МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра общей физики

М. С. БУРЛАК, А. Х. КУЛЕЕВА

ИЗУЧЕНИЕ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ИЗГИБА СТЕРЖНЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 128

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2008

УДК 539.384(07)
ББК 30.121.я 7
Б 91

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент Э.А.Савченков

Бурлак М.С.
Б 91 Изучение упругой деформации изгиба стержня. [Текст]: методические указания к лабораторной работе / М.С.Бурлак, А.Х.Кулеева. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2008. - 10с.

Методические указания включают теоретическое изложение материала, описание методики проведения опыта и контрольные вопросы для самоподготовки.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы №128 «Изучение упругой деформации изгиба стержня» по дисциплине «Физика» для студентов всех специальностей.

ББК 30.121.я 7

Содержание

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №128 ИЗУЧЕНИЕ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ИЗГИБА СТЕРЖНЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Подтвердить экспериментально закон Гука.
2. Определить модуль упругости методом изгиба.

ВВЕДЕНИЕ

Закон Гука утверждает, что в упругой области величина деформации пропорциональна приложенной силе. **Упругой** называется такая деформация, когда тело после прекращения действия сил, вызывающих деформацию, принимает первоначальные размеры и форму. Деформация тела называется **неупругой,** если после прекращения действия сил сохраняется остаточная деформация.

Рассмотрим упругую деформацию растяжения однородного стержня длиной l_o под действием растягивающей силы F (рисунок 1).

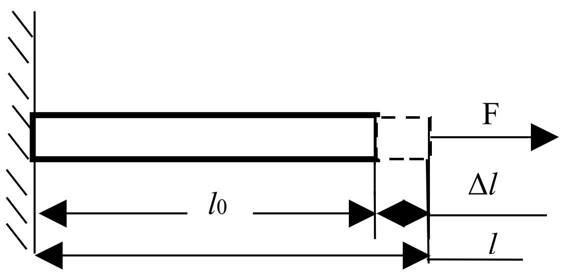

Рисунок 1

По закону Гука удлинение стержня, равное $\Delta l = l - l_o$ пропорционально силе F:

$$\Delta l = k \cdot F\,, \qquad (1)$$

где k - коэффициент пропорциональности, зависящий от упругих свойств вещества и геометрических размеров стержня. Коэффициент k численно равен удлинению, которое возникает под действием единицы растягивающей силы.

Деформацию растяжения можно охарактеризовать относительным удлинением δ:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_o}\,, \qquad (2)$$

где l_o - первоначальная длина стержня. Величина δ зависит от величины внешней растягивающей силы F.Под действием этой силы в стержне возникают внутренние силы (усилия), равные F. Величину усилия, действующего на единицу площади поперечного сечения, называют напряжением и обозначают σ . Напряжение, возникающее в произвольном сечении растягиваемого стержня равно:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \tag{3}$$

где S –площадь поперечного сечения стержня.

Область деформации, при которых выполняется соотношение:

$$\sigma = \mathring{A} \cdot \delta \tag{4}$$

называется **областью пропорциональности,** а выражение (4) является второй формой записи закона Гука для деформации одноосного растяжения. Постоянный коэффициент E имеет размерность $\frac{í}{ì^{2}}$ или $\frac{í}{ìì^{2}}$ и называется **модулем Юнга.**

Модуль Юнга не зависит от геометрических размеров стержня, а однозначно определяется упругими свойствами материала.

Модуль Юнга – фундаментальная характеристика, равная плотности энергии атомной связи материала $\left[\frac{í}{ì^{2}} = \frac{í \cdot ì}{ì^{3}} = \frac{Äæ}{ì^{3}}\right]$.

Механизм упругой деформации изгиба довольно сложен (рисунок 2). Рассмотрим упругую деформацию изгиба стержня под действием внешней силы P, лежащей в плоскости симметрии стержня, т.е. в плоскости, проходящей через ось симметрии параллельно боковой грани. Изгиб, при котором ось стержня после деформации остается в плоскости действия внешних сил, называется **плоским изгибом**.

Проведем до деформации стержня на его боковой поверхности близко друг другу две линии 1-1 и 2-2, перпендикулярно к оси стержня (рисунок 2а). Проведем между этими сечениями линии a-b и c-d, параллельные оси стержня: одну близко к верхнему краю, другую – к нижнему краю стержня. До деформации a-b = c-d = Δ x (рисунок 2а). Слева, на рисунке 2а, изображено поперечное сечение стержня до деформации.

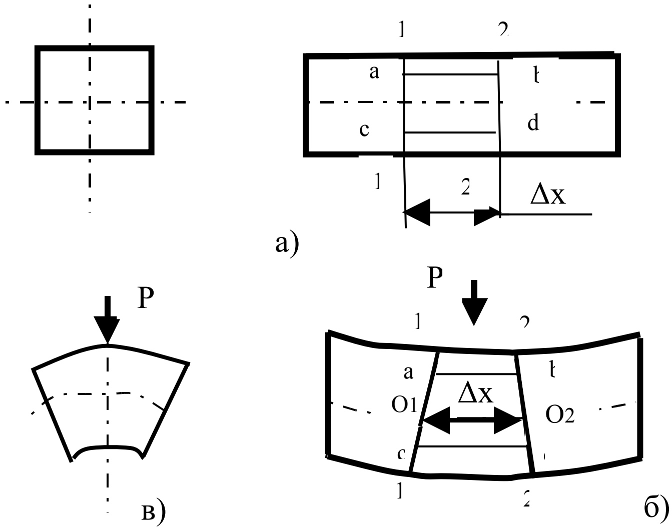

Рисунок 2

Опыт показывает, что после деформации (рисунок 2б):

1) линии 1-1 и 2-2 остались прямыми, но наклонились друг другу;
2) отрезок a-b укоротился, а отрезок c-d удлинился;
3) ширина стержня в сжатой зоне увеличилась, а в растянутой зоне – уменьшилась (рисунок 2в).

Эти экспериментальные результаты позволяют сделать следующие выводы о характере деформаций в стержне при изгибе. Так как линии 1-1 и 2-2 после деформации остались прямыми, то можно считать, что соответствующие поперечные сечения стержня остались плоскими и лишь повернулись относительно друг друга. Судя по изменению отрезков a-b и c-d можно заключить, что верхние слои испытывают обычное сжатие, а нижние – растяжение. Так как деформация слоев меняется непрерывно, то на каком-то уровне по высоте стержня находится слой, не изменивший своих размеров, так называемый **нейтральный слой**, т.е. поверхность, разделяющая сжатую зону от растянутой зоны. На рисунке 2б нейтральный слой изображен пунктиром; отрезок O_1 и O_2 сохранил прежнюю длину Δx. Нейтральный слой перпендикулярен к плоскости симметрии стержня и пересекает плоскость каждого поперечного сечения стержня по прямой линии, называемой нейтральной осью сечения. Эта ось также перпендикулярна к плоскости симметрии стержня. Повороты сечений происходят вокруг их нейтральных осей, изображенных на рисунке 2б точками O_1 и O_2. Материал стержня подчиняется закону Гука, причем модуль упругости E при растяжении и сжатии одинаков.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА.

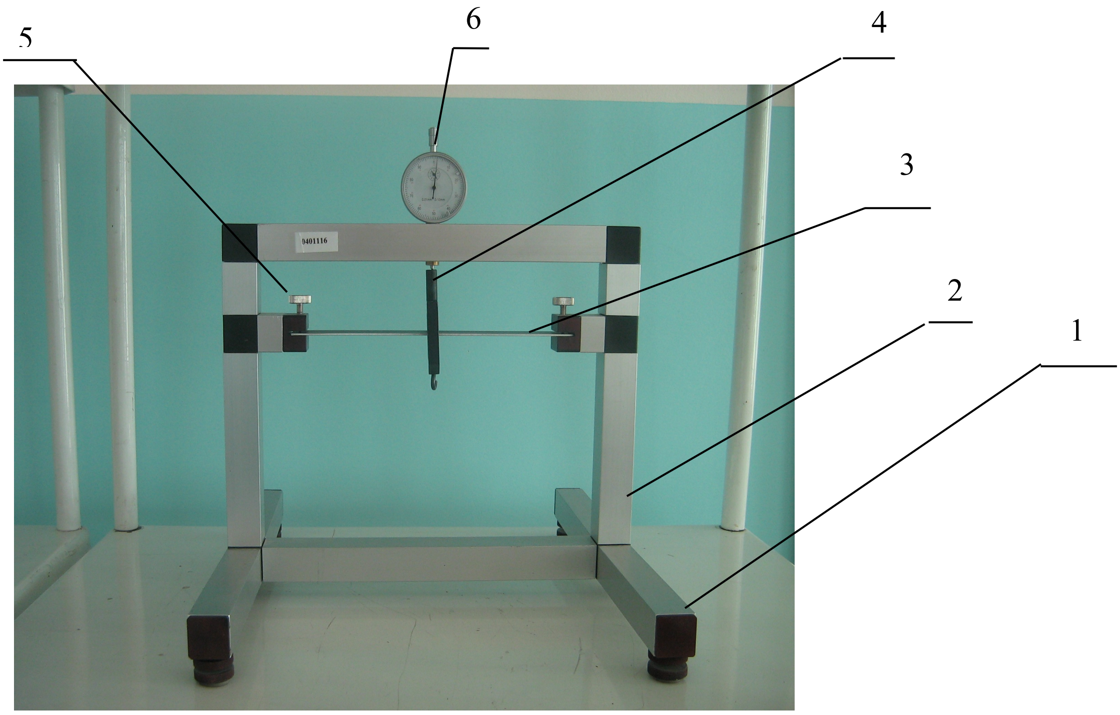

Рисунок 3

Установка (рисунок 3) собрана на трех металлических стержнях 1, находящихся в основании. Стойка 2 предназначена для крепления металлического стержня 3 с рамкой 4. Стержень 3 крепится винтами 5. Над стержнем располагается индикатор смещения 6, позволяющий измерять перемещения жесткой рамкой 4, связанной со стержнем 3. Индикатор 6 имеет циферблат со шкалой в 100 делений, каждое из которых соответствует перемещению рамки на 0,01мм. При перемещении рамки на 1мм стрелка индикатора сделает полный оборот. Для отсчета целых оборотов служит малый циферблат.

В лабораторной работе используется стальной стержень прямоугольного сечения, закрепленный винтами 5.

Стержень (рисунок 4) подвергается деформации изгиба путем подвешивания к центру стержня определенного груза. Под действием силы тяжести груза Р возникает деформация изгиба, величина которой характеризуется **стрелой прогиба** λ **.**

λ - это расстояние, на которое опускается точка приложения силы, действующей на стержень. Стрела прогиба λ измеряется индикатором смещения. В области упругой деформации λ пропорционально силе Р, вызывающей деформации изгиба.

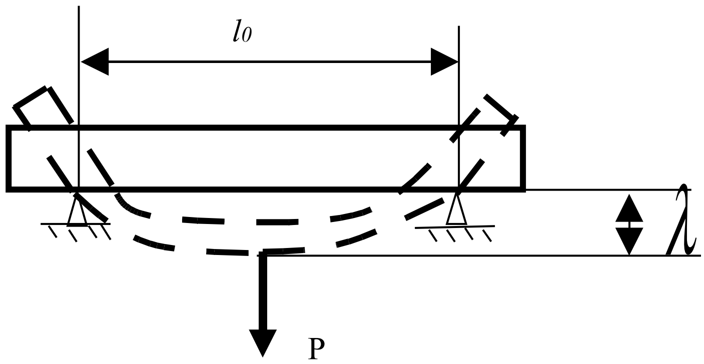

Рисунок 4

$$\lambda = \frac{\gamma}{\text{Å}} \cdot \text{Đ}, \qquad (1)$$

где $\frac{\gamma}{\text{Å}}$ - коэффициент пропорциональности между величинами λ и Р.
Он представлен в виде отношения γ к модулю Юнга Е.
Это сделано потому, что γ зависит от толщины и ширины стержня, расстояния между опорами, а также от способа крепления стержня. Для стержня, исследуемого в данной работе:

$$\gamma = (0{,}15 \pm 0{,}01) \cdot 10^{8}\, \text{ì}^{-1}.$$

Экспериментальное подтверждение линейной зависимости λ от Р является подтверждением закона Гука.

Линейную зависимость λ от Р можно использовать для нахождения модуля Юнга Е по известным значениям Р и λ .

$$\text{E} = \gamma \frac{\text{Đ}}{\lambda} \qquad (2)$$

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ.

Часть I. *Экспериментальная проверка линейной зависимости* λ *от P.*

1. Закрепите исследуемый стержень винтами 5.
2. Расположите рамку 4 на середине стержня и приведите ее в контакт со стержнем индикатора. Поворотом оправы индикатора установите его стрелку на нуль.
3. Подвесьте к рамке платформу массой 88г и измерьте индикатором стрелу прогиба стержня. Нагрузку на рамку постепенно увеличивают, добавляя гири на платформу. Для каждой системы гирь, включая платформу, опыт повторяют три раза, то есть трижды закрепляют груз и определяют стрелу прогиба λ_i, затем находят среднюю стрелу прогиба $\overline{\lambda}$:

$$\overline{\lambda}=\frac{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3}{3}.$$

Перед каждым измерением стрелку индикатора надо ставить на нуль.

Средний вес $\overline{P}$ подвешиваемых каждый раз грузов принимают mg, где m – масса всех гирь вместе с платформой, выраженная в кг, g = 9,81м/с ^{2}.

4. Данные опыта заносят в таблицу 1.

Таблица 1

<table>
<tr><td>$\overline{P}_i$, н</td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>$\lambda_i \cdot 10^{-5}$ ì</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>$\overline{\lambda}_i$ ¿10^{-5} м</td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

Обратите внимание на то, что одно деление индикатора соответствует: $0,01\,мм$ = $1 \cdot 10^{-5} м$. В связи с этим в таблице 1 множитель $10^{-5} м$ вынесен, а в колонки таблицы записываются непосредственно показания индикатора.

5. Постройте зависимость $\overline{\lambda}_i$ от $\overline{P}_i$ (рисунок 4).

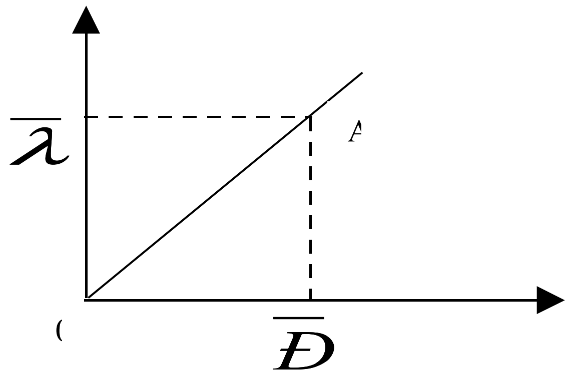

Рисунок 4

Возьмите на линии графика произвольную точку А, подальше отстоящую от начала координат, определите соответствующие ей $\overline{D}$ и $\overline{\lambda}$. По формуле (2) вычислите модуль Юнга Е.

$$\overline{\mathring{A}} = \overline{\gamma} \cdot \frac{\overline{P}}{\overline{\lambda}}.$$

При таком способе определения Е остаются неизвестными абсолютная и относительная погрешности. Этот пробел устраняется в методе определения Е, изложенном в части II.

Часть II. *Определение модуля Юнга стального стержня.*

С этой целью к стержню подвешивают один и тот же груз $\overline{P}$. Опыт повторяют 7 раз, измеряя каждый раз стрелу прогиба λ_i. Значение $\overline{P}$ и λ_i вносят в таблицу 2, вычисляют среднюю стрелу прогиба $\overline{\lambda}$ и абсолютную ошибку $\Delta\lambda$ по схеме обработки прямых измерений.

Абсолютную ошибку ΔP считать равной 0,02, ускорение свободного падения g = (9,81 ± 0,01) м/с ^{2} .

Затем по формуле (2) вычисляют модуль Юнга Е.

$$\overline{E} = \overline{\gamma}\frac{\overline{P}}{\overline{\lambda}}.$$

По схеме обработки результатов косвенных измерений находят относительную ε и абсолютную ΔE ошибки:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta\gamma}{\overline{\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P}{\overline{P}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\overline{\lambda}}\right)^2},$$

$$\Delta E = \varepsilon \cdot \overline{E};$$

Окончательный результат записывают в виде:

$$E = \overline{E} \pm \Delta E = \ldots \frac{кг}{м^2}.$$

Сравните Е, найденное таким способом со значением Е, указанному в справочнике и найденному по графику. Сделайте общий вывод по работе.

Таблица 2

<table>
<tr><td>$\lambda_i \cdot 10^{-5}$ ì</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="8">$\sigma = \ldots м,$
$\sigma_{пр} = 1 \cdot 10^{-5}\, м.$
$\Delta\lambda = \sigma = \ldots м.$
$\overline{\lambda} = \ldots м,$
$\lambda = \overline{\lambda} \pm \Delta\lambda = \ldots м,$
$P = \overline{P} \pm \Delta P = \ldots м.$</td></tr>
</table>

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Поясните цель и порядок выполнения работы.
2. Сформулируйте закон Гука, поясните физический смысл величин, входящих в этот закон.
3. Какой вид деформации испытывает стержень?
4. Какая связь существует между стрелой прогиба λ и нагрузкой P ?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Стрелков С.П.** Механика / С.П.Стрелков. М.: Наука, 1975.- 560с.
2. **Савельев И.В.** Курс общей физики [Текст] в 3т: учебное пособие / И.В.Савельев. – Т 1. Механика. Молекулярная физика. - М.: 1987. – 432с.