

Задание 7.1. Шпилька и гайки. Шпилькой в технике называют стержень, по всей длине которого нарезана резьба (рис. 1).

Предложите и опишите, как измерить **без использования линейки**:

1. шаг h резьбы шпильки (шагом резьбы называется расстояние между ее соседними витками);
2. среднюю толщину H одной гайки (рис. 2);
3. площадь S поперечного сечения шестигранного прутка, из которого изготавливаются гайки (рис.3);
4. внешний диаметр D резьбы шпильки;
5. массу m гайки, считая, что диаметр отверстия в ней $d = 0,9D$.

Проведите измерения и определите параметры h , H , S , D , m .

Полученные результаты занесите в таблицу (указав единицы измерения)

1	$h =$
2	$H =$
3	$S =$
4	$D =$
5	$m =$

Оборудование: шпилька длиной $L = 300$ мм, гайки (40 шт.), две скрепки, три нитки, лист бумаги.

Примечания.

1. Плотность стали $\rho = 7\,800$ кг/м³.
2. Площадь круга диаметром D равна $S = \pi D^2/4$, длина окружности $L = \pi D$, где число $\pi = 3,14$.
3. В работе можно использовать любое количество гаек, ниток и скрепок в зависимости от выбранного метода решения каждого пункта задания.



Рис. 1



Рис. 2

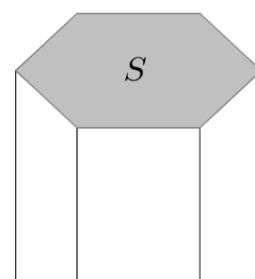


Рис. 3

Рекомендации организаторам

В работе рекомендуется использовать шпильку и гайки с резьбой М6 и одинаковым шагом (необходимо убедиться, что гайки легко накручиваются на шпильку, но не болтаются).

Следует учитывать тот факт, что при кустарном производстве шпилек и гаек параметры их резьбы могут отличаться от стандартов метрической резьбы, а толщины и массы гаек могут варьироваться в широком диапазоне. В связи с этим, членам жюри регионального этапа олимпиады им. Максвелла необходимо до начала олимпиады определить значения искомых величин посредством их прямых измерений.

Лист белой бумаги формата А5.

Возможное решение (Кармазин С.).

1. Посчитаем количество N витков резьбы на шпильке с помощью скользящей по ней прижатой скрепки (рис. 4). Допустимой ошибкой при счете можно считать ± 2 витка. Шаг резьбы $h = L/N = 300/300 = 1$ мм (по ГОСТу шаг стандартной резьбы М6 равен $h = 1$ мм).

Примечание: Здесь и далее приводятся численные значения, полученные на авторском оборудовании при подготовке данной задачи.



Рис. 4

2. Среднюю толщину H гаек можно определить методом рядов. Например, выстроив цепочку из гаек ($N > 10$), поставленных на одну из боковых граней (рис. 5) или навинтив их непосредственно на шпильку. Авторский результат: $H = 4,85$ мм.



Рис. 5

3. Для определения площади шестигранника можно выложить 36 гаек плотной упаковкой в 6 рядов по 6 штук в каждом на листе А5 и измерить стороны получившегося прямоугольника (рис. 6). При этом следует обратить внимание, что площадь выступов получившейся фигуры с одной стороны компенсируется площадью углублений с противоположной стороны этого прямоугольника. Окончательно получаем $S = 87 \text{ мм}^2$.



Рис. 6

4. Внешний диаметр резьбы на шпильке определяем, прокатывая шпильку по поверхности бумаги не менее чем на $k=10$ оборотов и измеряя пройденное ей расстояние l . $D = l/(\pi k) = 5,86$ мм.

5. Для вычисления массы гайки необходимо вычислить ее объем, оставшийся после высверливания отверстия и нарезания резьбы. По условию задачи диаметр высверленного в гайке отверстия $d = 0,9D = 5,27$ мм. Будем считать, что диаметр резьбы в самой «глубокой» ее части совпадает с внешним диаметром резьбы шпильки $D = 5,86$ мм.

Для расчета объема металла, вынутого из гайки в процессе ее производства, будем считать, что из гайки вынут цилиндр с диаметром, равным среднему арифметическому значению внутреннего и внешнего диаметра резьбы в гайке $D_1 = (d + D)/2 = 5,57$ мм. Объем такого цилиндра равен $V_1 = H\pi D_1^2/4 = 118$ мм³. Объем заготовки до высверливания отверстия и нарезания резьбы равен $V_0 = SH = 422$ мм³. Окончательно, объем гайки $V = V_0 - V_1 = 304$ мм³. Масса гайки равна $m = \rho V = 2,4$ г. Непосредственное измерение среднего значения массы гайки на весах дает результат $m_{\text{ср}} = 2,1$ г. Отличие расчетного значения массы от измеренного на 15% может быть связано, например, с тем, что при расчете не учитывались фаски (закругление краев гайки).

Критерии оценивания

1) Найден шаг резьбы h		2 балла
отличие менее чем на 5%	2 балла	
отличие менее чем на 10%	1 балл	
2) Определена толщина H гайки		2 балла
отличие менее чем на 5%	2 балла	
отличие менее чем на 10%	1 балл	
3) Определен внешний диаметр D резьбы на стрелке		2 балла
отличие менее чем на 10%	2 балла	
отличие менее чем на 20%	1 балл	
4) Определена площадь S шестигранного прутка		2 балла
отличие менее чем на 10%	2 балла	
отличие менее чем на 20%	1 балл	
5) Определена масса m одной гайки		2 балла
отличие менее чем на 15%	2 балла	
отличие менее чем на 25%	1 балл	

Задание 7.2. Сколько рублей весит конфета. Экспериментатор Глюк исследовал падение с фиксированной высоты (около 2-х метров) различных грузов, привязанных к системе из трех воздушных шариков (рис. 1). Анализируя результаты эксперимента, он обнаружил любопытный характер зависимости квадрата времени падения от величины, обратной массе всей падающей системы.



Рис. 1

Соберите установку Глюка. В качестве грузов можете использовать выданные монеты, помещенные в мешочек, привязанный к шарикам.

- Снимите зависимость времени падения системы от ее массы. Результаты занесите в таблицу. Каждое измерение повторите **не менее** трёх раз и усредните. При этом, имейте ввиду, что масса шарика $m \approx 3$ г, а масса одной монеты тоже $m \approx 3$ г. Для увеличения точности исследований постарайтесь отпускать систему с как можно большей (но одинаковой) высоты (например, с высоты своего роста, стоя на стуле).
- Постройте график полученной зависимости в осях, предложенных Глюком.
- Проведя дополнительное измерение с помощью построенного графика определите массу выданной конфеты. После завершения **всех** измерений, конфету **нужно** съесть!

Примечание: не следует надувать шарiki слишком сильно, так как если даже один из шариков лопнет в ходе эксперимента, то все измерения придется начинать сначала.

Приборы и оборудование: секундомер, 5 воздушных шариков (из них 2 запасных), конфета, полиэтиленовый мешочек (гриппер 6 x 8 см), комплект монет (10 шт. номиналом 1 рубль), нитки, миллиметровая бумага (формат А5) для построения графика.

$m,$							
$1/m,$							
$t_1,$							
$t_2,$							
$t_3,$							
$t_{\text{средн}},$							
$t^2_{\text{средн}},$							

Рекомендации организаторам

- в мешочке необходимо заранее сделать сквозное отверстие, например, дыроколом, для упрощения его подвешивания к шарикам.
- шарики в надутом состоянии должны иметь форму близкую к сферической с диаметром в несильно надутом состоянии около 20-25 см.
- секундомеры следует заранее подготовить и перевести в необходимый режим. Допускается дополнительно инструктировать детей о работе с секундомером.
- выдавать дополнительные шарики и листы миллиметровой бумаги взамен испорченных можно, для этого необходимо заготовить их резерв!
- грипเปอร์ 6 x 8 – полиэтиленовый мешочек с застежкой zip-lock.
- масса конфеты 10 – 20 г. Конфета должна быть в обёртке **без указания массы**.

Возможное решение (Замятнин М., Слободянин В.).

Собираем предложенную конструкцию и измеряем время падения с максимально возможной одинаковой высоты, например, отпуская систему с вытянутой руки, стоя на стуле. Время падения фиксируем по моменту касания пола грузом. Результаты заносим в таблицу и строим график экспериментальной зависимости в предложенных Глюком координатах. Для авторской установки он имеет вид, представленный на рис. 2.

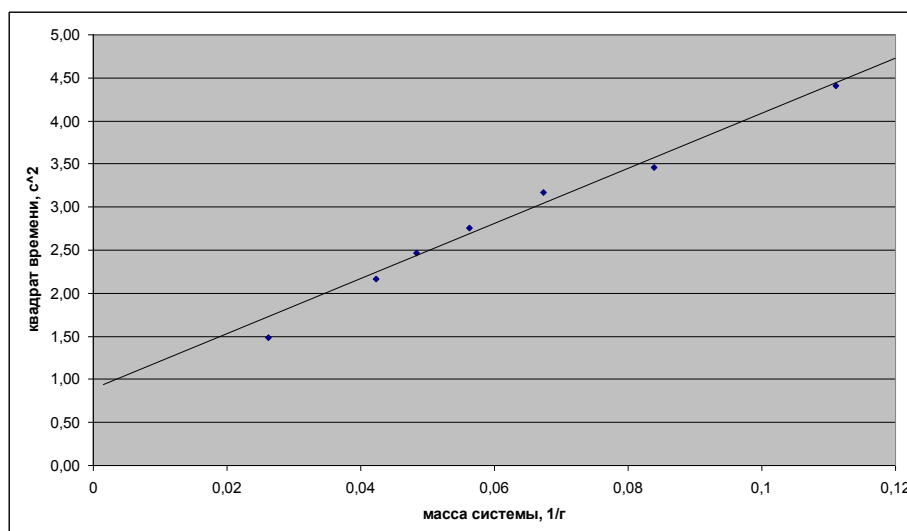


Рис. 2

Экспериментальные точки хорошо ложатся на прямую линию. Это позволяет, для системы с конфетой, по времени падения определить ее массу.

Критерии оценивания

- | | |
|--|----------------|
| 1) Снята зависимость времени падения системы от ее массы (таблица 1) | 4 балла |
| 7 и более точек | 4 балла |
| 5-6 точек | 2 балла |
| 3 и менее точек | 0 баллов |
| 2) Построен график в осях, предложенных Глюком | 4 балла |
| график занимает не менее 80% площади листа | 1 балл |
| постоянная цена деления из разрешенных рядов: | |
| целые, четные, кратные 5 | 1 балл |
| подписаны оси и указаны единицы измерения | 1 балл |
| проведена прямая, а не ломаная | 1 балл |
| 3) Определена масса выданной конфеты | 2 балла |
| попадание в $\pm 10\%$ | 2 балла |
| попадание в $\pm 20\%$ | 1 балл |

Задание 8.1. Шпилька и гайки. Шпилькой в технике называют стержень, по всей длине которого нарезана резьба (рис. 1).

Предложите и опишите, как измерить **без использования линейки**:

1. шаг h резьбы шпильки (шагом резьбы называется расстояние между ее соседними витками);
2. среднюю толщину H одной гайки (рис. 2);
3. площадь S поперечного сечения шестигранного прутка, из которого изготавливаются гайки (рис.3);
4. отношение массы шпильки к массе одной гайки: $\alpha = m_{\text{ш}}/m_{\text{г}}$, используя шпильку в качестве рычага;
5. среднюю массу $m_{\text{г1}}$ одной гайки и массу шпильки $m_{\text{ш1}}$ по отдельности, исходя из их геометрических размеров.

Проведите измерения и определите параметры h , H , S , $m_{\text{г1}}$, $m_{\text{ш1}}$ и отношение масс шпильки и гайки $\beta = m_{\text{ш1}}/m_{\text{г1}}$ на основании результатов, полученных в пункте 5.

Полученные результаты занесите в таблицу (указав единицы измерения):

1	$h =$
2	$H =$
3	$S =$
4	$\alpha =$
5	$m_{\text{ш1}} =$
6	$m_{\text{г1}} =$
7	$\beta =$



Рис. 1



Рис. 2

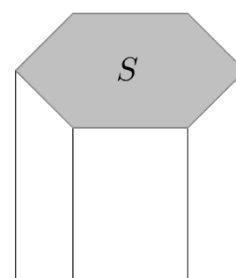


Рис. 3

Оборудование: Шпилька длиной $L = 300$ мм, гайки (40 шт.), две скрепки, три нитки, лист бумаги.

Примечания.

1. Плотность стали $\rho = 7\,800$ кг/м³.
2. Площадь круга диаметром D равна $S = \pi D^2/4$, длина окружности $L = \pi D$, где число $\pi = 3,14$.
3. Внешний диаметр резьбы М6 на стержне равен $D = 6$ мм, а внутренний диаметр резьбы в гайке $d = 5$ мм.
4. В работе можно использовать любое количество гаек, ниток и скрепок в зависимости от выбранного метода решения каждого пункта задания.

Рекомендации организаторам

В работе рекомендуется использовать шпильку и гайки с резьбой М6 и одинаковым шагом (необходимо убедиться, что гайки легко накручиваются на шпильку, но не болтаются). Следует учитывать тот факт, что при кустарном производстве шпилек и гаек параметры их резьбы могут отличаться от стандартов метрической резьбы, а толщины и массы гаек могут варьироваться в широком диапазоне. В связи с этим, членам жюри регионального этапа олимпиады им. Максвелла необходимо до начала олимпиады определить значения искомых величин посредством их прямых измерений.

Лист белой бумаги формата А5.

Возможное решение (Кармазин С.).

1. Посчитаем количество N витков резьбы на шпильке с помощью скользящей по ней прижатой скрепки (рис.4). Допустимой ошибкой при счете можно считать ± 2 витка. Шаг резьбы $h = L/N = 300/300 = 1$ мм (по ГОСТу шаг стандартной резьбы М6 равен $h = 1$ мм).

Примечание: Здесь и далее приводятся численные значения, полученные на авторском оборудовании при подготовке данной задачи.

2. Среднюю толщину гаек H можно определить методом рядов. Например, выстроив цепочку из гаек ($N > 10$), поставленных на одну из боковых граней (рис. 5) или навинтив их непосредственно на шпильку. Авторский результат: $H = 4,85$ мм.

3. Для определения площади шестигранника можно выложить 36 гаек плотной упаковкой в 6 рядов по 6 штук в каждом на листе А5 и измерить стороны получившегося прямоугольника (рис. 6). При этом следует обратить внимание, что площадь выступов получившейся фигуры с одной стороны компенсируется площадью углублений с противоположной стороны этого прямоугольника. Окончательно получаем $S = 87 \text{ мм}^2$.

4. Накрутим на один край шпильки 4 – 6 гаек. С помощью нити уравниваем получившуюся систему и применив правило моментов определяем α .

5. Внешний диаметр резьбы на шпильке определяем, прокатывая шпильку по поверхности бумаги не менее чем на $k = 10$ оборотов и измеряя пройденное ей расстояние l . $D = l/(\pi k) = 5,86$ мм.

6. Для вычисления массы гайки необходимо вычислить ее объем, оставшийся после высверливания отверстия и нарезания резьбы. По условию задачи диаметр высверленного в гайке отверстия $d = 0,9D = 5,27$ мм. Будем считать, что диаметр резьбы в самой «глубокой» ее части совпадает с внешним диаметром шпильки $D = 5,86$ мм. Для расчета объема металла, вынутого из гайки в процессе ее производства, будем считать, что из гайки вынут цилиндр с диаметром, равным среднему арифметическому значению внутреннего и внешнего диаметра резьбы в гайке $D_1 = (d + D)/2 = 5,57$ мм. Объем такого цилиндра равен $V_1 = H\pi D_1^2/4 = 118 \text{ мм}^3$. Объем заготовки до высверливания отверстия и нарезания резьбы $V_0 = SH = 422 \text{ мм}^3$. Окончательно, объем гайки $V = V_0 - V_1 = 304 \text{ мм}^3$. Масса гайки равна $m_{г1} = \rho V = 2,4$ г. Непосредственное измерение среднего значения массы гайки на весах дает результат $m_{ср} = 2,1$ г. Отличие расчетного значения массы от измеренного на 15% может быть связано, например, с тем, что при расчете не учитывались фаски (закругление краев гайки). Массу шпильки $m_{ш1}$ определяем по её объему и плотности.

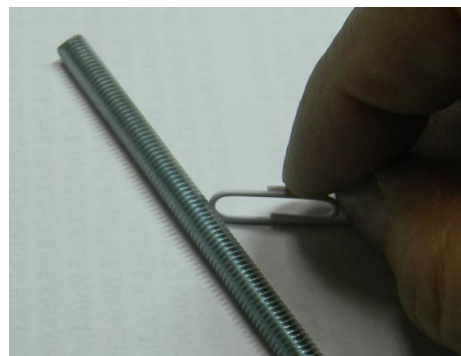


Рис. 4



Рис. 5

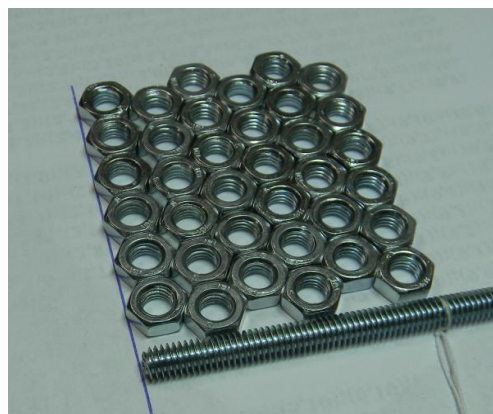


Рис. 6

Критерии оценивания

1. Найден шаг резьбы h		1 балл
отличие менее чем на 5%	1 балл	
2. Определена толщина H гайки		2 балла
отличие менее чем на 5%	2 балла	
отличие менее чем на 10%	1 балл	
3. Методом рычага определено отношение $\alpha = m_{\text{ш}}/m_{\text{Г}}$		1 балл
отличие менее чем на 10%	1 балл	
4. Определена площадь S шестигранного прутка		2 балла
отличие менее чем на 10%	2 балла	
отличие менее чем на 20%	1 балл	
5. Найдена средняя масса $m_{\text{Г1}}$ одной гайки и масса шпильки $m_{\text{ш1}}$ по отдельности, исходя из их геометрических размеров		2 балла
отличие менее чем на 10%	2 балла	
отличие менее чем на 20%	1 балл	
6. Определено отношение $\beta = m_{\text{ш1}}/m_{\text{Г1}}$		2 балла
отличие менее чем на 10%	2 балла	
отличие менее чем на 20%	1 балл	

8.2. Исследуем шприц (1). Определите плотность неизвестной жидкости и среднюю плотность материала, из которого изготовлен шприц.

Приборы и оборудование: шприц (5 мл), пластиковая бутылка (1,5 л с отрезанным верхом) на 3/4 заполненная водой, стаканчик с неизвестной жидкостью, заглушка для шприца (деревянная зубочистка (её можно ломать)), электронные весы, салфетки для поддержания порядка, поднос.

Примечание: Во избежание выливания жидкости из шприца, рекомендуется пользоваться заглушкой, вставляемой в шприц.

Плотность воды $\rho_0 = 1\,000\text{ кг/м}^3$.

Рекомендации организаторам

1. Электронные весы, рассчитанные на взвешивание грузов массой до 200 г или 300 г с точностью измерения $\pm 0,01$ г.
2. В качестве неизвестной жидкости лучше всего использовать концентрированный раствор поваренной соли или сахарного сиропа с плотностью 1 100 – 1 200 кг/м³. Жидкость можно слегка подкрасить зеленкой или медным купоросом.

Возможное решение (Замятнин М.). Измеряем на весах массу m пустого шприца. Заполняем его неизвестной жидкостью и вновь измеряем массу. Находим плотность неизвестной жидкости. Она составляет $\rho_1 = 1\,150$ кг/м³. Отливаем маленькими порциями жидкость обратно в стаканчик, до тех пор, пока шприц не начнет плавать, полностью погрузившись в воду. Измеряем остаточный объем V неизвестной жидкости в шприце, и рассчитываем среднюю плотность материала шприца:

$$\rho = \frac{m\rho_0}{m + V(\rho_1 - \rho_0)}.$$

Критерии оценивания.

- | | |
|---|----------------|
| 1) Определена масса шприца | 1 балл |
| 2) Метод определения плотности неизвестной жидкости | 1 балл |
| 3) Результаты измерений и воспроизводимость (например, таблица) | 1 балл |
| 4) Найдена плотность неизвестной жидкости | 2 балла |
| отличие менее чем на 10% | 2 балла |
| отличие менее чем на 15% | 1 балл |
| 5) Метод определения плотности шприца | 2 балла |
| 6) Результаты измерений и воспроизводимость (например, таблица) | 1 балл |
| 7) Найдена средняя плотность материала шприца | 2 балла |
| отличие менее чем на 10% | 2 балла |
| отличие менее чем на 15% | 1 балл |

9.1. Исследуем шприц (2). Определите плотность неизвестной жидкости и среднюю плотность материала, из которого изготовлен шприц.

Приборы и оборудование: шприц (5 или 10 мл), нить (~ 1 м), деревянная линейка (50 см), пластиковая бутылка (1,5 л с отрезанным верхом) на $3/4$ заполненная водой, стаканчик с неизвестной жидкостью, штатив с лапкой (или аналог), заглушка для шприца (деревянная зубочистка (её можно ломать)), салфетки для поддержания порядка, поднос.

Примечание: Во избежание выливания жидкости, рекомендуется пользоваться заглушкой, вставляемой в шприц.

Плотность воды $\rho = 1\,000\text{ кг/м}^3$.

Рекомендации организаторам

В качестве неизвестной жидкости лучше всего использовать концентрированный раствор поваренной соли или сахарного сиропа с плотностью $1\,100 - 1\,200\text{ кг/м}^3$. Жидкость можно слегка подкрасить зеленкой или медным купоросом.

Возможное решение (Замятнин М.). Найдем массу m пустого шприца. Для этого уравновесим его на линейке, которую будем использовать одновременно в качестве рычага и противовеса. Измеряем расстояние l_1 от точки подвеса системы точки подвеса шприца. Затем заполняем шприц водой (добавляя массу воды m_w), уравниваем его на линейке (не изменяя расстояние от точки подвеса системы до центра тяжести линейки) и измеряем новое расстояние l_2 от него до точки подвеса системы. Решая систему уравнений, находим массу шприца $m = m_w \frac{l_2}{l_1 - l_2}$. Заполнив шприц неизвестной жидкостью до объема V , вновь добиваемся равновесия (измеряем плечо l_3) и рассчитываем плотность жидкости $\rho_x = \frac{m}{V} \frac{l_1 - l_3}{l_3}$. Определение плотности шприца осложняется тем, что он плавает в воде и вытесненные объемы точно измерить нечем. Но можно либо добиться безразличного плавания шприца в полностью погруженном состоянии в воде, отливая из него часть неизвестной жидкости обратно в стаканчик, либо можно провести гидростатическое взвешивание шприца заполненного неизвестной жидкостью в колбе с водой. И тот и другой способ позволяют найти среднюю плотность шприца.

Критерии оценивания

- | | |
|---|---------|
| 1) Определена масса шприца | 2 балла |
| 2) Метод определения плотности неизвестной жидкости | 2 балла |
| 3) Результаты измерений и воспроизводимость (например, таблица) | 2 балла |
| 4) Найдена плотность неизвестной жидкости | 2 балла |
| отличие менее чем на 10% | 2 балла |
| отличие менее чем на 15% | 1 балл |
| 5) Метод определения плотности шприца | 3 балла |
| 6) Результаты измерений и воспроизводимость (например, таблица) | 2 балла |
| 7) Найдена средняя плотность материала шприца | 2 балла |
| отличие менее чем на 10% | 2 балла |
| отличие менее чем на 15% | 1 балл |

Задание 9.2. Что внутри? Внутри «серого» ящика находится идеальный источник с подключенным последовательно к нему резистором (рис. 1). Определите $I_{\text{кз}}$ – ток короткого замыкания серого ящика.

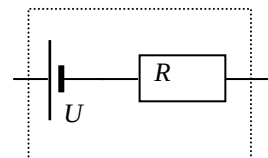


Рис. 1

Примечание. Коротким замыканием будем называть соединение между собой выводов серого ящика.

Приборы и оборудование: два одинаковых мультиметра (режим амперметра отключен), «серый» ящик с двумя выходами.

Примечание. Погрешность мультиметра считать равной 1% от значения измеряемой величины + 1 единица последнего разряда.

Рекомендации организаторам

- Выдавайте участникам олимпиады одинаковые мультиметры (типа м838В, м830, м832, м838) из которых **обязательно!!!!** вынуть предохранители, для исключения их использования в режиме амперметра.
- Внутри черного ящика помещается батарейка типа «Крона» с колодкой, к которой последовательно подключается резистор с сопротивлением 1,50 МОм (следует отбраковать из партии резисторы с номиналами, отличающимися более чем на 2%).
- выводы из черного ящика целесообразно снабдить разъемами типа «крокодил».



Возможное решение (Шеронов А.). Для определения тока короткого замыкания необходимо определить напряжение U источника и сопротивление R резистора, находящихся внутри «серого» ящика.

К выводам ящика подключаем вольтметр и снимаем его показание $U_1 = 3,60$ В. Для получения дополнительной информации необходимо провести еще измерения, например, подключив два вольтметра, соединенных последовательно. В этом случае они показывают по $U_2 = 2,57$ В. Сумма показаний вольтметров не совпадает с U_1 . Это наводит на мысль, что сопротивление внутри ящика сравнимо по величине с сопротивлением вольтметра.

Сопротивление вольтметра в режиме 20 В измеряется непосредственно вторым мультиметром, включенным в режим мегаомметра. Оно составляет $R_V = 1,00$ МОм.

Теоретические зависимости напряжений на одном и двух включенных последовательно вольтметрах имеют вид: $U_1 = \frac{UR_V}{R + R_V}$, и $U_2 = \frac{UR_V}{R + 2R_V}$. Решая систему

относительно U и R , получим: $U = \frac{U_1 U_2}{U_1 - U_2} = 9,0$ В и $R = R_V \frac{2U_2 - U_1}{U_1 - U_2} = 1,5$ МОм.

К аналогичным значениям могут привести измерения, сделанные двумя вольтметрами, соединенными параллельно, в этом случае их показания составляют по $U_3 = 2,25$ В.

Ток короткого замыкания равен $I_{кз} = \frac{U}{R} = 6$ мкА.

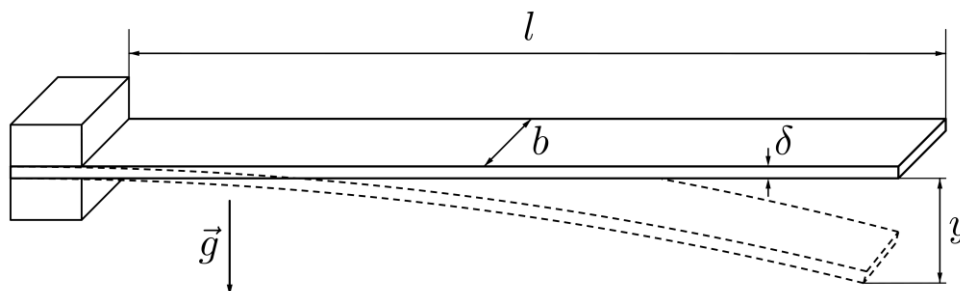
Следует обратить внимание, что при измерении больших сопротивлений необходимо избегать соприкосновения пальцев рук с электрическими контактами приборов, так как сопротивление тела человека меньше или сравнимо с 1 МОм и может внести существенное искажение в измеряемую величину.

Критерии оценивания

1)	Измерение напряжения U_1 одним вольтметром		1 балл
2)	Измерение напряжения U_2 или U_3 двумя вольтметрами		2 балл
3)	Измерение омметром сопротивления вольтметра в режиме 20 В		2 балл
4)	Получена теоретическая зависимость для R		2 балла
5)	Получена теоретическая зависимость для U		2 балла
6)	Вычислено напряжение U	$\pm 5\%$	2 балла
		$\pm 10\%$	1 балл
7)	Вычислено сопротивление R	$\pm 5\%$	2 балла
		$\pm 10\%$	1 балл
8)	Определён ток короткого замыкания		1 балл
9)	Оценена погрешность измеренных величин (по 1 баллу за каждую)		1 балл

Задание 10.1. Анизотропия. Анизотропией называется различие свойств среды (например: упругости, электропроводности, теплопроводности, скорости звука, показателя преломления света и др.) в различных направлениях внутри этой среды.

Теоретическое введение. Максимальное смещение y (так называемая стрела прогиба) конца тонкой горизонтальной планки длиной ℓ под влиянием собственного веса можно определить по формуле:

$$y = \beta E^k \rho^r b^s \delta^t g^h \ell^f, \quad (*)$$


где k, r, s, h, f – некоторые **целые** числа, $\beta = 3/2$ – безразмерный коэффициент, $t = -2$, E – модуль Юнга, ρ – плотность материала планки, δ – толщина, b – ширина планки, g – ускорение свободного падения.

Отметим, что формула (1) справедлива при условии малости прогиба y ($y < 0,5\ell$).

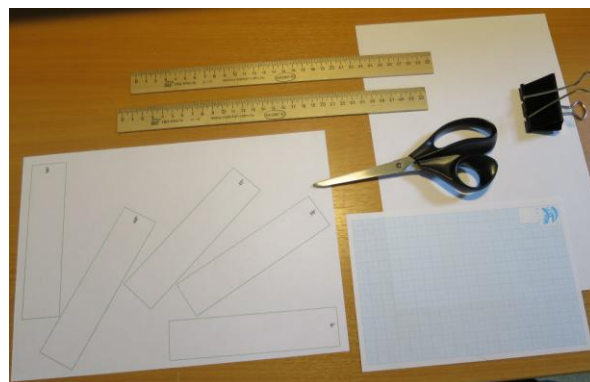
Модуль Юнга – одна из характеристик твердого тела, определяющая его упругие свойства. По закону Гука относительная деформация ε стержня под действием силы F , приложенной перпендикулярно плоскости его поперечного сечения площадью S , равна:

$$\varepsilon = \Delta\ell/\ell = F/ES.$$

Для анизотропных тел модуль Юнга, может зависеть от направления.

Приборы и оборудование. Лист бумаги формата А4 с изображением пяти полосок на каждой из которых указан угол φ её ориентации, относительно длинной стороны листа); чистый лист бумаги формата А4, две деревянные линейки длиной 25 – 30 см; миллиметровая бумага формата А4 (2 листа); канцелярская клипса (48 мм), ножницы.

Примечание. Масса листа бумаги формата А4 составляет $m = 5,0$ г, а его толщина $\delta = 0,10$ мм.

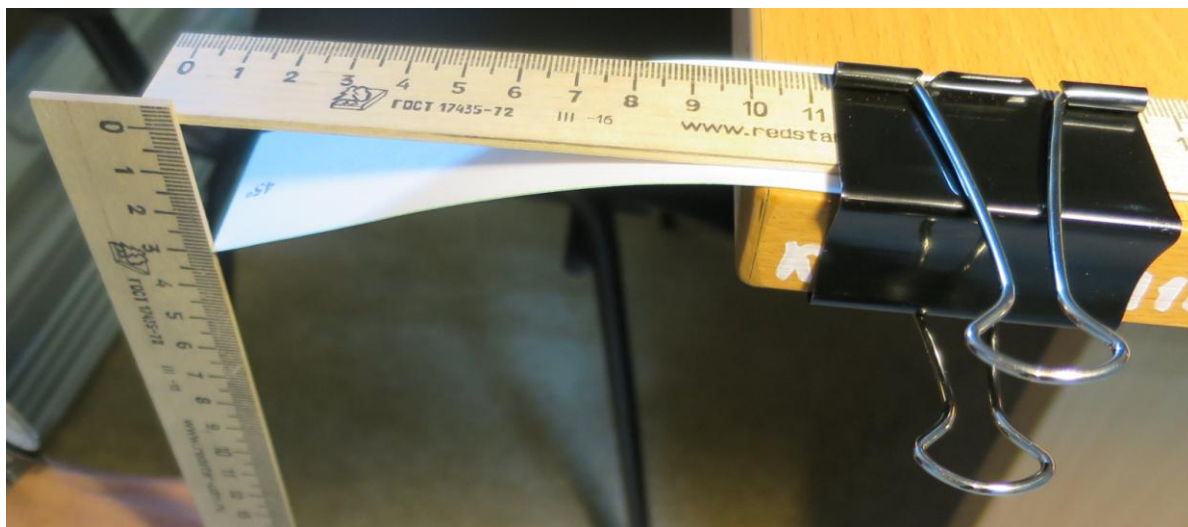


Задание (практическая часть). В работе нужно исследовать, зависит ли значение модуля Юнга от ориентации бумажной полоски относительно листа бумаги формата А4 из которого она вырезана.

1. С помощью чистого листа А4 исследуйте зависимость $y \sim b^s$ (напомним, что s – целое число). Приведите рисунок, поясняющий, как вы проводите данную часть эксперимента.
2. Руководствуясь экспериментальными результатами и методом размерностей определите показатели степеней в формуле (1).

Примечание: при малых деформациях полоски бумаги $y \sim F$, где F – сила, приложенная к полоске.

3. Аккуратно вырежьте из выданного листа бумаги полоски (угол их ориентации относительно длинной стороны листа указан на самих полосках). *Полоски нельзя гнуть, мять, т.к. в противном случае вы можете сильно исказить результаты эксперимента.*
4. Для каждой полоски, закреплённой с помощью клипсы на краю стола, снимите зависимость стрелы прогиба y от длины ℓ выступающей за край стола части (рис. 2). Выполните измерения для 5 – 6 различных значений ℓ .



5. Для каждой полоски постройте график $y(\ell^f)$ и из него определите значение модуля Юнга $E(\varphi)$.
6. Постройте график зависимости модуля Юнга от угла φ . Для каждого значения модуля Юнга изобразите «крест ошибок».
7. Сделайте вывод, наблюдается ли анизотропия модуля Юнга.

Рекомендации организаторам

Трафарет из прикрепленного файла необходимо распечатать на офисной бумаге формата А4. Каждый участник получает два таких листа (один из них – запасной).

Канцелярские клипсы размером 48 мм подбирались для возможности их крепления на столе со столешницей толщиной 22 мм.

Возможное решение

1. На чистом листе бумаги делаем прорези, которые делят его на полосы разной ширины (рис. 3). Убеждаемся, что в пределах погрешности (связанной с неоднородностью бумаги) стрела прогиба не зависит от ширины полосок, следовательно, в формуле (*) показатель степени $s = 0$.

2. Так как $y \sim F$, а $F \sim g$, то $h = 1$. Тогда, руководствуясь соображениями размерности, получаем:

$$y = 3\rho g \ell^4 / 2E\delta^2.$$

В координатах (y, ℓ^4) график зависимости должен быть прямой линией.

3. Снимаем зависимость $y(\ell)$. Строим линейаризованные графики $y(\ell^4)$ для каждой из полосок.

4. Строим график зависимости модуля Юнга от угла φ .

5. Из графика следует, что $E(0) - E(\varphi) > \sigma(E)$, где $\sigma(E)$ – погрешность измерения. Делаем вывод, что для модуля юнга E существует анизотропия.

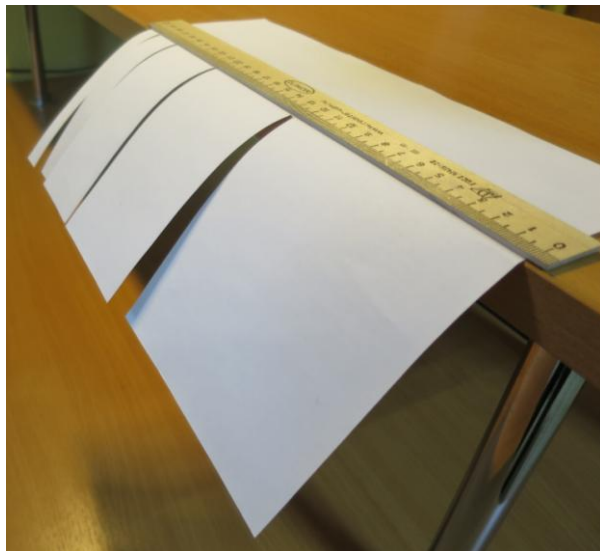


Рис. 3

Примечание. Анизотропию бумаги можно пронаблюдать непосредственно (рис. 4).



Рис. 4

Критерии оценивания

- | | |
|---|-----------------|
| 1) Исследована зависимость $y(b)$ и установлено что $s = 0$ | 2 балла |
| 2) Методом размерностей получено что $y \sim \ell^4$ | 2 балла |
| 3) Снята зависимость $y(\ell)$ | 3 балла |
| для каждой полоски снято 5 и более точек – 3 балла | |
| если число точек 3 – 4, то – 1 балл | |
| если число точек 1 – 2, то – 0 баллов | |
| 4) Построены линеаризованные графики для каждой зависимости $y(\ell)$ | 5 баллов |
| (по 1 баллу за каждую зависимость для полоски с соответствующим углом φ) | |
| 5) Построен график зависимости $E(\varphi)$ | 1 балла |
| 6) Посчитаны погрешности измерений | 1 балл |
| 7) Сделан вывод о существовании анизотропии модуля Юнга | 1 балл |
| (без ссылки на то, что $E(0) - E(\varphi) > \sigma(E)$, этот балл не ставится). | |

Задание 10.2. Что внутри? Внутри «серого» ящика находится идеальный источник с подключённым последовательно к нему резистором (рис. 1).

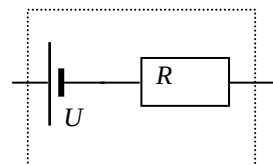


Рис. 1

1) Определите напряжение U идеального источника и сопротивление R резистора, находящихся внутри ящика.

2) Используя в качестве источника напряжения один из мультиметров, включённый в режиме омметра (в диапазоне 2000 кОм), определите напряжение этого источника U_0 и сопротивление r_0 последовательно соединённого с ним резистора (резистор находится внутри мультиметра).

Примечания. Эквивалентная схема мультиметра, используемого в качестве источника напряжения, полностью аналогична схеме чёрного ящика, приведенной на рис. 1.

Погрешность мультиметра считать равной 1% от значения измеряемой величины + 1 единица последнего разряда.

Приборы и оборудование: два одинаковых мультиметра (режим амперметра отключён), «серый» ящик с двумя выходами.

Рекомендации организаторам

- выдавать одинаковые мультиметры (типа м838В, м830, м832, м838) из которых **обязательно!!!!** вынуть предохранители, для исключения их использования в режиме амперметра.
- внутри черного ящика помещается батарейка типа «Крона» с колодкой, к которой последовательно подключается резистор с сопротивлением 1,50 МОм (следует отбраковать из партии резисторы с номиналами, отличающимися более чем на 2%).
- выводы из черного ящика целесообразно снабдить разъемами типа «крокодил».



Возможное решение.

К выводам ящика подключаем вольтметр и снимаем его показания $U_1 = 3,60$ В. Для получения дополнительной информации необходимо провести еще измерения, например, подключив два вольтметра, соединенных последовательно. В этом случае они показывают по $U_2 = 2,57$ В. Сумма показаний вольтметров не совпадает с U_1 . Это наводит на мысль, что сопротивление внутри ящика сравнимо по величине с сопротивлением вольтметра.

Сопротивление вольтметра в режиме 20 В измеряется непосредственно вторым мультиметром, включенным в режим мегаомметра. Оно составляет $R_V = 1,00$ МОм.

Теоретические зависимости напряжений на одном и двух включенных последовательно вольтметрах имеют вид: $U_1 = U \frac{R_V}{R + R_V}$, и $U_2 = U \frac{R_V}{R + 2R_V}$. Решая систему относительно

U и R , получим: $U = \frac{U_1 U_2}{U_1 - U_2} = 9,0$ В и $R = R_V \frac{2U_2 - U_1}{U_1 - U_2} = 1,5$ МОм. К аналогичным

значениям могут привести измерения, сделанные двумя вольтметрами, соединенными параллельно, в этом случае их показания составляют по $U_3 = 2,25$ В.

Если вольтметр подключить к омметру непосредственно (рис. 2), то он покажет напряжение U_4 , равное

$$U_4 = \frac{U_0 R_V}{R_V + r_0} \approx 1,3 \text{ В} \quad (1)$$

Если собрать последовательную цепь, состоящую из омметра, серого ящика и вольтметра, таким образом, чтобы напряжения серого ящика и омметра складывались (рис. 3), то вольтметр покажет напряжение U_5 , равное

$$U_5 = \frac{(U + U_0) R_V}{R_V + r_0 + R} \approx 3,3 \text{ В} \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1), (2), получаем:

$$r_0 = \frac{R_V (U_4 + U) - U_5 (R + R_V)}{U_5 - U_4} \approx 1 \text{ МОм.}$$

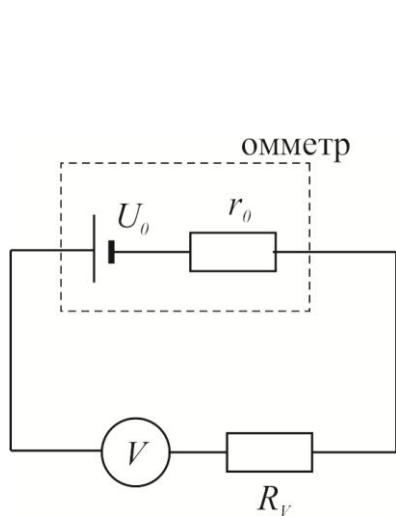


рис. 2

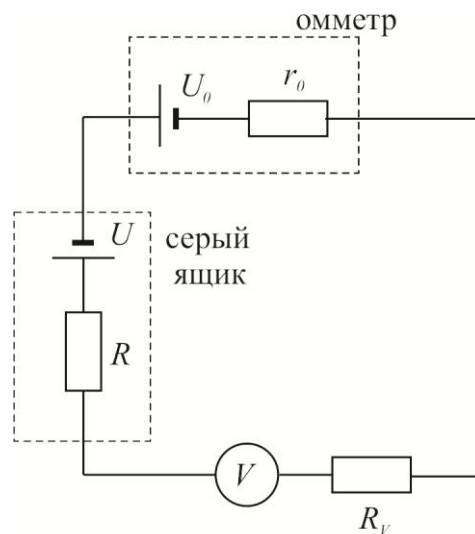


рис. 3

Подставляя найденное значение r_0 в (1), получим:

$$U_0 = U_4 \left(1 + \frac{r_0}{R_V} \right) \approx 2,6 \text{ В.}$$

Следует обратить внимание на то, что при измерении больших сопротивлений необходимо избегать соприкосновения пальцев рук с электрическими контактами приборов, так как сопротивление тела человека меньше или сравнимо с 1 МОм и может внести существенное искажение в измеряемую величину. В этом случае за оценку погрешности баллы не ставятся.

Критерии оценивания

1) Измерение напряжения U_1 одним вольтметром		1 балл
2) Измерение напряжения U_2 или U_3 двумя вольтметрами		1 балл
3) Измерение омметром сопротивления вольтметра в режиме 20 В		1 балл
4) Получена теоретическая зависимость для R		1 балл
5) Получена теоретическая зависимость для U		1 балл
6) Вычислено напряжение U	$\pm 2\%$	1 балл
	$\pm 5\%$	0,5 балла
7) Вычислено сопротивление R	$\pm 2\%$	1 балл
	$\pm 5\%$	0,5 балла
8) Предложена методика измерения напряжения U_0 и сопротивления r_0		2 балла
9) Вычислено сопротивление r_0		2 балла
10) Вычислено напряжение U_0		2 балла
11) Оценена погрешность измеренных величин (U, r, U_0, r_0) (по 0,5 балла за каждую)		2 балла