

Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана

Специализированный учебно-научный центр  
Лицей №1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана

Кафедра «Основы физики»

Лабораторный практикум по физике  
Электронное издание  
10 класс

# МЕХАНИКА

Лабораторная работа М-9А  
Определение модуля Юнга методом  
тензометрии

Москва, 2014

Лабораторный практикум по физике. Механика. — Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Лабораторный практикум по физике для 10 класса состоит из лабораторных работ для занятий учащихся 10 классов в Специализированном учебно-научном центре МГТУ имени Н. Э. Баумана.

Лабораторные работы, приведенные в сборнике, позволят учащимся глубже изучить законы физики и получить навыки проведения экспериментальных физических исследований.

Составители лабораторных работ:

И. Н. Грачева, В. И. Гребенкин, А. Е. Иванов,  
И. А. Коротова, Е. И. Красавина, А. В. Кравцов,  
Н. С. Кулеба, Б. В. Падалкин, Г. Ю. Шевцова,  
Т. С. Цвезинская.

Под редакцией И. Н. Грачевой, А. Е. Иванова, А. В. Кравцова.

Об ошибках и неточностях просьба сообщать на электронную почту  
[metod1580@gmail.com](mailto:metod1580@gmail.com)

- © Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, 2014
- © Лицей №1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014

## 9.1 Цель работы

Целью работы является экспериментальное определение модуля Юнга методом тензометрии и знакомство с этим методом.

## 9.2 Основные теоретические сведения о методе тензометрии

Между силой, растягивающей металлический стержень, и его удлинением существует линейная зависимость. Она носит название закона Гука, и записывается обычно в виде

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (9.1)$$

где  $\sigma$  — механическое напряжение в стержне, определяющееся по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (9.2)$$

$F$  — растягивающая сила,  $A$  — площадь поперечного сечения стержня;  $\varepsilon$  — относительная деформация стержня, которая выражается формулой:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}, \quad (9.3)$$

$\Delta L$  — приращение длины стержня,  $L$  — его первоначальная длина;  $E$  — коэффициент пропорциональности, называемый *модулем Юнга*.

**Примечание.** Закон Гука справедлив не всегда. При усилиях, больших некоторого порогового значения, называемого пределом текучести, связь между напряжением и деформацией становится нелинейной, а затем растянутый стержень разрушается. В пределах упругости, то есть когда действует закон Гука, металлы деформируются очень мало, длина растянутого стержня возрастает не более чем на 0,01–0,05% от первоначального размера. Размеры машин и приборов рассчитывают так, чтобы действующие на них нагрузки не приводили к появлению напряжений, превышающих предел текучести. Для оценки правильности расчетов на прочность очень важно знать, какие напряжения и деформации в действительности возникают в конструкции при действии нагрузки. Для этого, как правило, измеряют деформации и по ним вычисляют напряжения.

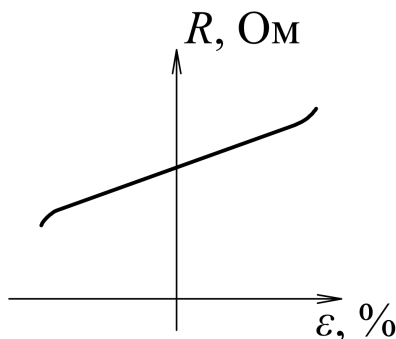


Рис. 9.1

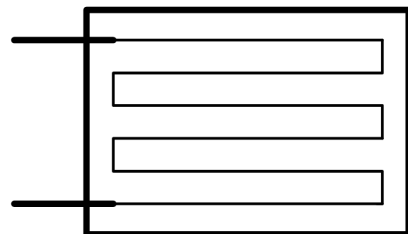


Рис. 9.2

Для измерения деформаций используется свойство некоторых материалов изменять удельное электрическое сопротивление в зависимости от деформации. Например, у константана — сплава, состоящего из 60% меди и 40% никеля, электрическое сопротивление в

определенных пределах линейно зависит от деформации (рис. 9.1). Это свойство использовано для создания *тензорезисторов* — датчиков для измерения деформации. Тензорезистор (рис. 9.2) представляет собой решетку из проволоки или фольги, наклеенной на непроводящую основу, и выводных проводников.

Тензорезистор наклеивают на поверхность металла и в качестве активного сопротивления включают в цепь. Для определения величины и знака деформации часто используется мостовая схема, изображенная на рис. 9.3. Тензорезистор, предназначенный для измерения деформации, включается в одно из плеч моста как сопротивление  $R_1$ . На клеммы цепи  $AB$  подается постоянное напряжение, а между точками  $C$  и  $D$  подключается гальванометр. Между сопротивлениями  $R_3$  и  $R_4$  находится переменное сопротивление — реохорд. Его ползунок электрически соединен с гальванометром, и при перемещении ползунка сопротивление плеч меняется. Мост сбалансирован, если:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4. \quad (9.4)$$

При этом разность потенциалов между точками  $C$  и  $D$  равна нулю. Когда тензорезистор под действием нагрузки изменяет свое сопротивление, между точками  $C$  и  $D$  возникает разность потенциалов. Как правило, применяют *нулевой метод* измерения, при котором мост сбалансируется вновь путем изменения сопротивлений  $R_3$  и  $R_4$  с помощью реохорда. Величина смещения ползунка реохорда и определяет меру деформации. Признаком того, что мост сбалансирован, служит нулевое показание гальванометра.

Сопротивление  $R_2$  тоже представляет собой тензорезистор, который размещают вблизи от активного тензорезистора  $R_1$ . Изменение температуры приводит к одинаковому изменению их сопротивлений, и баланс моста не нарушается. Поэтому сопротивление  $R_2$  называют температурным компенсатором (или компенсирующим тензорезистором).

Обычно сопротивления  $R_3$  и  $R_4$ , гальванометр, блок питания и реохорд объединяются в один прибор — измеритель деформации. К нему подключаются активный тензорезистор  $R_1$  и температурный компенсатор  $R_2$ .

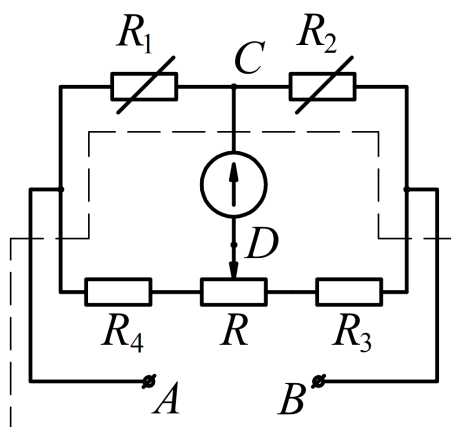


Рис. 9.3

### 9.3 Методика выполнения работы и описание экспериментальной установки

В лабораторной работе используется алюминиевый стержень. Он установлен в деревянной раме (рис. 9.4). Растягивающая сила создается рычагом, короткое плечо которого

соединено со стержнем, а на длинное подвешиваются грузы. Соотношение плеч составляет 1 : 8. Активный тензорезистор, предназначенный для измерения деформации стержня, наклеен на него в центре. Компенсирующий тензорезистор наклеен на алюминиевую площадку на рычаге. Выводные проводники обоих тензорезисторов закрыты, чтобы избежать повреждений. Тензорезисторы подключаются к электронному измерителю деформации.

Цель работы — экспериментальное определение модуля Юнга алюминия. Для этого алюминиевый стержень растягивается заранее заданной силой, его деформация измеряется с помощью тензорезистора, и из закона Гука (9.1) вычисляется модуль Юнга:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\Delta F/A}{K_\varepsilon \Delta N}, \quad (9.5)$$

где  $\Delta\sigma$  — приращение напряжения,  $\Delta\varepsilon$  — приращение деформации,  $\Delta F$  — приращение растягивающего усилия,  $\Delta N$  — приращение показаний измерителя деформации,  $K_\varepsilon$  — цена деления измерителя деформации.

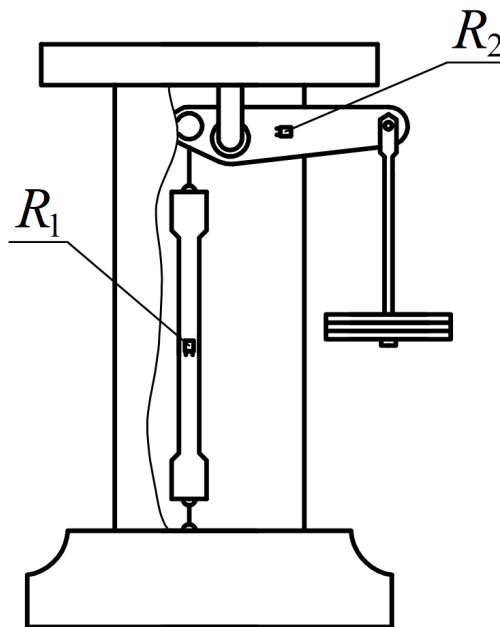


Рис. 9.4: Схема размещения тензорезисторов

## 9.4 Порядок выполнения работы

1. Проверьте правильность присоединения проводов к электронному измерителю деформаций.
2. Включите питание электронного измерителя, переведя переключатель в положение «Работа».
3. Сбалансируйте мост, вращая рукоятку реохорда. Стрелка гальванометра должна быть на отметке «0». Запишите в таблицу 9.1 показания измерителя деформации.
4. Подвесьте на рычаг груз массой 1 кг, вновь сбалансируйте мост и запишите новое показание измерителя.
5. Добавляя грузы, доведите общую нагрузку до 5 кг. После каждого увеличения нагрузки вновь сбалансируйте мост и запишите показания измерителя.

Таблица 9.1

№	Масса груза, кг	Растягивающая сила $F$ , Н	Показания измерителя деформации $N$ , делений шкалы	Приращение показания измерителя деформации, делений шкалы
1	—	—		—
2	1			
3	2			
4	3			
5	4			
6	5			

- Снимите все грузы, сбалансируйте мост и отключите питание электронного измерителя.
- Подсчитайте растягивающую силу и приращения показаний измерителя деформации, соответствующие одной ступени нагружения. Постройте график зависимости  $F(N)$ .
- Подсчитайте среднее приращение показаний измерителя деформации на одной ступени нагружения. Определите модуль Юнга.

Среднее приращение показаний измерителя деформации (в делениях шкалы) рассчитайте по формуле:

$$\langle \Delta N \rangle = \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3 + \Delta N_4 + \Delta N_5}{5}$$

Модуль Юнга можно вычислить по формуле (9.5).

Для расчетов используйте следующие данные: размеры поперечного сечения стержня: 2,5 мм × 14 мм, площадь его поперечного сечения  $A = 35 \text{ мм}^2$ ; цена деления измерителя деформации  $K_\varepsilon = 7,2 \cdot 10^{-8}$  единиц деформации/деление шкалы.

## 9.5 Контрольные вопросы

- Сформулируйте закон Гука, запишите его аналитическое выражение и укажите единицы входящих в него физических величин.
- Что называется механическим напряжением?
- Что такое модуль упругости (модуль Юнга)? Какова единица СИ модуля упругости?
- Как связаны коэффициент жесткости и модуль Юнга?
- Если пружину жесткости  $k$  разрезать пополам, то какой будет жесткость каждой половинки пружины?
- Если однородный цилиндрический стержень подвесить за один конец к потолку, то каким будет удлинение  $\Delta L$  стержня под действием его собственного веса? Длина стержня равна  $L$ . Считайте, что плотность материала стержня  $\rho$  и его модуль Юнга  $E$  известны.