

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра физики и методики преподавания физики

ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЮНГА

Методические указания

Составители: А.А. Огерчук, И.Н. Анисина, Т.И. Пискарёва

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящих в образовательную область «Инженерное дело, технологии и технические науки»

2-е издание, стереотипное

Оренбург
2020

УДК 539.32(076.5)
ББК 22.251 я7
ИЗ9

Рецензент – профессор, доктор физико-математических наук Н.А. Манаков

ИЗ9 **Изучение деформации растяжения и определение модуля Юнга**
: методические указания / составители А.А. Огерчук, И.Н. Анисина,
Т.И. Пискарёва; Оренбургский гос. ун-т. – 2-е изд. стереотипное. –
Оренбург : ОГУ, 2020. – 11 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по изучению цепей переменного тока. Работа включает теоретическое изложение материала, описание методики проведения опыта и контрольные вопросы для самоподготовки.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Физика» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящих в образовательную область «Инженерное дело, технологии и технические науки»

УДК 539.32(076.5)
ББК 22.251 я7

© Огерчук А.А.,
Анисина И.Н.,
Пискарёва Т.И.,
составление, 2020
© ОГУ, 2020

Содержание

| | |
|--|----|
| 1 Лабораторная работа. Изучение деформации растяжения и определение модуля Юнга..... | 4 |
| 1.1 Теоретические сведения | 4 |
| 1.2 Экспериментальная часть..... | 7 |
| 1.2.1 Краткое описание лабораторной установки | 7 |
| 1.2.2 Порядок выполнения работы | 9 |
| 1.3 Контрольные вопросы..... | 10 |
| Список использованных источников | 11 |

1 Лабораторная работа. Изучение деформации растяжения и определение модуля Юнга

Цель работы

1. Познакомиться с теоретическим описанием деформации растяжения и сгиба.
2. Экспериментально определить величину растяжения струны под действием различных нагрузок растяжения и модуль Юнга для различных материалов.

1.1 Теоретические сведения

При взаимодействиях тел меняется не только положения их в пространстве, но также изменяется их форма, т.е. происходят различные деформации. Во многих случаях необходимо знать законы, связывающие действующие силы с теми деформациями, которые они вызывают. В общем случае эти связи могут быть неоднозначными и зависеть от величины и характера приложенных сил и других причин. Однако в практически наиболее важных случаях, когда деформации являются малыми, а сами тела упругими, силы однозначно определяют деформации и наоборот.

Среди многочисленного разнообразия возможных деформаций принято выделять однородное растяжение (сжатие), сдвиг, кручение, изгиб. В любом случае произвольный малый объем тела подвергается либо растяжению (сжатию), либо сдвигу, либо одновременному растяжению (сжатию) и сдвигу. Эти два вида деформаций принято называть элементарными. Рассмотрим деформации растяжения (сжатия) и изгиба более подробно.

Деформацией растяжения или сжатия называется деформация, связанная с относительным удлинением или укорочением деформируемого участка. Проанализируем мысленно опыт с растяжением упругого стержня (рисунок 1).

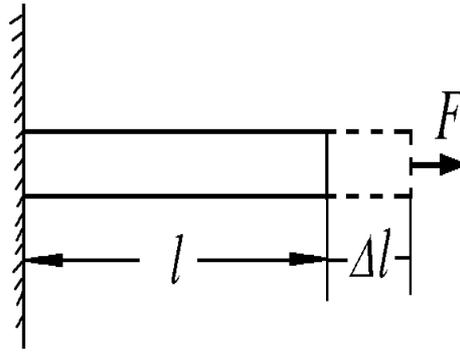


Рисунок 1 – Схематическое представление деформации растяжения

Если материал стержня однороден, то все одинаковые кусочки стержня будут растянуты одинаково при воздействии на стержень некоторой однородной нагрузки. Такую деформацию можно охарактеризовать относительным удлинением ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (1)$$

где Δl – удлинение отрезка стержня, имевшего первоначальную длину l .

Для любого участка упругого стержня величина ε одинакова и зависит от величины растягивающей силы F . Под воздействием этой силы в стержне возникают внутренние силы взаимодействия (усилия) между различными участками стержня. Из условий равновесия каждого отдельного участка следует, что сумма сил, действующих на него, равна нулю, то есть в любом поперечном сечении стержня возникают усилия, равные F . Величину усилия, действующего на единицу площади поперечного сечения, называют *напряжением* и обозначают σ . Если сила направлена по нормали к поверхности, то напряжение называется *нормальным*, если по касательной – *тангенсальным*.

Напряжение, возникающее в произвольном сечении растягиваемого стержня равно

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (2)$$

где S – площадь поперечного сечения стержня.

Будем постепенно увеличивать растягивающую силу F . При небольших усилиях напряжение σ и относительное удлинение ε приблизительно пропорциональны друг другу. При больших значениях σ связь становится нелинейной (рисунок 2).

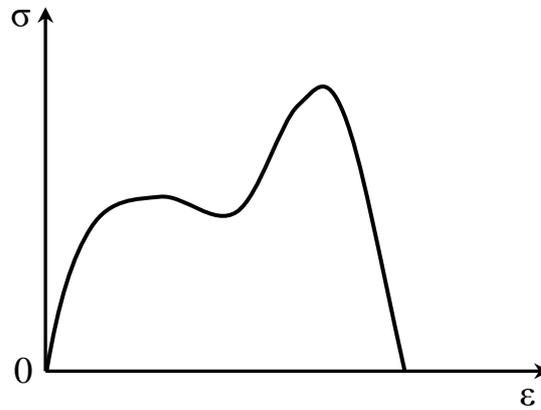


Рисунок 2 – Зависимость $\sigma(\varepsilon)$

После снятия нагрузки тело снова может возвратиться в прежнее состояние. Область малых деформаций и напряжений, при которых отсутствуют остаточные деформации и связь между σ и ε , является однозначной, называется областью упругих деформаций, а максимальное для этой области значение называется *пределом упругости*. При дальнейшем увеличении напряжения деформации перестают быть упругими, в теле возникают необратимые изменения. Еще большее увеличение напряжения приводит к неоднозначной связи между σ и ε , эта область называется *областью текучести*.

Гук экспериментально установил, что для малых деформаций относительное удлинение ε и напряжение σ прямо пропорциональны друг другу. Область деформации, при которых выполняется соотношение

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3)$$

где E – модуль Юнга, который имеет размерность Н/м² или Н/мм²

ε – относительное удлинение или относительное изменение длины стержня.

Так как

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{ES},$$

следовательно

$$F = \frac{ES}{l} \cdot \Delta l = A \cdot \Delta l,$$

где A – коэффициент упругости при поперечном сжатии.

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d},$$

где d – диаметр стержня.

Максимальное значение $\sigma_{пл}$, при котором выполняется соотношение (3), называется *пределом пропорциональности*. Для стали предел пропорциональности лежит близко к пределу упругости, но вообще они могут и не совпадать.

1.2 Экспериментальная часть

1.2.1 Краткое описание лабораторной установки

Установка собрана (рисунок 3) на двух металлических трубах, по которым свободно передвигаются и закрепляются винтами следующие компоненты: передвижная стойка 1, предназначенная для крепления струны 9, стойка 2 в комбинации с рамкой (стременем) 2а - для крепления и изгиба линейки 10, стойка 3 с индикатором смещения 4 для измерения удлинения проволоки и стрелы прогиба, блок натяжения, изменяющий силу натяжения посредством поворота ручки 5. Сила натяжения измеряется динамометром 6, прикрепленным к блоку натяжения. Рамка 7 соединяет динамометр со струной или линейкой и

служит упором для датчика индикатора смещения 8. Индикатор перемещений позволяет измерять перемещения жесткой рамки, связанной либо со струной, либо со стержнем. Индикатор (рисунок 4) имеет металлический корпус 1, в котором заключен механизм прибора. Через корпус индикатора проходит стержень 2 с выступающим наружу наконечником, всегда находящимся под воздействием пружины. Если нажать на стержень снизу вверх, он переместится в осевом направлении и при этом повернет стрелку 3, которая передвинется по циферблату, имеющему шкалу в 100 делений, каждое из которых соответствует перемещению стержня на 1/100 мм. При перемещении стержня на 1 мм стрелка 3 сделает по циферблату полный оборот. Для отсчета целых оборотов служит стрелка 4.

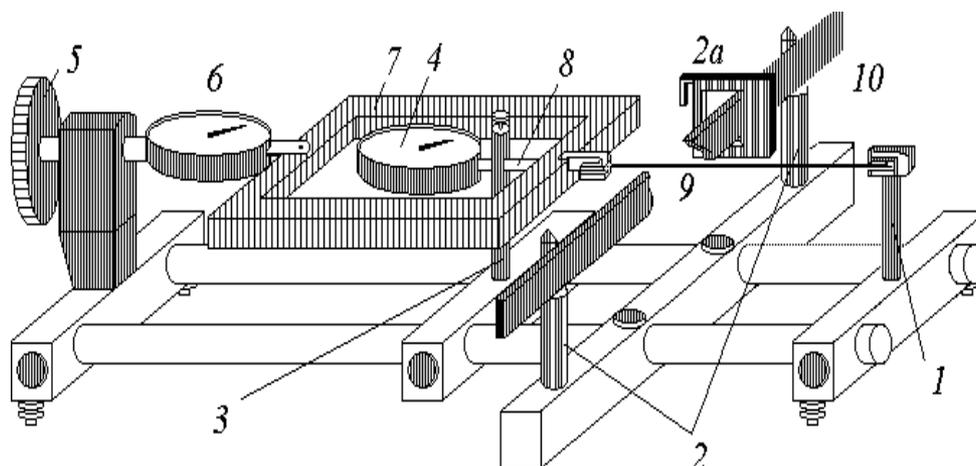


Рисунок 3 – Блок-схема экспериментальной установки

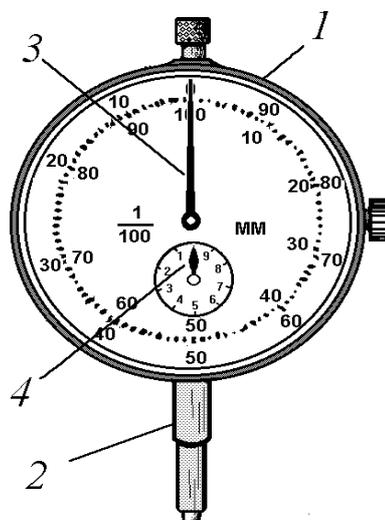


Рисунок 4 – Устройство измерителя перемещения

1.2.2 Порядок выполнения работы

1. С помощью микрометра определите диаметр струны d . Измерения проводите не менее трех раз в различных сечениях струны. Данные заносите в таблице 1.
 2. Определите с помощью линейки длину струны L . Данные заносите в таблице 1.
- Все измерения проведите для трех струн из различных материалов.

Таблица 1

| | N | d | \bar{d} | σ | L |
|----------|-----|-----|-----------|----------|-----|
| Медь | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| Сталь | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| Алюминий | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |

3. Закрепите исследуемую струну в специальных креплениях. Меняя положение креплений, добейтесь того, чтобы струна не провисала.
4. Вращая ручку крепления динамометра, меняйте натяжение струны, её удлинение определяйте по индикатору. Измерения проводите в диапазоне 1-20 Н с шагом 2Н. Данные заносите в таблицу 2.

Таблица 2

| N | Сила $F(N)$ | Удлинение струны Δl | | |
|-----|-------------|-----------------------------|-------|----------|
| | | Медь | Сталь | Алюминий |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

5. Пункты 2-3 проводите для медной, стальной и алюминиевой струн.
6. Согласно полученным данным постройте зависимость F от l . Для этого отложите на поле графика экспериментальные точки и проведите между ними

прямую, расположенную в среднем ближе всего к ним (рисунок 5). Определите значение коэффициента упругости A при поперечном сжатии.

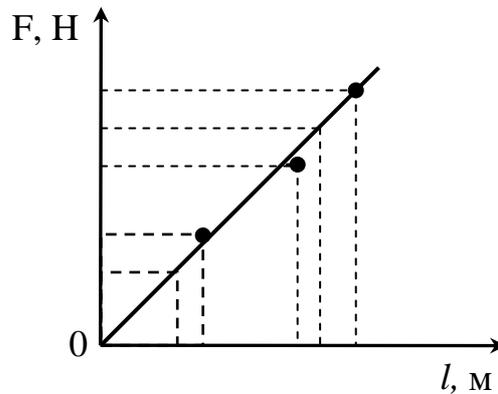


Рисунок 5

Для этого выберите произвольную точку B подальше от начала координат.

Найдите ее координаты F_B и l_B , вычислите $A = \frac{F_B}{l_B}$.

Так как напряжение в струне $\sigma = \frac{F}{S}$, где $S = \frac{\pi d^2}{4}$ - площадь сечения струны, а относительное удлинение $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$, то модуль Юнга можно найти по формуле

$$E = \frac{Al}{S} = \frac{Al}{\pi d^2/4}.$$

Определите модуль Юнга, используя найденные значения A и d .

7. Рассчитайте погрешность найденного значения модуля Юнга по формуле косвенных измерений

$$\Delta E = \frac{4}{\pi d^2} \sqrt{(l \cdot \Delta A)^2 + (A \cdot \Delta l)^2 + 4 \left(\frac{A \cdot l}{d} \cdot \Delta d \right)^2}.$$

8. Соответствующие вычисления (пп.5-7) проводят для различных струн.

1.3 Контрольные вопросы

1. Опишите простейшие виды деформаций. Какие из них являются элементарными? Почему?

2. Что такое модуль Юнга?

3. Чему равна потенциальная энергия при деформации?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алешкевич, В.А. Механика твердого тела: лекции: Университетский курс общей физики / В.А. Алешкевич, Л.Г. Деденко, В.А. Караваев. – Изд-во физического факультета МГУ, 1998. – 12 с.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3т. – Т.1 : Механика. Молекулярная физика / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1988. – 496 с.
3. Трофимова, Т.И. Курс физики : учебное пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – М.: Высш.шк., 2001. – 542 с.
4. Калашников, Н.П. Основы физики: В 2 т.: учебник для вузов / Н.П. Калашников, М.А. Смондырев. – 3-е изд., стер. – М.: Дрофа, 2007.
5. Детлаф, А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Академия, 2007. – 720 с.
6. Кузнецов, С.И. Физические основы механики: учеб. пособие / С.И. Кузнецов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 121 с.