние от стола до пружины (высоту h₁) в трех случаях;
5. Используя полученные данные и учитывая, что F_{упр} = Р, делаем расчеты
6. Результаты измерений и вычислений заносим в таблицу 1.
7. Определим среднее значение жесткости k, как среднее арифметическое, для данной пружины;
8. Находим погрешность каждого из опытов – разность между средним значением коэффициента жесткости и значениями, полученными в разных опытах;
9. Определили средние арифметические погрешностей опытов.
10. Результаты полученных данных приведены в таблице 1.

Сила упругости. Закон Гука

При небольших деформациях твердых тел сила упругости пропорциональна деформации х тела (закон Гука):

$$F_{упр} = - k \cdot x$$

где k – коэффициент жесткости и выражается в ньютонах на метр (Н/м).

x – изменение длины (деформация), измеряется в метрах (м).

Знак «-» в законе Гука указывает, что сила упругости направлена противоположно деформации тела

I способ определения жесткости пружины: по закону Гука

$$k \cdot x = m \cdot g \quad k = m \cdot \frac{g}{x}$$

II способ определения жесткости пружины: по модулю сдвига

G - модуль сдвига (величина зависящая от материала);
d - диаметр проволоки;
d_p - диаметр витка пружины;
n - количество витков пружины

$$k = \frac{Gd^4}{8d_p^3n}$$

Вычисление погрешности измерений

k = k_{ср} ± Δk где Δk — наибольшая абсолютная погрешность измерения;

ε_k — относительная погрешность Δk = ε_k k; $k = k_{ср} \pm \epsilon_k k$

k = mg/x поэтому ε_k = ε_m + ε_g + ε_x
 $\epsilon_m = \frac{\Delta m}{m} = \frac{0,002 \text{ кг}}{0,1 \text{ кг}} = 0,02$
 $\epsilon_g = \frac{\Delta g}{g} = \frac{0,02 \text{ м/с}^2}{10 \text{ м/с}^2} = 0,002$
 $\epsilon_x = \frac{\Delta x}{x} = \frac{1 \text{ мм}}{16 \text{ мм}} = 0,0625$
 $\epsilon_k = \epsilon_m + \epsilon_g + \epsilon_x = 0,02 + 0,002 + 0,0625 = 0,0845 = 0,1$
 $\Delta k = \epsilon_k k_{ср} = 0,1$

k₁ = 5,01 ± 0,1 * 5,05 = 5,01 ± 0,5 ε = Δk/k 100% = 10%
k₂ = 13,71 ± 0,1 * 13,71 = 13,71 ± 1,37 ε = 10%
k₃ = 18,94 ± 0,1 * 18,94 = 18,94 ± 1,8 ε = 10%

Таблица 1. Результаты измерений эксперимента 1 с пружиной №1

№ опыта	Вес груза Р, Н	высота h ₀ на которой находится нижний конец пружины без груза, см	высота h ₁ на которой находится нижний конец пружины с грузом, мм	Удлинение пружины x, см	Жесткость пружины k = F _{упр} /x, Н/м	k ср = (k ₁ + k ₂ + k ₃)/3 Н/м	Паспортные данные	Δk = k - k _{ср}	Δk ср = (Δk ₁ + Δk ₂ + Δk ₃)/3
Пружина № 1 (длина 7 см, диаметр витка 18 мм, число витков 72, диаметр проволоки 1 мм)									
1	0,6	32,8	31,2	1,6	3,75	5,05	5	11,3	11,76
2	1	32,6	31,3	1,3	7,69			2,64	
3	2	32,6	27,2	5,4	3,7			11,35	
Пружина № 2 (длина 7 см, диаметр витка 18 мм, число витков 88, диаметр проволоки 0,9 мм)									
4	0,6	32,8	24,8	8	7,5	13,71	10	6,21	4,47
5	1	32,8	25	7,8	12,8			0,91	
6	2	32,8	23,2	9,6	20,83			7,12	
Пружина № 3 (длина 7 см, диаметр витка 18 мм, число витков 75, диаметр проволоки 1,1 мм)									
7	0,6	42	37,5	4,5	13,3	18,94	15	5,64	3,346
8	1	42	37,6	4,6	21,739			2,799	
9	2	42	31,2	10,8	21,74			2,8	
Пружина № 4 (длина 5,2 см, диаметр витка 15 мм, число витков 83, диаметр проволоки 0,59 мм)									
10	0,6	42,8	17,7	25,1	2,4	3,59	2,5	1,19	0,796
11	1	42,8	17,9	24,9	4,16			0,57	
12	2	57,4	10	47,4	4,22			0,63	
Пружина № 5 (длина 6,4 см, диаметр витка 16 мм, число витков 105, диаметр проволоки 0,56 мм)									
13	0,6	57,3	30,8	26,5	2,3	6,7	5	4,4	4,84
14	1	57,3	31	26,3	3,846			2,854	
15	2	57,3	43	14,3	13,98			7,28	

Ход эксперимента 2: Определение жесткости пружин при последовательном соединении пружин

1. Укрепляем на штативе пружины последовательно, ставим рядом линейку, записываем значение высоты h₀, на которой находится нижний конец пружины 1 и 2 в недеформированном состоянии.
2. Нагрузим пружину сначала одним, потом другими грузами. Измеряем новое расстояние от стола до пружин (высоту h₁) в трех случаях;
3. Используя полученные данные и учитывая, что F_{упр} = Р, делаем расчеты
4. Результаты измерений и вычислений заносим в таблицу 1.
5. Определим среднее значение жесткости k, как среднее арифметическое, для данной пружины;
6. Находим погрешность каждого из опытов – разность между средним значением коэффициента жесткости и значениями, полученными в разных опытах;

Последовательное соединение

$$\vec{F} = \vec{F}_1 = \vec{F}_2$$

$$x = x_1 + x_2$$

$$\frac{F}{k} = \frac{F_1}{k_1} + \frac{F_2}{k_2}$$

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

Графики зависимости жесткости от параметров пружины

Чем больше диаметр проволоки, тем больше жесткость пружины.
Чем больше диаметр витка пружины, тем меньше жесткость.
Чем больше витков в пружине, тем ее жесткость меньше.

Таблица 2. Результаты измерений эксперимента 2 (№№ 1 и 1) Измерение жесткости при последовательном соединении пружин

№ опыта	Вес груза Р, Н	Начальная длина пружины 1, мм	Конечная длина пружины 1, мм	Начальная длина пружины 2, мм	Конечная длина пружины 2, мм	Жесткость пружины k = F _{упр} /x, Н/м	Жесткость пружины k = F _{упр} /x, Н	Жесткость пружины общая k = F _{упр} /x, Н	к ср, Н/м	Паспортные данные	Δk	Δk ср
1	0,6	82	110	79	87	21,42	75	16,67	6,47	5,05	1,67	0,65
2	1	82	113	79	86	3,2	114,3	22,63				
3	2	82	150	79	125	2,94	44,34	00,13				

$k = k_{ср} \pm \Delta k = 6,47 \pm 0,1 * 6,47 = 6,47 \pm 0,67$

Общая жесткость двух пружин, соединенных последовательно, становится меньше, чем жесткость одной пружины. Такой способ не используется на практике.

Ход работы эксперимента 2: параллельное соединение пружин

1. Укрепляем на штативе пружины параллельно, ставим рядом линейку, записываем значение высоты h₀, на которой находится нижний конец пружины 1 и 2 в недеформированном состоянии.
2. Нагрузим пружину сначала одним, потом другими грузами. Измеряем новое расстояние от стола до пружин (высоту h₁) в трех случаях;
3. Используя полученные данные и учитывая, что F_{упр} = Р, делаем расчеты
4. Результаты измерений и вычислений заносим в таблицу 2.
5. Определим среднее значение жесткости k, как среднее арифметическое, для данной пружины;
6. Находим погрешность каждого из опытов – разность между средним значением коэффициента жесткости и значениями, полученными в разных опытах;

$$k = k_1 + k_2$$

7. Определим среднее значение жесткости k, как среднее арифметическое, для данной пружины.

8. Найдем погрешность каждого из опытов – разность между средним значением коэффициента жесткости и значениями, полученными в разных опытах.

Параллельное соединение

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$x = x_1 = x_2$$

$$kx = kx_1 + kx_2$$

$$k = k_1 + k_2$$

Таблица 3. Результаты измерений эксперимента 3 Измерение жесткости при параллельном соединении пружин

№ опыта	Вес груза Р, Н	Начальная длина пружины 1, мм	Конечная длина пружины 1, мм	Начальная длина пружины 2, мм	Конечная длина пружины 2, мм	Жесткость пружины k ₁ = F _{упр} /x, Н/м	Жесткость пружины k ₂ = F _{упр} /x, Н	Жесткость пружины общая k = F _{упр} /x, Н	к ср, Н/м	Δk	Δk ср
1	1	70	74	82	76	83	125	208	277,5	20,8	27,75
2	2	80	78	95	92	133,3	142,8	276			
3	3	95	92	115	112	176,4	150	226	40	222,6	40
4	4	115	112	135	132	200	200	400			

Общая жесткость двух пружин при параллельном соединении, становится больше, чем жесткость одной пружины.

Закключение:
Силы упругости – это силы, возникающие в теле при его упругой деформации и направленные в сторону, противоположную смещению части при деформации. Сила упругости не существует без деформации тела.
Мы изучили информацию по данной теме по учебнику физики, справочникам, материалам Интернета.
Выполнили эксперимент по определению жесткости пружины, применяя набор из пяти пружин. По результатам измерений пришли к выводу, что коэффициент жесткости витой цилиндрической пружины, которая намотана из проволоки круглого сечения, зависит от диаметра проволоки, диаметра витка пружины и количества витков пружины. Использовали формулу $k = \frac{Gd^4}{8d_p^3n}$ для расчета:
Максимальное значение жесткости имеет пружина № 3 (длина 7 см, диаметр витка 18 мм и с диаметром проволоки 1 мм). Минимальное значение жесткости имеет пружина № 4 (длина 5,2 см, диаметр 15 мм) с диаметром проволоки 0,59 мм. Коэффициент жесткости витой цилиндрической пружины, которая намотана из проволоки круглого сечения, зависит от диаметра проволоки, диаметра витка пружины, количества витков пружины.
Мы определили жесткость пружин, соединенных последовательно и параллельно. Общая жесткость двух пружин, соединенных последовательно, становится меньше, чем жесткость одной пружины. Такое соединение не применяется на практике.
Общая жесткость двух пружин при параллельном соединении становится больше, чем жесткость одной пружины. Соединение используется в технике: рессорах, амортизаторах, стойках автомобилей.
Полученные знания при выполнении исследовательской работы пригодятся нам в олимпиадах по физике, политехнической олимпиаде; в дальнейшей учебе.

Список литературы:

1. Физика. 7 кл.: учебник для общеобразовательных организаций с прил. на электрон. носителе: базовый уровень. / Г.Я.М. – 4-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2015. – 224 с.: ил.;
2. Физика. 10 кл.: учебник для общеобразовательных организаций с прил. на электрон. носителе: базовый уровень. / Г.Я.Мякишев. – изд., - М.: Просвещение, 2014. – 416 с.: ил.;
3. Виды пружин сжатия/электронный ресурс https://nmkn.ru/company/news/vidy_pruzhin_szhatiya/
4. Жесткость пружины. Формула/электронный ресурс https://spravochnik.ru/fizika/zhestkost_pruzhini_formula/
5. Жесткость пружины/электронный ресурс https://www.webmath.ru/poleznoe/fizika/fizika_130_formula_zhestkosti_pruzhiniy.php
6. Жесткость пружины/электронный ресурс <https://obrazovaka.ru/fizika/sila-uprugosti-formula-opredelenie.html>
7. Жесткость пружины/электронный ресурс https://www.napishem.ru/spravochnik/fizika/zhestkost_pruzhiniy.html
8. Измерение жесткости пружины/электронный ресурс: <https://rosuchebnik.ru/material/fizicheskij-praktikum-v-10-klasse-izmerenie-zhestkosti-pruzhiny-15830/>