



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Практикум
по дисциплине
«Физика»

«Закон Гука»

Лабораторная работа № 1-13

Авторы
Кривошеев Н.В.,
Ларина Т.Н.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Указания содержат краткую теорию по теме «Закон Гука», описание рабочей установки и методику эксперимента, контрольные вопросы для самоподготовки и тестовые задания.

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Физика» для выполнения лабораторной работы по программе курса «Физика».

Авторы

к.ф.-м.н., доцент, профессор Кривошеев Н.В.,
к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры Ларина Т.Н.



Оглавление

Лабораторная работа № 1-13.....	4
Закон Гука.....	4
Порядок выполнения работы	10
Обработка результатов эксперимента	13
Контрольные вопросы.....	13
Тесты	14
Указания по технике безопасности	18
Литература.....	20

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1-13

Закон Гука

Цель работы: Экспериментальная проверка выполнения закона Гука для деформации растяжения металлических пружин и резинового образца. Изучение явления упругого гистерезиса.

Приборы и принадлежности – лабораторная установка для изучения закона Гука РНУВЕ Р2130101: штатив с треугольным основанием, поддержка штанги, два прямоугольных зажима с курсорами, держатель груза, четыре груза массой 10 грамм, три груза массой 50 грамм, две спиральные пружины разной жесткости, шелковая нить, резиновая полоска квадратного сечения, шкала измерений.

Краткая теория и описание методики измерения

Все реальные тела под действием внешних сил изменяют свою форму и размеры, т. е. *деформируются*. Деформации, исчезающие после прекращения действия деформирующих сил, называются упругими деформациями. Если при прекращении внешнего воздействия деформации остаются, то они называются пластическими (остаточными).

Деформации можно разделить на однородные, при которых изменение размеров одинаково во всех частях деформируемого тела, и неоднородные, когда различные части тела деформируются по-разному. К однородным деформациям относятся деформации растяжения–сжатия и сдвига. Неоднородными деформациями являются деформации изгиба и кручения. В теории упругости доказывается, что все виды деформаций (растяжение или сжатие, сдвиг, изгиб, кручение) могут быть сведены к одновременно происходящим деформациям растяжения – сжатия и сдвига.

Для описания деформаций растяжения – сжатия используются следующие характеристики:

$$\sigma \text{ – механическое напряжение: } \sigma = \frac{F}{S} .$$

Здесь F – модуль силы,

$$\text{в СИ } [\sigma] = 1 \left[\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right] = 1 [\text{Па}] . \text{ Если сила действует перпендикулярно поверхности образца (рис.1), то вызываемое ей механическое напряжение называется нормальным } (\sigma) . \text{ Для одно-}$$

Закон Гука

родного стержня длиной L и площадью поперечного сечения S (рис.1), к концам которого приложены направленные вдоль его оси силы F_1 и F_2 ($F_1 = F_2 = F$), длина стержня меняется на величину Δl , а диаметр D – на величину ΔD .

Количественной мерой степени деформации является относительная деформация:

\mathcal{E} – относительная продольная деформация растяжения – сжатия

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta l}{l},$$

\mathcal{E}' – относительная поперечная деформация растяжения–сжатия

$$\mathcal{E}' = \frac{\Delta D}{D}.$$

При этом $\mathcal{E}' = -\mu \mathcal{E}$, где μ – положительный коэффициент, зависящий от свойств материала и называемый коэффициентом [Пуассона](#).

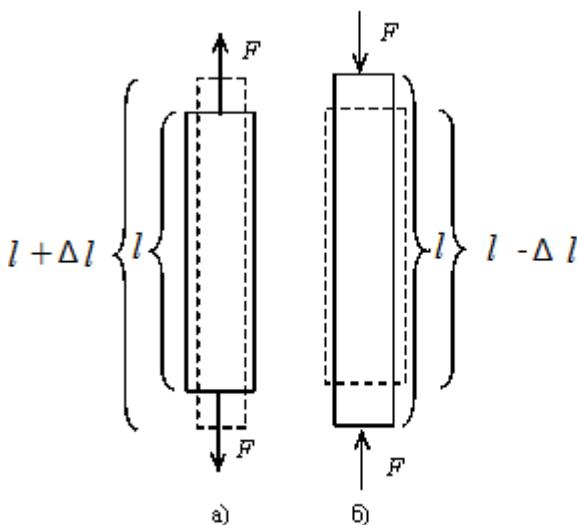


Рис.1. Деформация растяжения-сжатия

Закон Гука

Закон Гука описывает упругие деформации только при их малых величинах ($\Delta l \rightarrow 0$). В соответствии с ним механиче-

Закон Гука

ское напряжение и относительная деформация связаны между собой прямо пропорциональной зависимостью в виде:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{ES} \quad \text{отсюда} \quad F = \frac{ES}{l} \Delta l = k\Delta l, \quad \text{где}$$

k — коэффициент упругости.

Модуль [Юнга](#) (E) определяется напряжением, вызывающим относительную деформацию, равную единице, т.е. соответствует изменению длины образца вдвое. Модуль Юнга (E) зависят от свойств материала. Например, для стали: $E=2 \cdot 10^5$ МПа. Величина модуля Юнга зависит от температуры. У некоторых материалов, например, у резины, с увеличением температуры модуль Юнга тоже увеличивается, тогда как у большинства других материалов, например, у металлов модуль Юнга [уменьшается](#).

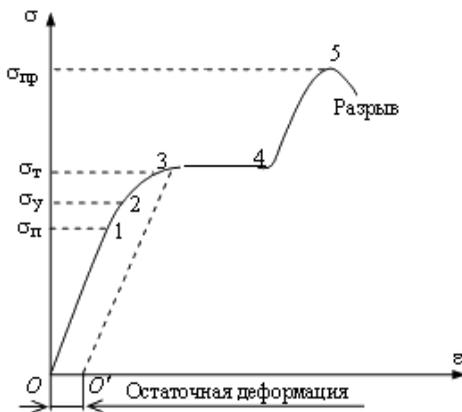


Рис. 2. Диаграмма растяжения-сжатия металлического образца

Диаграммой растяжения–сжатия называется графическое представление зависимости механического напряжения σ от величины относительного удлинения ε . Пример диаграммы растяжения для металлического образца изображен на рис. 2. Участок 0–1 графика (участок прямо пропорциональной зависимости σ от ε , на котором выполняется закон Гука, а деформации являются упругими) заканчивается максимальным значением нормаль-

Закон Гука

ного напряжения $\sigma_{\text{п}}$, называемым пределом пропорциональности. При дальнейшем увеличении нагрузки зависимость напряжения от относительного удлинения становится нелинейной (участок 1–3). На этом участке наблюдается [остаточная деформация](#) образца, т.е. часть полной деформации, которая не исчезает после его разгрузки. Однако, на участке 1–2 остаточная деформация настолько мала, что ею можно пренебречь и считать, что упругие свойства тел сохраняются. Максимальное значение $\sigma_{\text{у}}$ нормального напряжения, при котором еще не возникает существенная остаточная деформация, называют пределом упругости. Участок (3–4) соответствует увеличению нагрузки выше предела упругости. На этом участке остаточная деформация становится значительной, а образец начинает удлиняться практически при постоянном напряжении. Это явление называют текучестью материала. Нормальное напряжение $\sigma_{\text{т}}$ называют пределом текучести. Если механическое напряжение больше предела текучести, то определенные упругие свойства тела восстанавливаются (участок 4–5 графика). Максимальное значение нормального напряжения $\sigma_{\text{пр}}$, при котором происходит разрыв образца, называют пределом прочности. Вид диаграмма напряжений для реальных твердых тел зависит от различных факторов – природы испытуемого материала, напряженного состояния, скорости, температуры испытания и др. Одно и то же твердое тело при кратковременном воздействии сил может проявлять себя как хрупкое, а при длительных, но слабых силах является текучим. При растяжении образца площадь его [поперечного сечения сужается](#), что приводит к увеличению механического напряжения.

Для полимерных материалов, например, резины, закон Гука не выполняется даже при начальной стадии деформации. Нелинейная зависимость между внешней нагрузкой и абсолютной деформацией позволяет оценить явление механического упругого гистерезиса, когда кривые нагружения и разгрузки не совпадают. Величина удлинения так же зависит от предыстории резинового образца. Кривая, соответствующая постепенному увеличению приложенной нагрузки, не совпадает с кривой, соответствующей плавному уменьшению силы, приложенной к образцу. Такое явление называют упругим

Гистерезисом, рис. 3.

Закон Гука

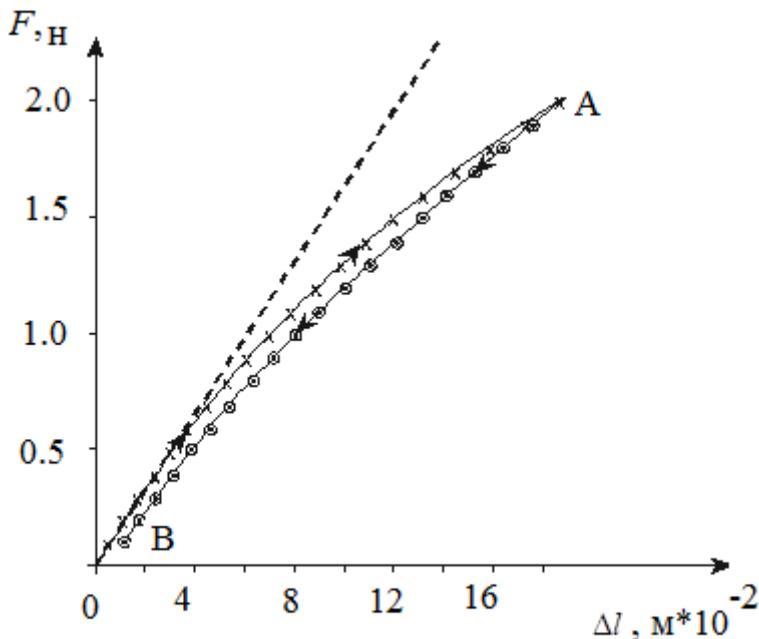


Рис. 3. Зависимость силы, действующей на резиновый шнур F от ее

абсолютной деформации Δl

Если подвергнуть растяжению тот же самый резиновый образец, то его удлинение Δl будет значительно больше, чем удлинение нового образца.

Гистерезис кривой растяжения вызван двумя причинами: с одной стороны, возврат к первоначальной форме мгновенно происходит лишь только у части образца, тогда как остальная часть принимает прежние размеры в течение нескольких часов. Этот обратимый процесс называют упругим последствием, материал реагирует как вязкая среда. С другой стороны, как только предел упругости превышен, начинается изменение внутренней структуры материала, что приводит к изменению формы образца. Данный процесс является необратимым, поскольку работа, связанная с изменением структуры тела превращается в тепло.

Для упругой металлической спиральной пружины с подвешенным к ней грузом (рис. 4) закон Гука записывается в виде:

$$F_y = -k \Delta l, \quad (2)$$

где: k - коэффициент упругости, $\Delta l = l_1 - l_0$ - удлинение

Закон Гука

пружины, F_y - сила упругости. Кроме силы упругости на пружину действует вес подвешенного к ней груза. Так как груз находится в состоянии равновесия вес груза численно равен его силе тяжести, т.е.

$$k \Delta l = mg = F, \quad (3)$$

где m - масса груза, g - ускорение свободного падения. Следовательно, удлинение пружины прямо пропорционально весу подвешенного груза, т.е.

$$\Delta l = \frac{mg}{k} = F. \quad (4)$$

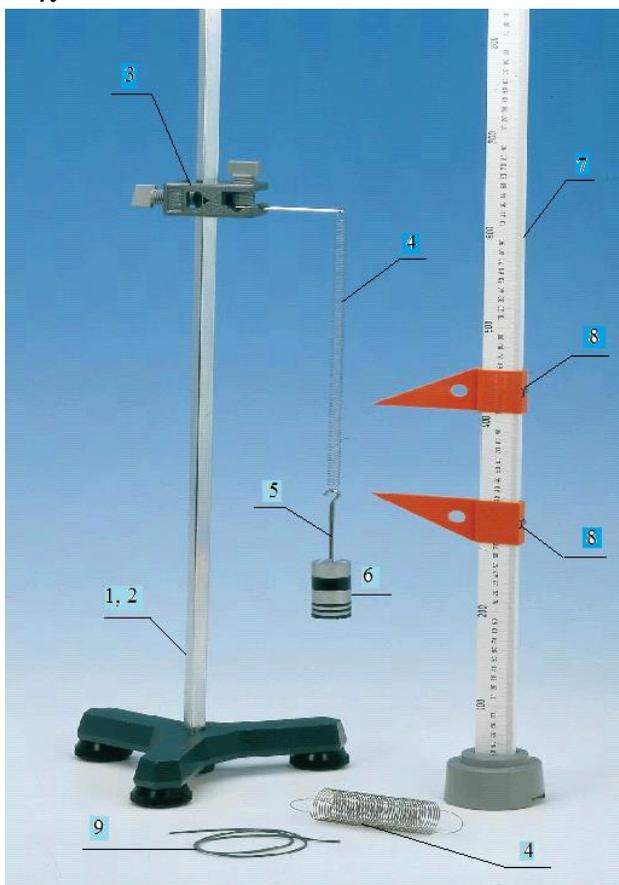


Рис. 4. – лабораторная установка для изучения закона Гука PHYWE P2130101:

Закон Гука

1,2-штатив с треугольным основанием; 3-поддержка штанги; 4-две спиральные пружины разной жесткости; 5-держатель груза; 6-грузы; 7-шкала измерений;

8-два прямоугольных зажима с курсорами; 9-резиновая полоска.

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицы для результатов измерений и вычислений

(таблицы 1, 2,3).

Таблица 1

Результаты измерений силы F и удлинения Δl для пружины 1

№ п/п	F_i, H	x_0, MM	x_i, MM	$\Delta l, MM$	$k_i, \frac{H}{M}$	$\langle k \rangle, \frac{H}{M}$
1	0.1					
2	0.2					
3	0.3					
...						
20	2.0					

Таблица 2

Результаты измерений силы F и удлинения Δl для пружины 2

№ п/п	F_i, H	x_0, MM	x_i, MM	$\Delta l, MM$	$k_i, \frac{H}{M}$	$\langle k \rangle, \frac{H}{M}$
1	0.1					
2	0.2					
3	0.3					
...						
20	2.0					

Таблица 3

Результаты измерений силы F и удлинения Δl для резинового образца, вызванного действием этой силы

№ п/п	Нагрузка					Разгрузка			
	$F_i,$ Н	$x_0,$ мм	$x_i,$ мм	$\Delta l,$ мм	$k_i,$ $\frac{H}{M}$	$F_i,$ Н	$x_i,$ мм	$\Delta l,$ мм	$k_i,$ $\frac{H}{M}$
1	0.1					2.0			
2	0.2					1.9			
3	0.3					1.8			
...									
20	2.0					0.1			

2. Используя экспериментальную установку (рис. 4) проведите измерения абсолютного удлинения пружины Δl в зависимости от приложенной силы F для каждой из двух пружин.

Для этого отметьте на шкале измерений положение нижнего конца недеформированной пружины x_0 (рис. 5). Запишите данные в таблицу.

Подвесьте к пружине груз массой 10 грамм с помощью держателя грузов. Отметьте на шкале измерений положение нижнего конца нагруженной пружины x_i и результаты занесите в таблицу.

Увеличивая нагрузку на пружину с шагом в 10 грамм, измеряйте соответствующее положение нижнего конца пружины до тех пор, пока максимальная нагрузка не достигнет 200 грамм (рис. 5) и результаты заносите в таблицу. Определите абсолютное удлинение пружины в виде:

$$\Delta l = |x_i - x_0|. \quad (5)$$

Результаты занесите в таблицу.

3. Постройте график зависимости силы, вызывающей деформацию пружины, от удлинения пружины, используя электронные способы обработки

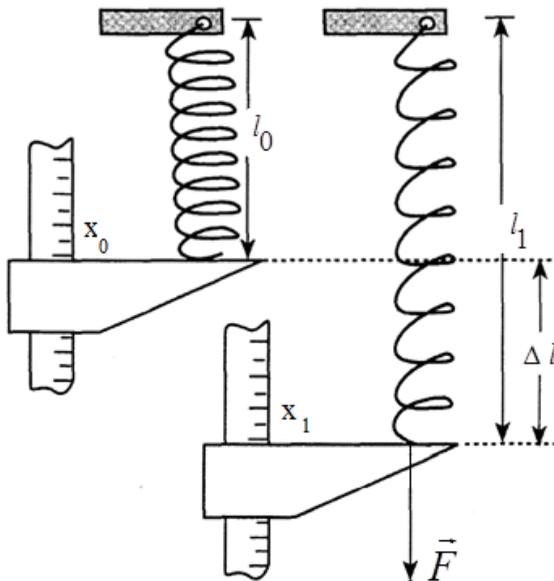


Рис. 5. Схема измерения абсолютного удлинения спиральной пружины

4. Замените спиральную пружину в экспериментальной установке (рис. 4) на резиновый жгут, длиной около 50 см. Подвесьте к резиновому жгуту груз массой 10 граммов, используя держатель грузов. Отметьте положение нижнего конца нагруженного резинового жгута x_i . Последовательно увеличивая массу

груза с шагом в 10 граммов до максимального значения в 200 граммов, отмечайте соответствующие положение нижнего конца резинового жгута. Результаты записывайте в таблицу 3 (нагрузка). Далее последовательно уменьшайте массу подвешенного груза с шагом в 10 граммов и отмечайте положение нижнего конца резинового жгута. Результаты заносите в таблицу 3 (разгрузка).

Положение нижнего конца недеформированного резинового жгута вычисляется приблизительно, используя значения x_1 (10) и x_2 (20) в виде:

Закон Гука

$x_0 = x_1(10) - (x_1(20) - x_1(10))$. Вычислите величину абсолютной деформации по формуле 5.

Обработка результатов эксперимента

1. Вычислить значения коэффициента жесткости

пружины в первом и втором опыте в виде: $k_i = \frac{F_i}{\Delta l}$.

2. Определить среднее значение, абсолютную и относительную погрешности в виде:

$$\langle k \rangle = \frac{\sum_i k_i}{n} \text{ - среднее арифметическое значение,}$$

$\Delta k_i = |k_i - \langle k \rangle|$ - абсолютная погрешность i -того измерения,

$$\langle \Delta k \rangle = \frac{\sum_i \Delta k_i}{n} \text{ - средняя арифметическая погрешность,}$$

$\delta k = \frac{\langle \Delta k \rangle}{n}$ - относительная погрешность, n -число измерений, участвующих в расчетах.

3. Используя данные таблицы 3, построить график зависимости величины силы F , вызывающей удлинение резинового образца от величины удлинения Δl , (кривую гистерезиса).

Контрольные вопросы

1. Виды деформаций и механизмы их формирования.
2. Закон Гука для упругих деформаций растяжения-сжатия и сдвига. Пределы его применения.
3. Физический смысл модуля Юнга и коэффициента Пуассона.
4. Диаграмма напряжений реальных тел. Пределы пропорциональности, упругости, пластичности, прочности.
5. Потенциальная энергия упруго растянутого (сжатого) стержня.
6. Сущность упругого механического гистерезиса при растяжении металлических и полимерных материалов.

Тесты

1. Однородную пружину жесткостью k распилили на 4 одинаковые части.

Жесткость каждой части пружины стала:

Варианты ответов:

а) $4k$; б) $2k$; в) k ; г) $k/4$;

2. Тело, двигающиеся по шероховатой поверхности под действием силы упругости, изменяет свою скорость с течением времени, так как показано на рисунке. В каком из нижеприведенных интервалов времени

абсолютное удлинение пружины будет наибольшим (рис. 1.9)?

Варианты ответов: а) $(t_1; t_2)$; б) $(0; t_1)$; в) $(t_2; t_3)$; г) $(t_3; t_4)$; д) $(t_4; t_5)$

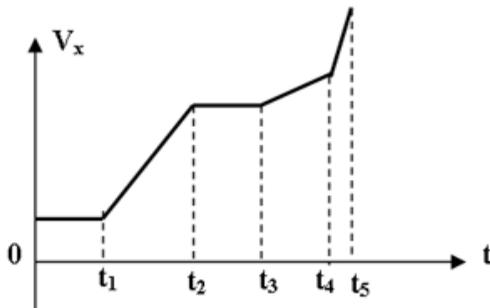
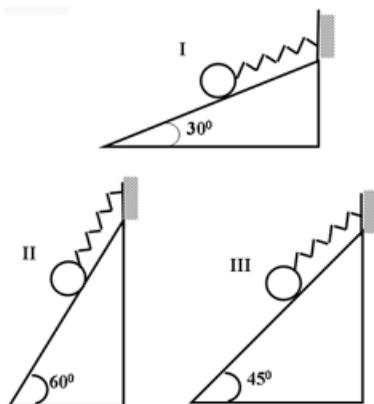


Рис. 1.9

3. Три тела одной и той же массы, находятся в равновесии на трех гладких наклонных плоскостях. В каком из нижеприведенных соотношений находятся между собой жесткости этих пружин, если их абсолютные удлинения одинаковы, (рис. 1.10)?

Варианты ответов:

а) $k_2 > k_3 > k_1$; б) $k_2 < k_3 < k_1$;
в) $k_1 > k_2 > k_3$; г) $k_1 < k_2 < k_3$; д) $k_3 > k_1 = k_2$.



Закон Гука

4. К покоящемуся телу массой m , находящемуся на горизонтальной поверхности, коэффициент трения о которую μ , прикреплена пружина жесткостью k . В некоторый момент времени на пружину начинает действовать постоянная сила. Какой из нижеприведенных графиков наиболее точно отражает зависимость абсолютного удлинения пружины, от силы трения действующей на данное тело, (рис.1.11)?

Варианты ответов:

а; б; в; г; д.

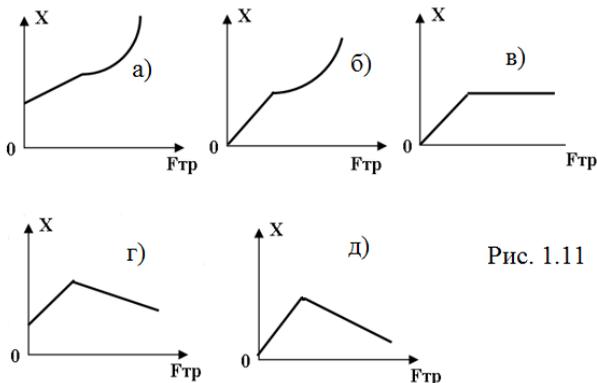


Рис. 1.11

5. Какие из нижеприведенных графиков отражают зависимость коэффициента жесткости от величины действующей силы и от величины абсолютного удлинения для данной пружины, (рис.1.12)?

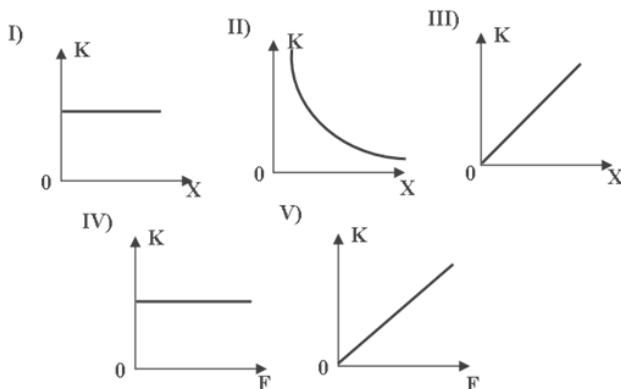


Рис. 1.12

Варианты ответов:

- а) II и IV; б) III и IV; в) II и IV; г) I и V; д) I и IV.

6. Две одинаковые пружины соединены так, как показано на рисунках. Какое из нижеприведенных соотношений об абсолютных удлинениях пружин справедливо, если $m_2 = 2m_1$? (X_1 – удлинение системы пружин с массой m_1 , X_2 – удлинение системы пружин под действием груза массой m_2) (рис.1.13).

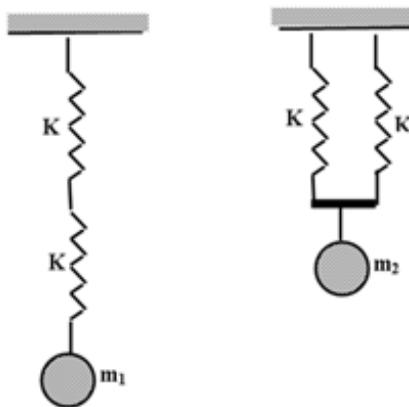


Рис. 1.13

Варианты ответов:

- а)
- $X_1 = X_2$
- ; б)
- $X_1 = 2 X_2$
- ;
-
- в)
- $X_2 = 2 X_1$
- ; г)
- $X_1 = 4 X_2$
- ;
-
- д)
- $X_2 = 4 X_1$
- .

7. Материальная

точка массой 0,1 кг колеблется на вертикальной пружине согласно закону $x = 10 + 2\sin 15t$ (см). Тогда в момент времени 2 с модуль реакции пружины равен...

Варианты ответов:

- а) 12,9; б) 10,4; в) 11,3; г) 14,8; д) 22,5.

8. **Как** отличаются площади поперечного сечения образцов S_1 и S_2 при упругой деформации растяжения – сжатия, (рис. 1.14).

Варианты ответов:

- а)
- $S_1 = S_2$
- ; б)
- $S_1 > S_2$
- ; в)
- $S_1 < S_2$
- .

9. Какая из представленных кривых напряжения реальных тел соответствует наибольшему и наименьшему значению модуля Юнга, (рис.1.15)?

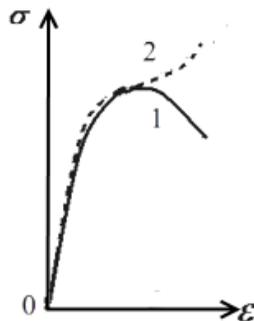


Рис. 1.14

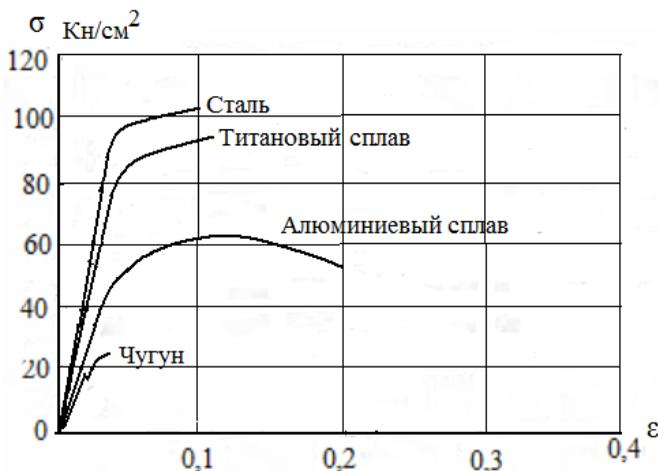


Рис. 1.15

Варианты ответов:

- а) наибольшее значение – сталь, наименьшее значение – алюминий;
- б) наибольшее значение – сталь, наименьшее значение – чугун;
- в) наибольшее значение – титановый сплав, наименьшее значение – алюминий;
- г) наибольшее значение – чугун, наименьшее значение – сталь;

10. Чугун, мрамор, янтарь обладают повышенной хрупкостью, тогда как сталь, медь, свинец не являются хрупкими. Какая из представленных диаграмм напряжения соответствует чугуну, какая стали, (рис. 1.16)?

Варианты ответов:

- а) I, III –чугун, II, IV – сталь;
- б) II, III –чугун I, IV –сталь, .
- в) I, IV –чугун II, III –сталь.

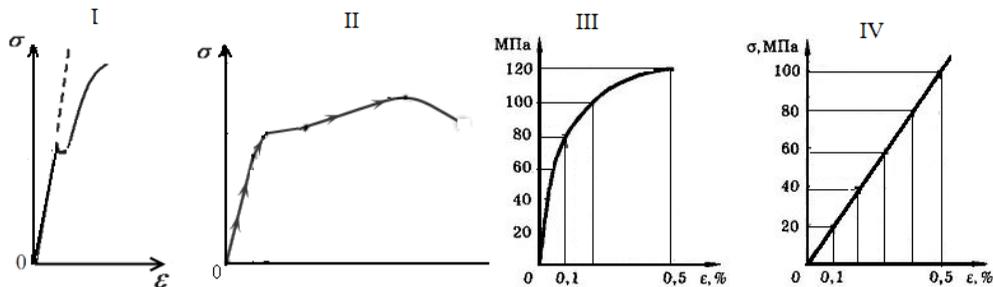


Рис. 1.16

11. Шарик, прикрепленный к пружине и насаженный на горизонтальную ось, совершает гармонические колебания. На рис. 1.17 представлена зависимость проекции силы упругости на положительное направление оси X координаты шарика. Работа силы упругости на этапе $O-A-B$ равна:

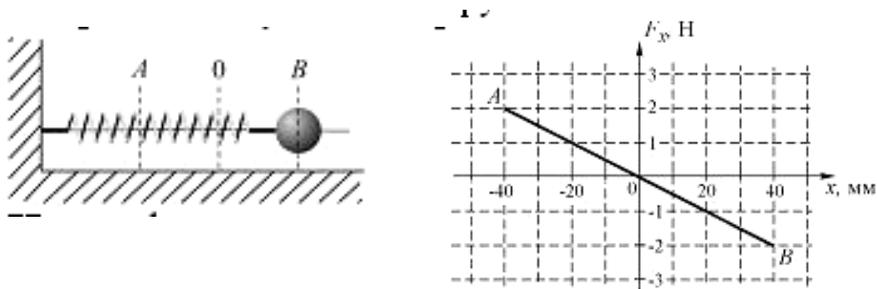


Рис. 1.17

Варианты ответов:

- а) 0 Дж; б) $8 \cdot 10^{-2}$ Дж; в) $4 \cdot 10^{-2}$; г) $-4 \cdot 10^{-2}$.

12. Определить относительное удлинение алюминиевого стержня, если при его растяжении затрачена работа 62,1 Дж. Длина стержня 2 м, площадь поперечного сечения 1 мм^2 , модуль Юнга для алюминия $E=69 \text{ ГПа}$.

Варианты ответов:

- а) $2 \cdot 10^{-2}$; б) $3 \cdot 10^{-2}$; в) $4 \cdot 10^{-2}$; г) $5 \cdot 10^{-2}$;

Указания по технике безопасности

ВНИМАНИЕ! Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности

не допускаются к проведению лабораторных работ. Перед началом лабораторной работы необходимо ознакомиться с инструкцией по ее проведению в методических указаниях.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

1. Включать или выключать электрические рубильники силовых щитов;
2. Подавать электрическое напряжение без предварительной проверки схемы лаборантом или преподавателем;
3. Производить любые изменения в схеме в процессе рабо-

ты;

4. Оставлять без присмотра включенную установку.

При работе с электронагревательными приборами соблюдать меры противопожарной безопасности, не касаться нагревательных элементов руками и горючими предметами.

При обнаружении неисправного оборудования, электрических розеток и вилок немедленно сообщать об этом преподавателю. Запрещается работать на неисправном оборудовании. По окончании работы отключить установку от электропитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2010.
2. Гольцов Ю.И., Ларина Т.Н. Специальные разделы физики. Часть 1. Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2015.- 72с.
3. Общая физика: руководство по лабораторному практикуму: учебное пособие / под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М.: ИНФРА-М, 2008.
4. Материал для тестовых заданий взят с сайта edo.testsu.ru
5. Материал для тестовых заданий взят с сайта physics.regelman.com