

Лабораторная работа В 3.01

ЗАКОН ГУКА

Цель работы

Исследование закона Гука на примере растяжения пружин с различными параметрами.

Задачи

1. Исследовать зависимость удлинения пружин различной жёсткости от величины приложенной силы.
2. Определить жёсткость исследуемых пружин.
3. Исследовать зависимость жесткости пружины от ее параметров.

Введение

Всякое реальное тело под действием приложенных к нему сил деформируется, то есть изменяет свои размеры и форму. Если после прекращения действия сил тело принимает первоначальные размеры и форму, деформация называется *упругой*. Это наблюдается, если приложенная сила не превышает предел упругости, определенный для каждого конкретного тела. Для малых (упругих) деформаций зависимость оказывается линейной. Пропорциональность деформации и приложенной силы была открыта в 1660 году английским ученым Робертом Гуком и носит название закон Гука.

В данной работе исследуются упругие деформации пружин. Особенностью пружин является справедливость закона Гука для значительных удлинений. Требование малых деформаций при этом, однако, выполняется: при растяжении пружины ее витки раздвигаются, что приводит к скручиванию проволоки, из которой изготовлена пружина. Собственно, деформация, то есть поворот одного сечения проволоки относительно другого, при этом оказывается малой.

Рассмотрим пружину с закреплённым концом, имеющую в недеформированном состоянии длину L . Если к свободному концу пружины приложить внешнюю силу F , то пружина растянется на величину ΔL . Возникшая вследствие деформации сила упругости $F_{\text{упр}}$ уравнивает внешнюю силу (рис. 1). В соответствии с законом Гука:

$$F_{\text{упр}} = k\Delta L. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности k называется *коэффициентом жёсткости* пружины (или просто жесткостью). Жесткость пружины зависит от упругих свойств материала проволоки (модуля сдвига G) и ее толщины (диаметра d), числа витков n и их диаметра D :

$$k = \frac{G \cdot d^4}{8n \cdot D^3}. \quad (2)$$

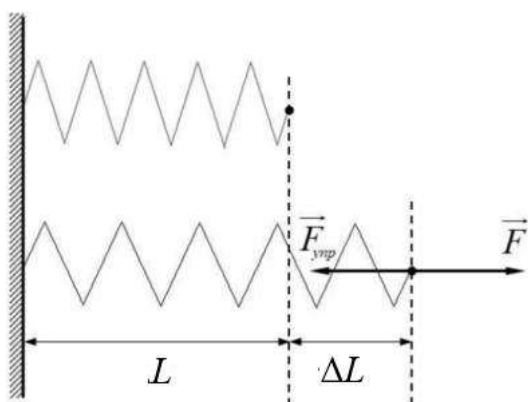


Рис. 1. Деформация пружины

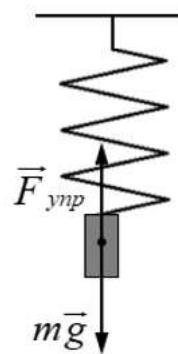


Рис. 2. Груз на пружине

Для экспериментальной проверки закона Гука в данной работе используется пружина, к нижнему концу которой прикрепляется груз массой m (рис. 2). Под действием силы тяжести mg пружина растягивается на ΔL . В состоянии равновесия с учётом (1)

$$F_{\text{внешн}} = mg = k\Delta L. \quad (3)$$

Соотношение (3) можно проверить экспериментально, исследовав зависимость удлинения пружины ΔL от величины приложенной силы. Зная угловой коэффициент зависимости $F(\Delta L)$, можно определить жёсткость пружины k .

Экспериментальная установка

Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 3.

Она включает в себя штатив 1, на который подвешивается одна из пружин 2. Растяжение пружины осуществляется с помощью грузиков-разновесов 3. Величина удлинения пружины измеряется линейкой 6, по которой может перемещаться пара указателей 5.

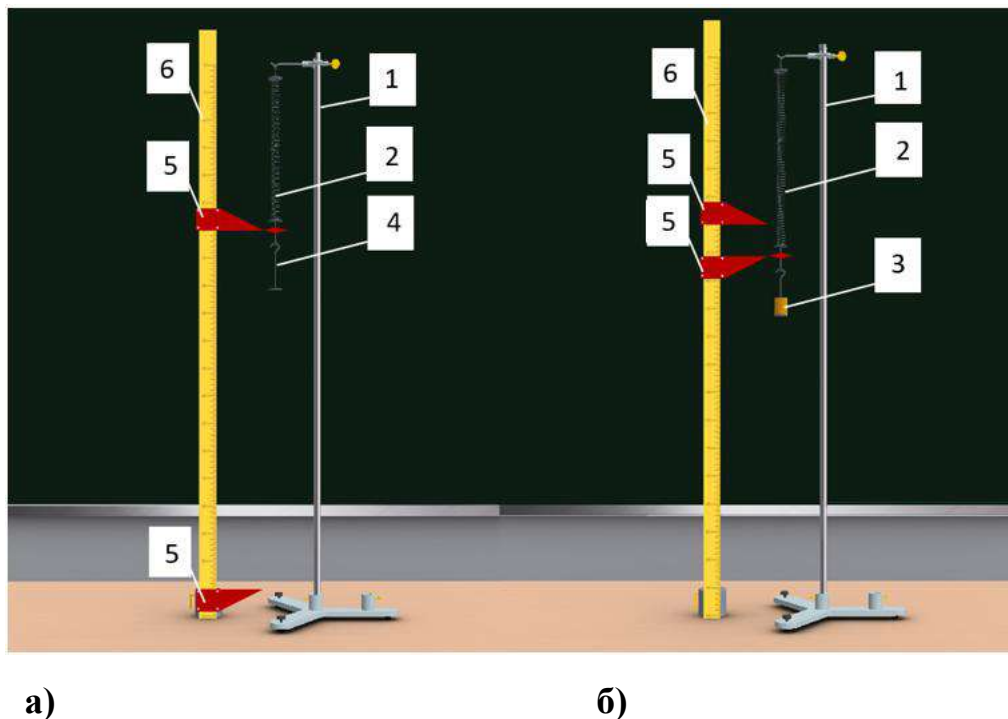


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки перед началом работы (а) и с подвешенным грузом (б): 1 – штатив, 2 – пружина, 3 – грузик, 4 – платформа-держатель для грузов, 5 – указатели, 6 – линейка.

Порядок проведения эксперимента

1. Занесите в таблицу 1 предложенные преподавателем исходные данные: число

витков n , диаметр D для каждой из пружин, начальную длину пружины L .

Таблица 1. Зависимость удлинения ΔL пружин от внешней силы F

№	m , кг	F , Н	Пружина 1 $n_1 = \dots$; $D_1 = \dots$ (мм); $L_1 = \dots$ (см); $k_1 = \dots$ (Н/м).	Пружина 2 $n_2 = \dots$; $D_2 = \dots$ (мм); $L_2 = \dots$ (см); $k_2 = \dots$ (Н/м).	Пружина 3 $n_3 = \dots$; $D_3 = \dots$ (мм); $L_3 = \dots$ (см); $k_3 = \dots$ (Н/м).
			ΔL_1 , м	ΔL_2 , м	ΔL_3 , м
1.					
2.					
...					

2. Запустите программу виртуальной лабораторной работы «Закон Гука». Нажмите кнопку «Начать эксперимент».

3. На панели параметров эксперимента (рис.4) установите параметры первой пружины: число витков n_1 , диаметр D_1 , длину пружины L_1 . Запишите в таблицу 1 значение коэффициента жесткости k_1 , которое отображается на панели параметров (это значение, рассчитанное по формуле 2 с учётом заданных параметров пружины).

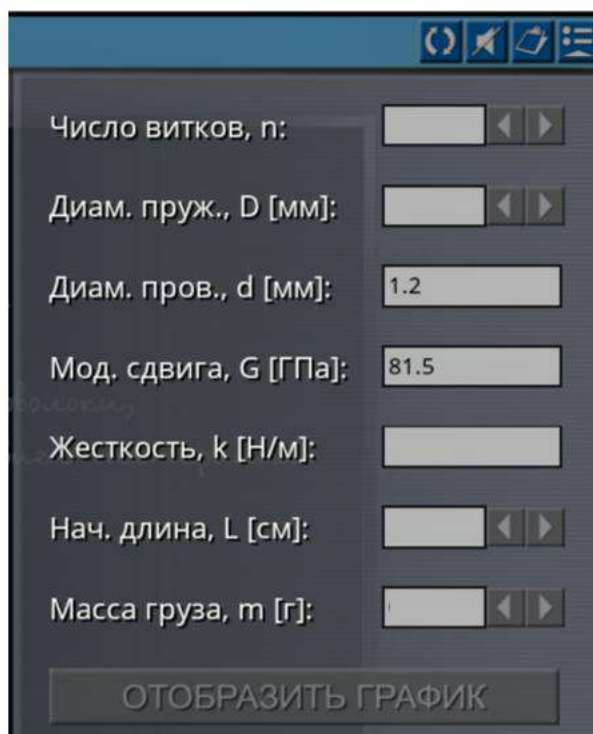


Рис.4. Панель параметров эксперимента

4. Изменяя массу груза от 50 г до 250 г, наблюдайте, как изменяется удлинение пружины по мере увеличения массы.
5. Получите файл результатов измерений *data_sheet.csv*, в котором отображаются значения удлинения пружины ΔL , соответствующее каждой из масс груза.
6. Полученные данные занесите в таблицу 1.
7. Повторите действия по пунктам 4-7 для второй и третьей пружины.

Обработка результатов

1. Для каждой массы определите значение внешней силы

$$F = mg,$$

где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Полученные значения занесите в таблицу 1.

2. На одном графике изобразите зависимости $F(\Delta L)$ для отдельных пружин (экспериментальные точки каждой зависимости отметьте своим значком: кружочки, треугольники, крестики и т.п.). Убедитесь, что графики представляют собой линейные зависимости.

3. Методом парных точек определите угловые коэффициенты зависимостей – жёсткости каждой из пружин k_1 , k_2 и k_3 . Для каждого случая оформите отдельную таблицу, аналогичную таблице 2. Используйте для обработки только точки, лежащие на линейном участке.

Таблица 2. Определение углового коэффициента зависимости $F_{\text{упр}}(\Delta L)$ методом парных точек

Пары точек i-j	ΔL_i , м	ΔL_j , м	F_i , Н	F_j , Н	$k = \frac{\Delta F_{ij}}{\Delta L_{ij}}$, Н/м	$k_i - \langle k \rangle$, Н/м	$(k_i - \langle k \rangle)^2$, (Н/м) ²
					$\langle k \rangle =$		$\sum (k_i - \langle k \rangle)^2 =$

4. Вычислите среднее значение, среднеквадратичное отклонение и случайную погрешность результата измерений жёсткости пружин.

5. Сравните значения жёсткостей k_i , полученные при обработке графиков, со значениями, рассчитанными по формуле 2 и отображаемыми на панели параметров эксперимента.

6. Нажав функцию «отобразить график», получите на экране график зависимости нагрузки от изменения длины $F(\Delta S)$ ($\Delta S = \Delta L$). Меняя последовательно один из параметров (число витков n , диаметр D , начальную длину пружины L) сделать вывод о характере влияния каждого из параметров на вид

графика.

Контрольные вопросы

1. Какие деформации называются упругими?
2. Сформулируйте закон Гука.
3. Почему закон Гука выполняется для пружины даже при существенных деформациях?
4. Чему равен суммарный коэффициент жесткости двух одинаковых пружин, соединенных последовательно? Параллельно?
5. От каких параметров зависит коэффициент жесткости?

Литература

1. Иванов В. К. Физика. Механика. Колебания: учеб. пособие/ В. К. Иванов. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. 224 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3 томах / И. В. Савельев. — 17-е изд., стер. — СПб.: Лань, 2021 — Том 1: Механика. Молекулярная физика — 2020. — 436 с.
3. Физика. Практическая обработка экспериментальных данных: метод. указания / сост.: Б. Д. Агапьев, В. В. Козловский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – 61 с.