

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой общей физики ФТИ

 А.М. Лидер

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Проверка применимости закона Гука для упругих  
материалов**

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
1-44 по курсу «Общая физика» для студентов всех  
направлений и специальностей

Издательство  
Томского политехнического университета  
2017

УДК 537  
ББК 22.2

**Проверка применимости закона Гука для упругих материалов:**  
методические указания к работе 1-44 по курсу «Общей физики» для  
студентов всех направлений и специальностей / сост. Н.В.  
Чистякова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во  
Томского политехнического университета, 2017. – 13 с.

УДК 537  
ББК 22.2

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
Общей физики ФТИ  
« \_\_\_\_\_ » 2017 г.

Председатель  
учебно-методической комиссии

 А.М. Лидер

*Рецензенты*

Доктор педагогических наук,  
профессор кафедры ОФ ФТИ НИ ТПУ

*В.В. Ларионов*

Старший преподаватель  
кафедры ОФ ФТИ НИ ТПУ

*Т.В. Смекалина*

## ЗАКОН ГУКА

**Цель работы:** проверить применимость закона Гука для упругих материалов на примере пружины и резиновой ленты.

**Приборы и принадлежности:** компьютер, установка для проверки закона Гука, набор гирь, набор пружин и резиновая лента.

### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Деформацией твердого тела называется изменение формы и объема тела. Деформация возникает в случае, когда различные части тела совершают неодинаковые перемещения. При деформации изменяются расстояния между частицами тела (атомами и молекулами), вследствие чего возникают силы упругости.

Деформация зависит как от материала, так и от размера тела и направления приложения силы, вдоль которого действуют внешние силы. Деформации могут быть упругими или пластическими. Деформации считаются упругими, если тело возвращается к первоначальным размерам, после прекращения действия сил. Деформации, которые не исчезают после прекращения действия внешней силы, называются пластическими.

Наиболее простые виды деформации тела: растяжение-сжатие, сдвиг, изгиб, кручение. В большинстве практических случаев наблюдаемая деформация представляет собой комбинацию нескольких одновременных простых деформаций. В конечном счёте, любую деформацию можно свести к двум наиболее простым: растяжению (или сжатию) и сдвигу.

Пружина представляет собой простой пример упругого тела (рисунок 1).

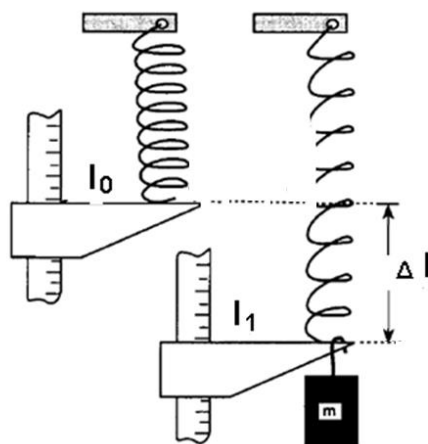


Рисунок 1. Измерение удлинения пружины

Если отклонение  $\Delta l$  от первоначальной длины  $l_0$  пружины не слишком велико, возвращающая сила  $F_R$  пружины оказывается пропорциональной ее удлинению (или сжатию):

$$F_R = k \cdot \Delta l \quad (1)$$

Это закон Гука, в котором коэффициент пропорциональности  $k$  в случае пружин называется коэффициентом жесткости. При действии на пружину внешней силы, например, силы тяжести  $F=mg$  (тело массой  $m$ ,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения), новое положение равновесия достигается при длине пружины  $l_1$ , для которой сила тяжести массы  $m$  равна возвращающей силе пружины:

$$F_R = k \cdot \Delta l = m \cdot g = F \quad (2)$$

Поэтому удлинение пружины пропорционально силе  $F$ :

$$\Delta l = F / k \quad (3)$$

Длина растянутой пружины определяется по формуле:

$$l_1 = l_0 + \Delta l = l_0 + \frac{mg}{k}. \quad (4)$$

Для растяжения металлического стержня, закон Гука можно записать в виде:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (5)$$

где  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$  – относительное удлинение (сжатие) стержня

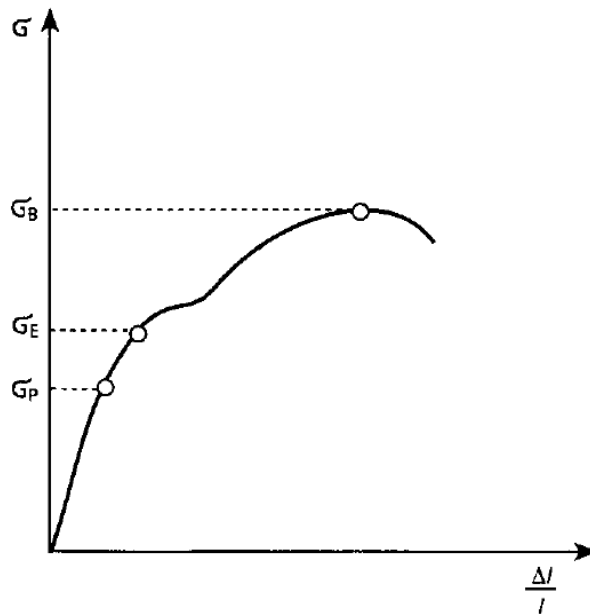
(относительная продольная деформация),  $\sigma = \frac{F}{S}$  – нормальное напряжение в поперечном сечении, которое определяется как сила, приходящая на единицу площади сечения стержня,  $E$  – модуль упругости (модуль Юнга).

Коэффициент жесткости пружины также рассчитывают по формуле:

$$k = \frac{G \cdot d_D^4}{8 \cdot d_F^3 \cdot n}, \quad (6)$$

где  $G$  – модуль сдвига, ГПа (для стали 80ГПа),  $n$  – количество витков,  $d_F$  – диаметр пружины, м,  $d_D$  – диаметр проволоки, м. Выполнив несложные измерения, можно самостоятельно определить коэффициент жесткости пружины.

Закон Гука применим для напряжений, не превышающих предела упругости. На рисунке 2 показан характер поведения металлической проволоки в зависимости от приложенного напряжения.



*Рисунок 2. Качественный график зависимости относительного удлинения проволоки от напряжения*

Предельное значение пропорциональной зависимости ( $\sigma_p$ ) в общем случае находится ниже предела упругости ( $\sigma_E$ ), выше которого форма твердого тела постоянно изменяется из-за внутренних молекулярных перестроений. В этом диапазоне напряжений тело называется пластичным. Если деформирующие силы превышают предел прочности ( $\sigma_B$ ), твердый материал начинает течь и тело разрушается. Примером тела, для которого не выполняется закон Гука при малых деформирующих силах, может служить резиновая лента.

Для резиновой ленты характерен механический гистерезис. Под механическим гистерезисом понимают отставание деформации по фазе от напряжения при циклических деформациях, обусловленное неидеальной упругостью резиновой ленты. Вследствие этого одинаковым напряжениям соответствуют разные величины деформации, а одинаковым деформациям – разные напряжения. Механический гистерезис наблюдается как в твердых телах, так и в высокоэластичных полимерах. Кривая зависимости деформации от напряжения при циклических деформациях представляет собой замкнутую гистерезисную петлю (рисунок 3). Площадь, ограниченная петлей, является мерой работы, затраченной на преодоление сил внутреннего трения, т.е. мерой количества тепла, выделяемого за один цикл. Механический гистерезис обуславливает наличие механических потерь. Для идеально упругого тела обе ветви гистерезисной петли сливаются в одну, гистерезис отсутствует.

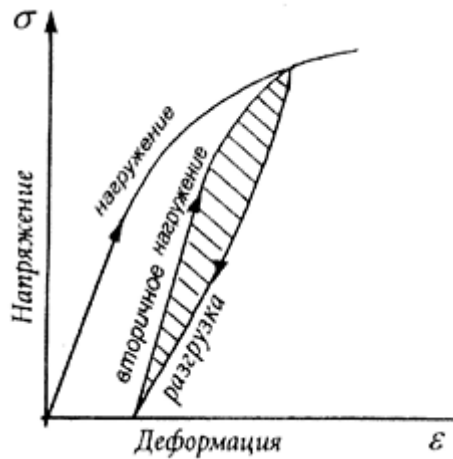


Рисунок 3. Механический гистерезис

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

На рисунке 4 представлена схема экспериментальной установки для изучения закона Гука. Данная установка состоит из штатива (1), на котором закреплен датчик “Собга” (2) для измерения силы тяжести, действующей на держатель (3) со стороны пружины (или резиновой ленты) (4), и платформы с грузами (5). С помощью измерительной линейки (6) и уровней (7, 8) измеряют удлинение пружины таким образом, что верхний уровень (7) фиксирует положение пружины без грузов ( $l_0$ ), которое не изменяется на протяжении всего эксперимента. Положение нижнего уровня (8) фиксирует конечное координату пружины ( $l_1$ ).

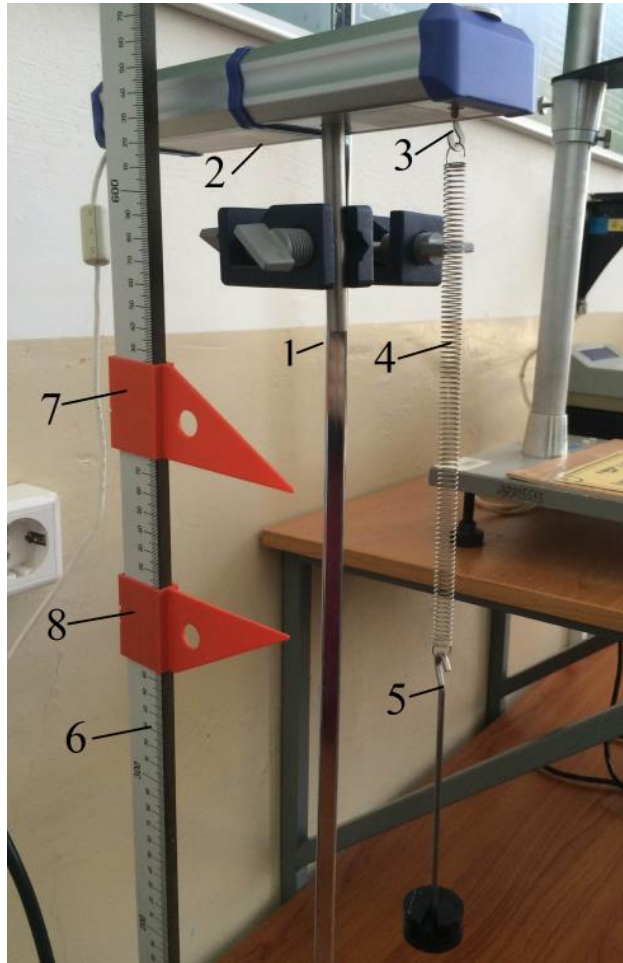


Рисунок 4. Схема экспериментальной установки

Обработка данных, полученных с датчика “Собра”, осуществляется в программе “measure”. На рисунке 5 представлен интерфейс программы. Значения силы тяжести, действующей на держатель, расположены в верхнем левом углу.



Рисунок 5. Интерфейс программы “measure”

## Задание

1. Получить зависимость удлинения пружин с разными коэффициентами жёсткости от величины приложенной силы.
2. Проверить применимость закона Гука для резиновой ленты.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

**Упражнение 1.** Получение зависимости удлинения пружин с разными коэффициентами жёсткости от величины приложенной силы.

1.1. Соберите установку как показано на рисунке 4. Подключите датчик “Собга” к компьютеру.

1.2. Включите компьютер и запустите программу “*measure*”. Рабочее поле программы представлено на рисунке 5. В таблице 1 представлены значения коэффициента жесткости трех пружин и диаметры проволоки.

Таблица 1

№ пружины	Коэффициент жесткости, Н/м	Диаметр проволоки, мм
1	3	0,79
2	20	0,61
3	30	0,79

1.3. Подвесьте на держатель пружину. Установите верхний уровень на высоте нижнего конца пружины и запишите соответствующее положение  $l_0$ .

1.4. Подвесьте к пружине платформу без грузов.

1.5. Затем на платформу добавляйте грузики массой 10 г и фиксируйте значение положения конца пружины  $l_1$ .

1.6. На экране программы отображается значение силы тяжести, действующей на держатель. Значения силы тяжести и положения пружины  $l_1$  необходимо занести в таблицу 2. Проведите несколько измерений, постепенно увеличивая массу грузов до 50 г с шагом по 10 г.

1.7. Рассчитайте величину удлинения  $\Delta l = l_1 - l_0$  для каждого измерения и занесите в таблицу 2.

1.8. Проведите измерения для других пружин с разными коэффициентами жесткости по пунктам 1.3 – 1.8.

1.9. Постройте график зависимости силы тяжести, действующей на держатель, от удлинения пружины  $F=f(\Delta l)$  и



рассчитайте коэффициент жесткости пружины, который будет равен угловому коэффициенту касательной (тангенсу угла наклона  $tg\alpha = \Delta F / \Delta l$ ).

Таблица 2

Номер измерения	$F, \text{ Н}$	Пружина 1, $l_0 = \dots \text{ мм}$		Пружина 2, $l_0 = \dots \text{ мм}$		Пружина 3, $l_0 = \dots \text{ мм}$	
		$l_l, \text{ мм}$	$\Delta l, \text{ мм}$	$l_l, \text{ мм}$	$\Delta l, \text{ мм}$	$l_l, \text{ мм}$	$\Delta l, \text{ мм}$
1							
2							
3							
4							
5							

1.9. Рассчитайте коэффициент жесткости пружины по формуле 6, используя данные таблицы 1.

2. Сравните полученные значения коэффициентов жесткости пружин рассчитанные по формуле и из графиков с табличными.

**Упражнение 2.** Проверить применимость закона Гука для резиновой ленты.

2.1. Замените пружину резиновой лентой.

2.2. Для получения кривой нагружения-разгружения резиновой ленты необходимо проделать пункты 1.2 – 1.4 из упражнения 1. На этапе нагружения (рисунок 3) постепенно увеличивайте массу грузов до 100 г с шагом по 10 г, результаты измерения занесите в таблицу 3, а на этапе разгружения уменьшайте массу в обратном направлении.

2.3. Рассчитайте величину удлинения резиновой ленты  $\Delta l_n = |l_1 - l_0|$  для этапа нагружения и  $\Delta l_p = |l_1 - l_0|$  для этапа разгружения, данные занесите в таблицу 3.

2.4. Постройте график зависимости силы тяжести, действующей на держатель, от удлинения резиновой ленты  $F = f(\Delta l)$ .

Таблица 3

Резиновая лента, $l_0 = \dots \text{ мм}$					
Номер измерения	$F, \text{ Н}$	Этап нагружения		Этап разгружения	
		$l_l, \text{ мм}$	$\Delta l_n, \text{ мм}$	$l_l, \text{ мм}$	$\Delta l_p, \text{ мм}$
1					
2					
...					
...					

10					
----	--	--	--	--	--

2.5. Сделайте вывод о применимости закона Гука для резиновой ленты.

2.6. Определите коэффициенты жесткости для трех пружин. Сделайте выводы о зависимости удлинения пружин с разными коэффициентами жесткости от величины приложенной силы.

2.7. Сделайте вывод о проделанной работе.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое деформация?
2. Дайте определение деформации сдвига?
3. Какие деформации твердых тел являются упругими?
4. Какие деформации твердых тел являются пластическими?
5. Сформулируйте линейный закон Гука?
6. От каких величин зависит продольная деформация?
7. Какова зависимость силы упругости от удлинения пружины?
8. Как направлена сила упругости?
9. Какова размерность входящих в закон Гука величин?
10. Каков физический смысл модуля упругости?
11. Область применимости закона Гука?
12. Приведите примеры упругих деформаций?
13. В чем заключается сущность упругого механического гистерезиса при растяжении резиновой ленты?
14. Как вычисляются абсолютная и относительная погрешности определения коэффициента жесткости пружины в лабораторных условиях?
15. Объясните схему возникновения продольных и поперечных деформаций в образце при действии растягивающей (или сжимающей) силы.
16. Перечислите механические характеристики материалов.
17. Объясните причину нелинейности между величинами напряжений и деформаций для резинового образца.
18. Напишите выражение связи деформаций и напряжений при растяжении металлического стержня на участке упругой деформации и дайте описание входящих в него величин.
19. Что называют диаграммой растяжения?
20. Проведите анализ деформационной кривой.
21. Выведите формулу для определения удельной потенциальной энергии упругой деформации.
22. Какой физический смысл имеет площадь под кривой упругого механического гистерезиса?

23. К какому виду фундаментальных взаимодействий относятся силы упругости?
24. Почему для пружин выполняется закон Гука, а для резиновой ленты нет?
25. Чему равен суммарный коэффициент жесткости двух одинаковых пружин, соединенных последовательно и параллельно?
26. От каких параметров зависит коэффициент жесткости?
27. Как изменится коэффициент жесткости пружины при увеличении диаметра проволоки, из которой состоит пружина?

## ГЛОССАРИЙ

**Деформация кручения** – это вид деформации, при которой в поперечном сечении стержня возникает лишь один силовой фактор – крутящий момент.

**Деформация изгиба** – вид деформации, при котором нарушается прямолинейность главной оси тела.

**Деформация растяжение-сжатие** – вид продольной деформации, возникающий в том случае, если нагрузка к нему прикладывается по его продольной оси.

**Деформация сдвига** — вид деформации, при которой нагрузка прикладывается параллельно основанию тела. В ходе деформации сдвига одна плоскость тела смещается в пространстве относительно другой.

**Деформация твердого тела** – изменение формы и объема тела.

**Коэффициент жесткости** – коэффициент, связывающий в законе Гука удлинение упругого тела и возникающую вследствие этого удлинения силу упругости.

**Механический гистерезис** – энергия, поглощенная в полном цикле нагружения и разгружения в области предела упругости и представленная замкнутым контуром кривых зависимости деформаций от напряжения для процессов нагружения и разгружения.

**Пластинчатые деформации (неупругие деформации)** – деформации, которые не исчезают после прекращения действия внешних сил.

**Предел прочности** – механическое напряжение, выше которого происходит разрушение материала.

**Предел упругости** – механическая характеристика материала, показывающая максимальное значение напряжения, при котором в элементах конструкций не возникает остаточных деформаций (т.е. имеют место только упругие деформации).

**Сила упругости** – сила, возникающая в теле в результате его деформации и стремящаяся вернуть тело в исходное (начальное) состояние.

**Упругие деформации** – деформации, которые полностью исчезают после прекращения действия внешней силы.

Учебное издание

## **ПРОВЕРКА ПРИМЕНИМОСТИ ЗАКОНА ГУКА ДЛЯ УПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
1-44 по курсу «Общая физика» для студентов всех направлений и  
специальностей

*Составители*

ЧИСТЯКОВА Надежда Владимировна

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном  
соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 10.12.2016. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.  
Заказ . Тираж 50 экз.

---

Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет


Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета  
сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO  
9001:2008



---

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)