

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), большой стакан, заполненный водой, стаканчик с неизвестной жидкостью, канцелярский зажим, пластиковый стерженек, заглушка для шприца (деревянная зубочистка (её можно ломать)), салфетки для поддержания порядка, поднос или одноразовая скатерть.

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

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

Внимание! Портить шприц запрещается!

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

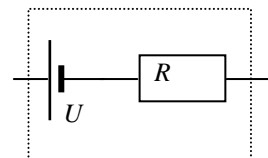


Рис. 1

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

Приборы и оборудование: два одинаковых мультиметра, «серый» ящик с двумя выходами.

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

Внимание! Использовать мультиметр в режиме амперметра строго запрещено! Такие решения засчитываться не будут.

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), большой стакан, заполненный водой, стаканчик с неизвестной жидкостью, канцелярский зажим, пластиковый стержень, заглушка для шприца (деревянная зубочистка (её можно ломать)), салфетки для поддержания порядка, поднос или одноразовая скатерть.

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

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

Внимание! Портить шприцы запрещается!

Возможное решение (Замятнин М.). Для начала найдем координату центра тяжести линейки. Для этого уравновесим ее на стержне, прикрепленном к краю стола канцелярским зажимом. Координата центра тяжести линейки составит $x_l = (252,0 \pm 0,5) \text{ мм}$. Найдем массу m пустого шприца. Для этого уравновесим его на линейке, которую будем использовать одновременно в качестве рычага и противовеса (см Рис. 1)

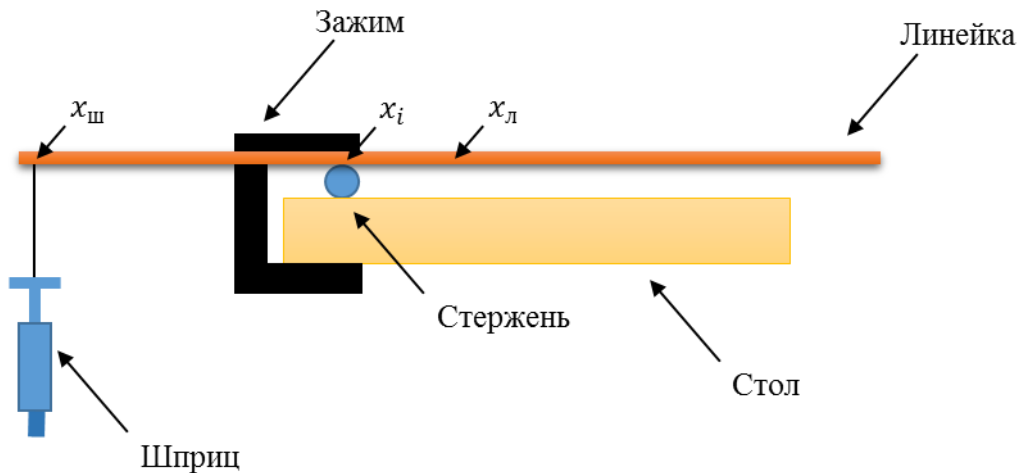


Рис. 1 Схема установки

Точка опоры линейки на стержень при равновесии имеет координату x_l , точка подвеса шприца - $x_{ш}$. Затем заполняем шприц водой (объем воды $V = 6,0 \text{ мл}$), уравниваем его на линейке (не изменяя координату шприца на линейке). Координата точки опоры при новом равновесии системы x_2 . Запишем условия равновесия системы в первом и втором случаях:

$$m(x_{ш} - x_l) = m_l(x_l - x_l) \quad (1)$$

$$(\rho_e V + m)(x_{ш} - x_2) = m_l(x_2 - x_l) \quad (2)$$

где m_l - масса линейки, ρ_e - плотность воды.

Тогда для массы шприца имеем:

$$m = \frac{\rho_e V(x_l - x_l)(x_{ш} - x_2)}{(x_2 - x_l)(x_{ш} - x_l)} \quad (3)$$

Заполнив шприц неизвестной жидкостью до объема V , не изменяя его положение на линейке, вновь добиваемся равновесия (измеряем координату точки равновесия x_3).

Условие равновесия системы запишется как:

$$(\rho V + m)(x_{ш} - x_3) = m_l(x_3 - x_l) \quad (4)$$

Получаем, что плотность раствора связана с плотностью воды как:

$$\rho = \rho_e \frac{(x_{ш} - x_2)(x_3 - x_l)}{(x_2 - x_l)(x_{ш} - x_3)} \quad (5)$$

Для оценки погрешности результата проведем измерения для серии координат шприца на линейке.

$x_{ш}, \text{ мм}$	500,0	460,0	420,0
---------------------	-------	-------	-------

$x_1, \text{мм}$	291,0	286,0	279,0
$x_2, \text{мм}$	330,0	317,5	304,5
$x_3, \text{мм}$	334,5	321,0	308,0
$m, \text{г}$	4,11	4,44	4,37
$\rho, \text{г/см}^3$	1,146	1,139	1,173

Усредним значение плотности и рассчитаем сумму среднего отклонения от среднего и оценкой погрешности, являющийся следствием приборной, для определения погрешности результата:

$$\rho = (1,15 \pm 0,09) \text{ г/см}^3 \quad (6)$$

$$\varepsilon = 7,7\%$$

Также усредним значение массы шприца:

$$m = 4,3 \pm 0,5 \text{ г} \quad (7)$$

$$\varepsilon = 12\%$$

Определение плотности материала шприца осложняется тем, что шприц плавает в воде и вытесненный объем воды точно измерить нечем. Но можно добиться безразличного равновесия при плавании шприца в воде в полностью погруженном состоянии, отливая из него часть неизвестной жидкости обратно в стаканчик. Добиться такого положения удастся при объеме неизвестной жидкости в шприце $V_1 = 3,0 \pm 0,2 \text{ мл}$. Таким образом, для определения средней плотности материала шприца запишем:

$$\rho_g = \frac{\rho V_1 + m}{V_1 + (m / \rho_u)} \quad (8)$$

$$\rho_g = (\rho V + m) / (V + \frac{m}{\rho_u}) \quad (8)$$

Откуда найдем плотность материала шприца:

$$\rho_u = \frac{\rho_g}{1 + \frac{(\rho - \rho_g)V_1}{m}} = 0,90 \pm 0,07 \text{ г/см}^3. \quad (9)$$

$$\varepsilon = 8\%$$

Погрешность оценим методом границ. Вторым способом измерения плотности шприца может быть гидростатическое взвешивание, однако этот метод является менее точным при использовании предложенного оборудования. Высота стакана ограничивает количество раствора, которое можно набрать в шприц, таким образом, чтобы шприц был полностью погружен в воду и не касался дна, отметкой 4-4,5мл. Вследствие этого вес шприца в воде с таким количеством глицерина слишком мал по сравнению с силой тяжести линейки, что приведет к очень неточному его измерению.

Критерии оценивания

- | | |
|---|----------------|
| 1) Определена масса шприца | 2 балла |
| 2) Метод определения плотности неизвестной жидкости | 2 балла |
| а. Описание и установка (1 б) | |
| б. Теоретические выкладки (1 б) | |
| 3) Результаты измерений и воспроизводимость (например, таблица) | 2 балла |
| а. Оформлены результаты измерений (1 б) | |
| б. Сделана серия хотя бы из 3-х измерений (1 б) | |
| 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 |
| а. Описание установки и метода (1,5 б) | |
| б. Теоретические выкладки (1,5 б) | |
| 6) Результаты измерений и воспроизводимость (например, таблица) | 2 балла |
| а. Попытка оценки погрешности либо указание на повторяемость результата (1 б) | |
| б. Приведены результаты измерений (1 б) | |
| 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 $I_{кз}$ – ток короткого замыкания серого ящика.

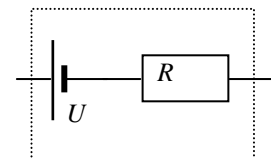


Рис. 1

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

Приборы и оборудование: два одинаковых мультиметра, «серый» ящик с двумя выходами.

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

Внимание! Использовать мультиметр в режиме амперметра строго запрещено! Такие решения засчитываться не будут.

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 $U_1 = (3,94 \pm 0,05)$ В. Для получения дополнительной информации необходимо провести еще измерения, например, подключив два вольтметра, соединенных последовательно. В этом случае они показывают по $U_2 = (2,82 \pm 0,04)$ 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 $R_V = (1,00 \pm 0,02)$ 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: $U = \frac{U_1 U_2}{U_1 - U_2} = (9,9 \pm 0,8)$ В и $R = R_V \frac{2U_2 - U_1}{U_1 - U_2} = (1,5 \pm 0,2)$

МОм. К аналогичным значениям могут привести измерения, сделанные двумя вольтметрами, соединенными параллельно, в этом случае их показания составляют по $U_3 = (2,46 \pm 0,04)$ В.

Ток короткого замыкания равен $I_{кз} = \frac{U}{R} = (6,5 \pm 1,4)$ мкА.

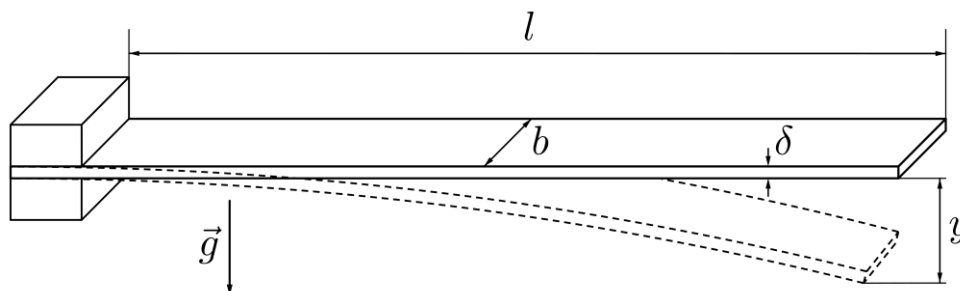
Следует обратить внимание, что при измерении больших сопротивлений необходимо избегать соприкосновения пальцев рук с электрическими контактами приборов, так как сопротивление тела человека меньше или сравнимо с 1 МОм и может внести существенное искажение в измеряемую величину.

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
(также за пункты 2 и 3 ставится 4 балла в том случае,
если измерено U_2 и U_3 , а сопротивление вольтметра не измерено) | 2 балл |
| 4) Получена теоретическая зависимость для R | 2 балла |
| 5) Получена теоретическая зависимость для U | 2 балла |
| 6) Вычислено напряжение [9,2;10,1] В | 2 балла |
| [8,5;10,5] В | 1 балл |
| 7) Вычислено сопротивление R [1,42;1,58] МОм | 2 балла |
| [1,35;1,65] МОм | 1 балл |
| 8) Определён ток короткого замыкания (верно вычислено
отношение напряжения к сопротивлению) | 1 балл |
| 9) Оценена погрешность измеренных величин | 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.

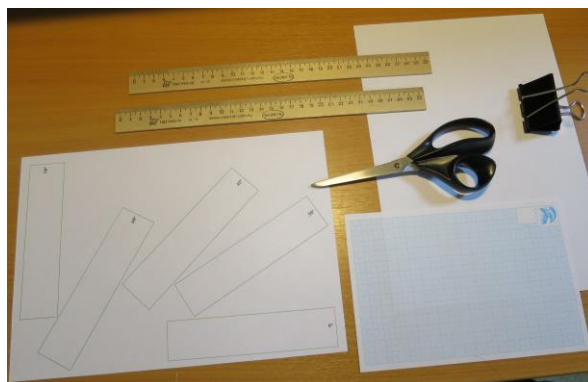
Отметим, что формула (1) справедлива при условии малости прогиба y ($y < 0,5\ell$).

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 .

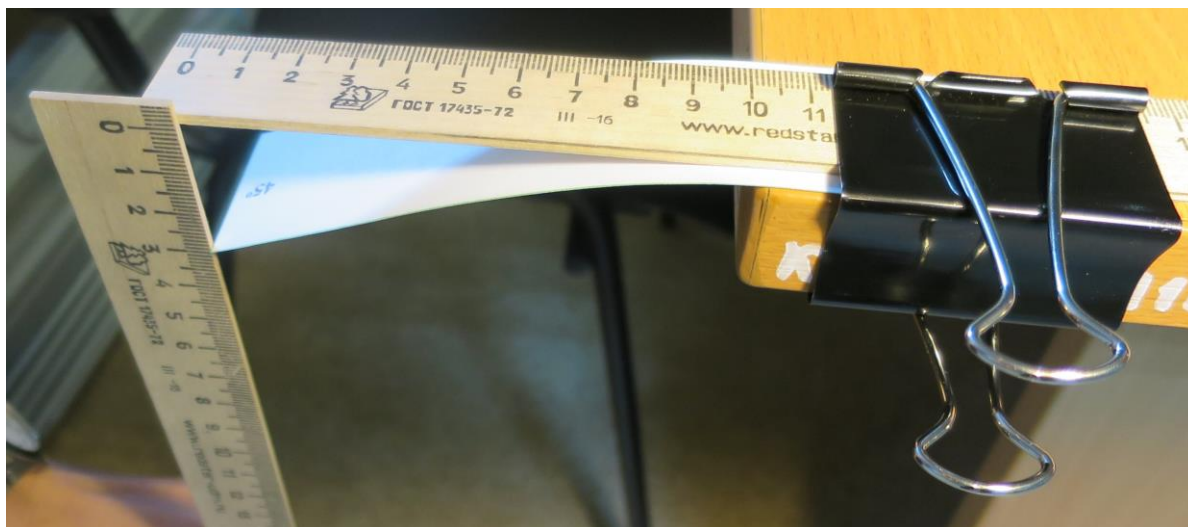
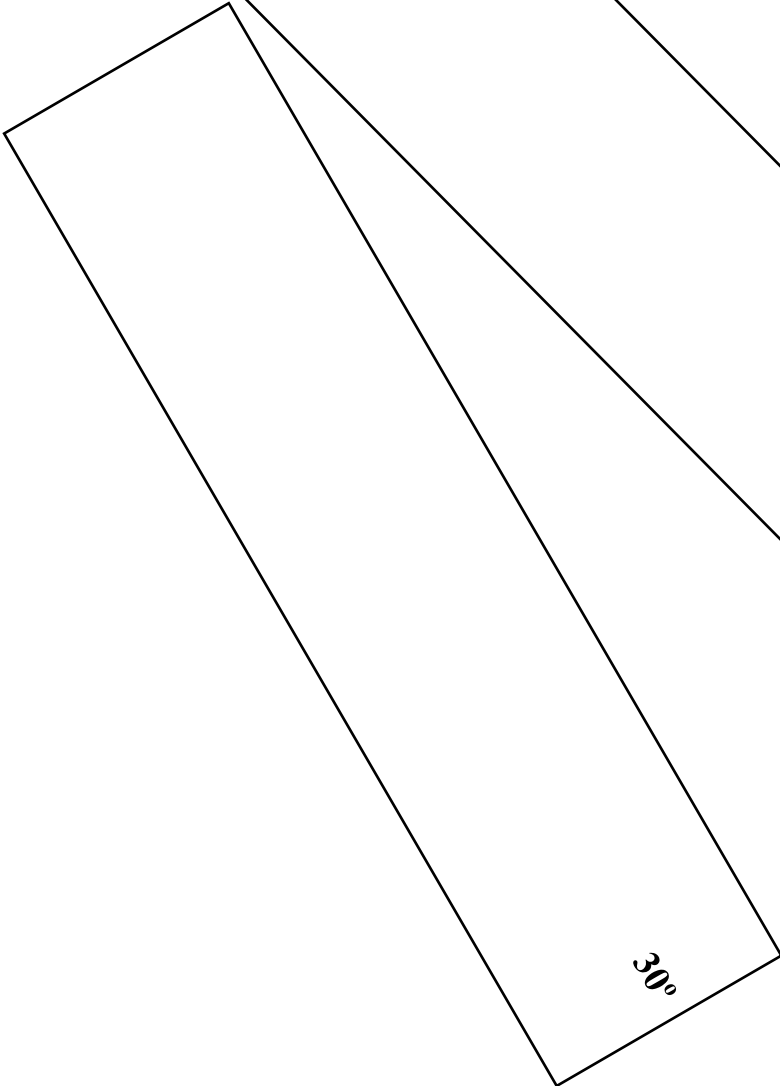
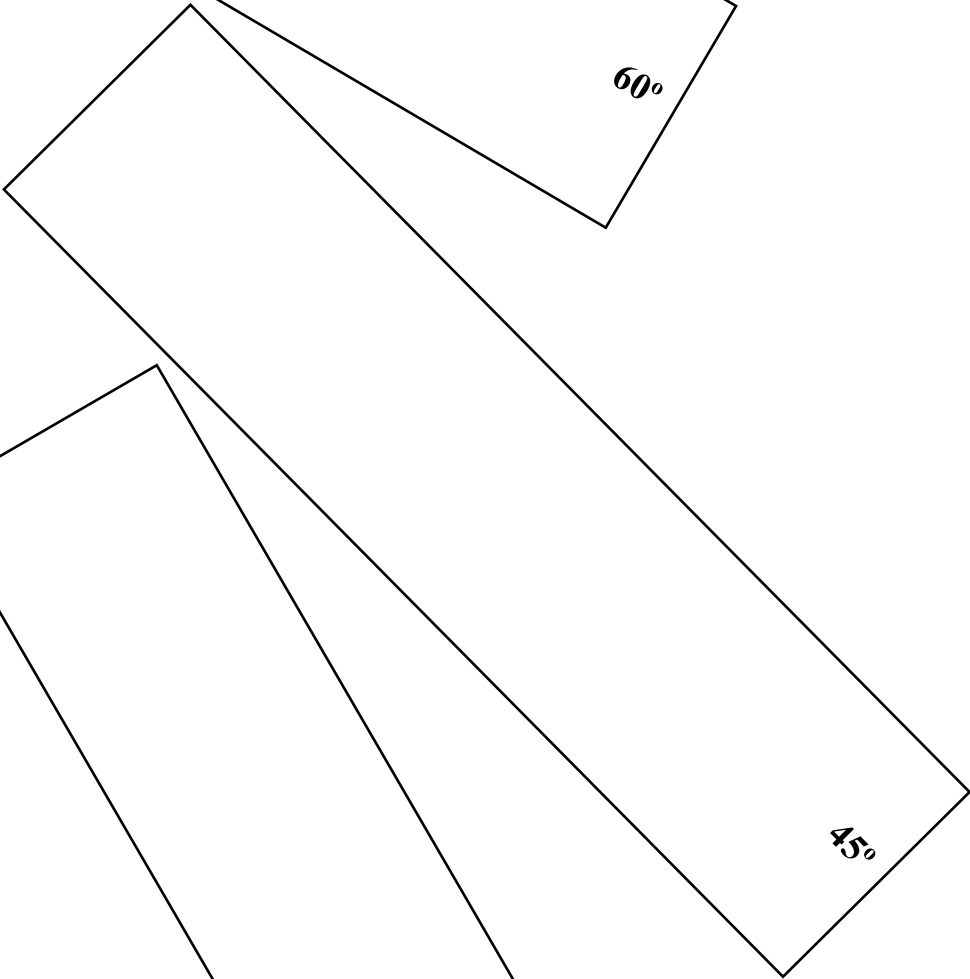
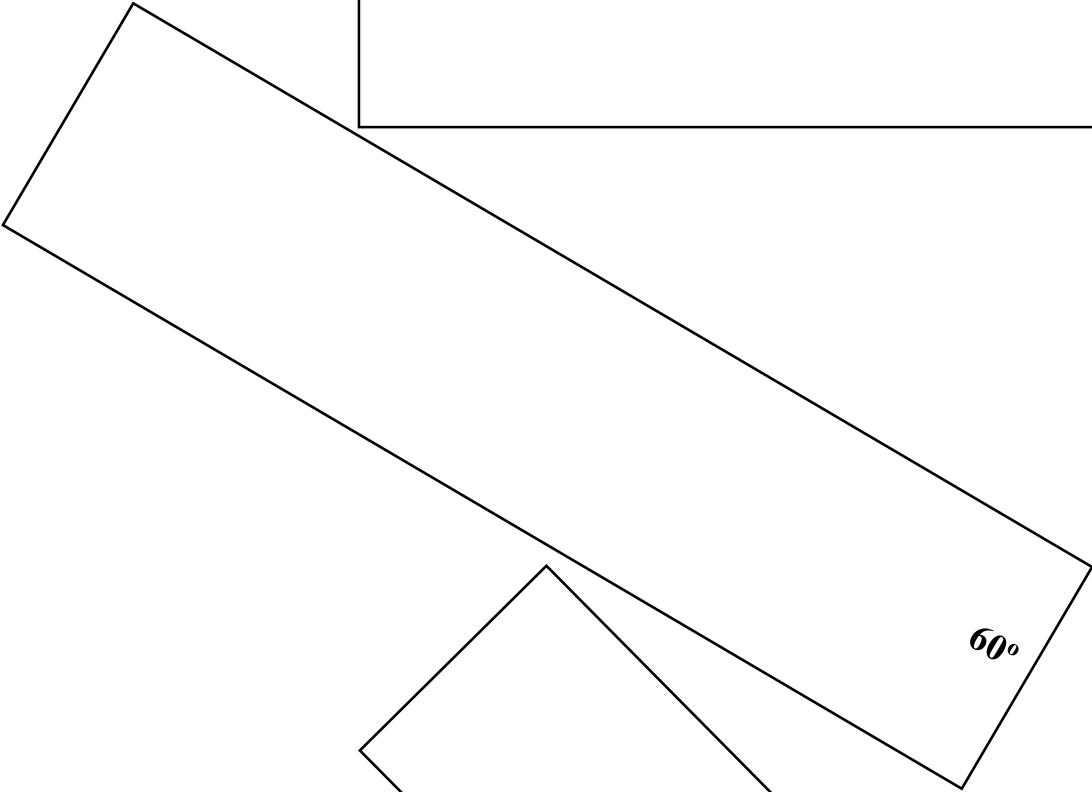
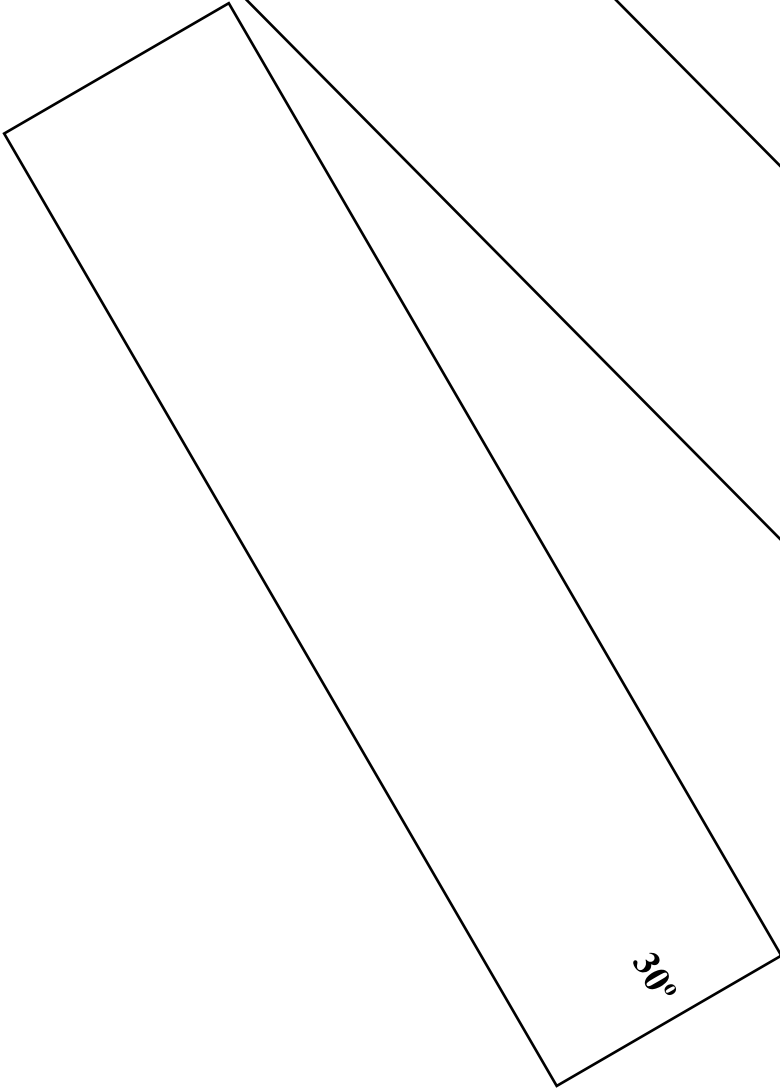
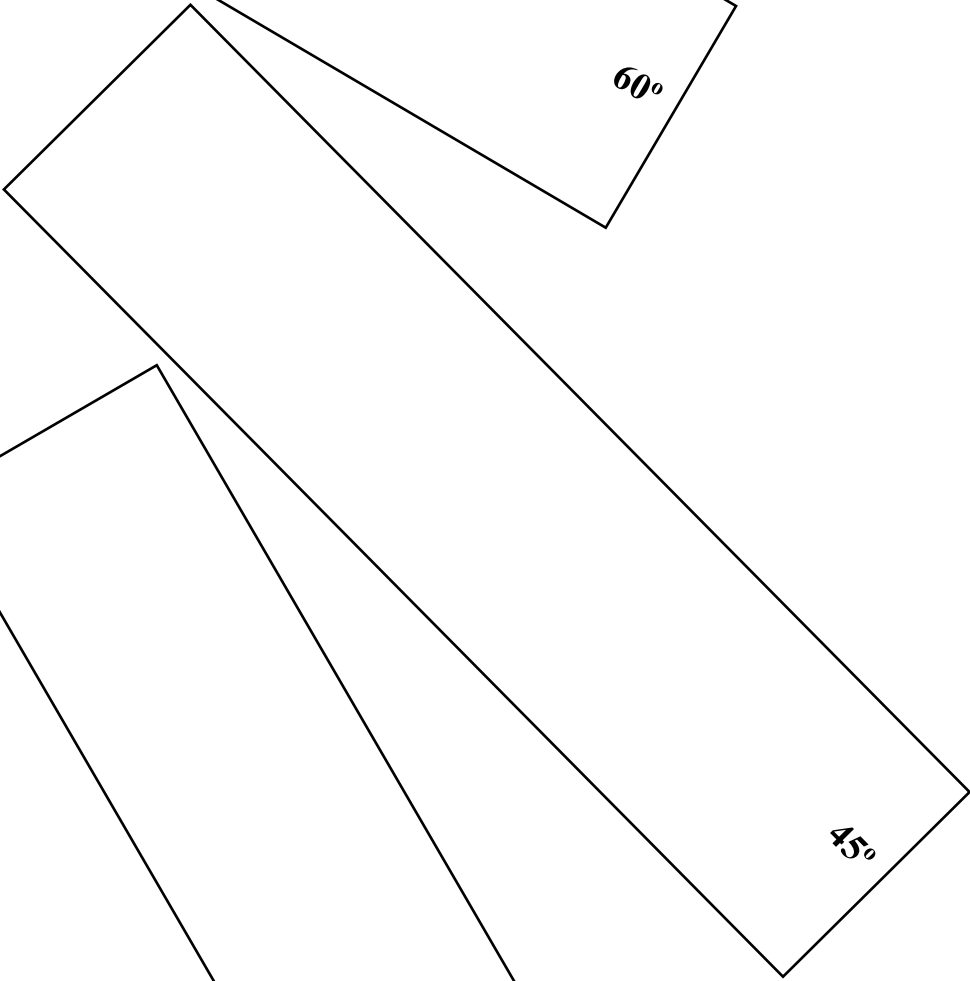
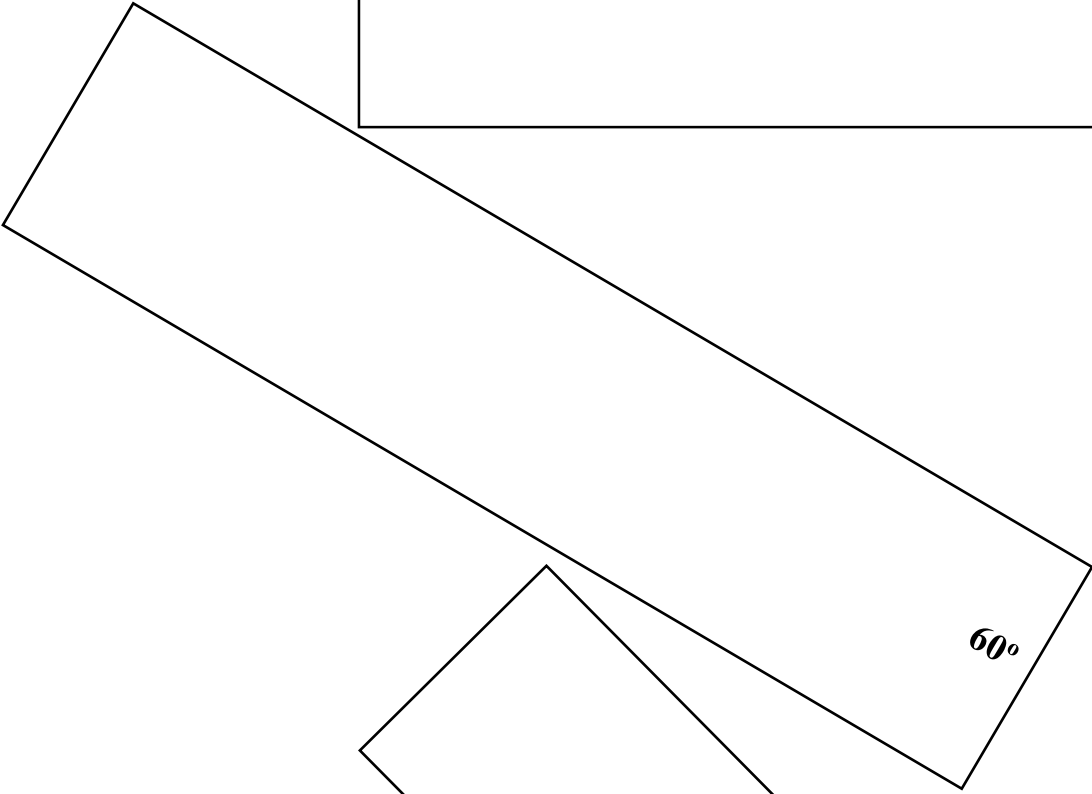
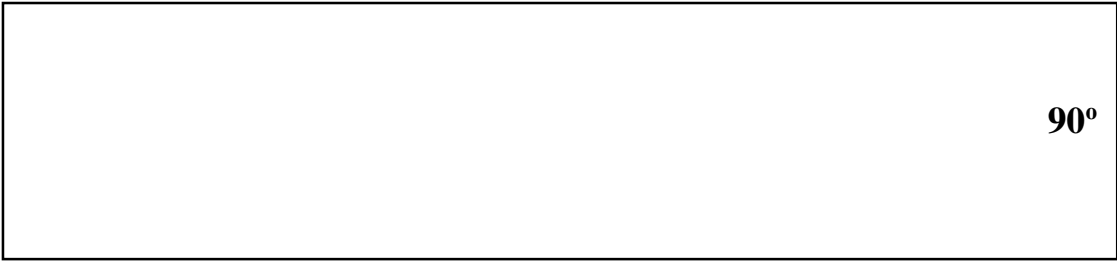


Рис. 2

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.





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

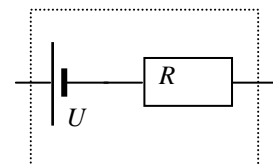


Рис. 1

- 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).

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

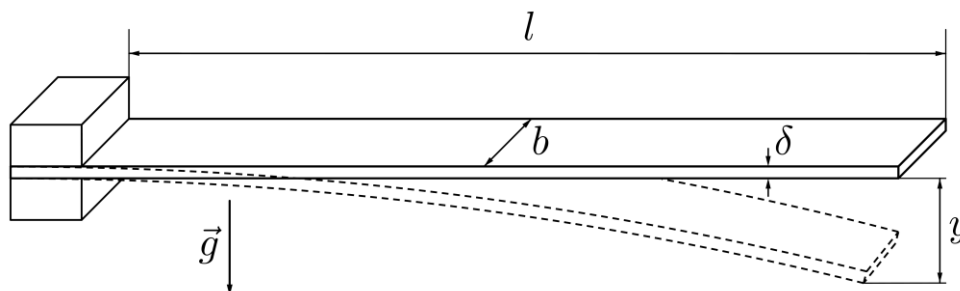
Приборы и оборудование: два одинаковых мультиметра, «серый» ящик с двумя выходами.

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

Внимание! Использовать мультиметр в режиме амперметра строго запрещено! Такие решения засчитываться не будут.

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.

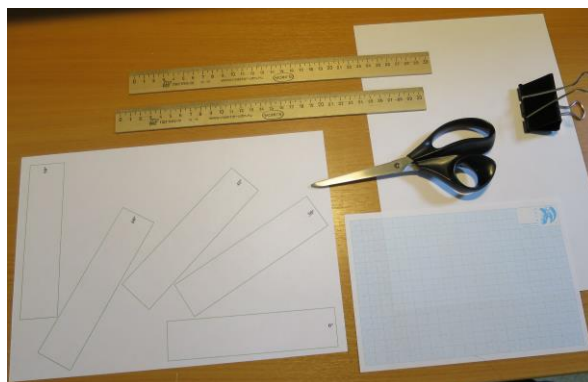
Отметим, что формула (1) справедлива при условии малости прогиба y ($y < 0,5\ell$).

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 .

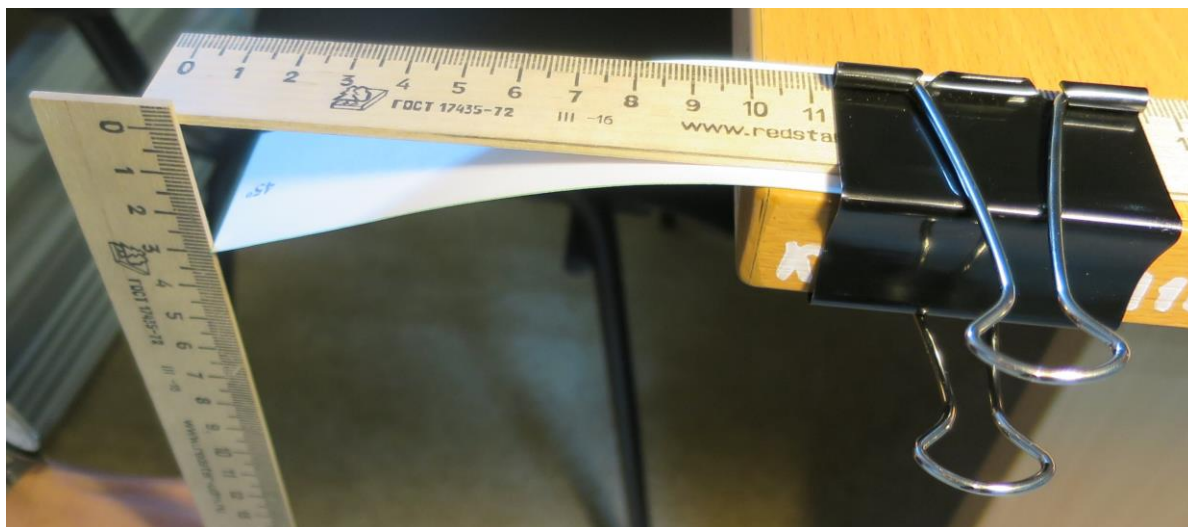
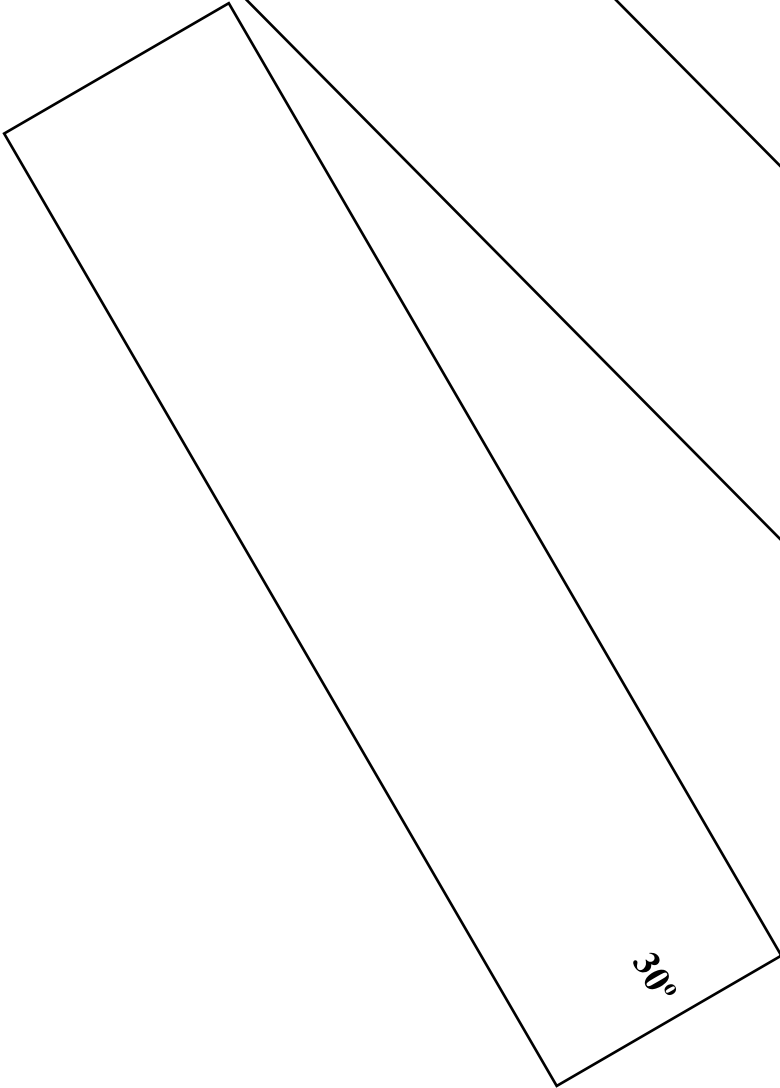
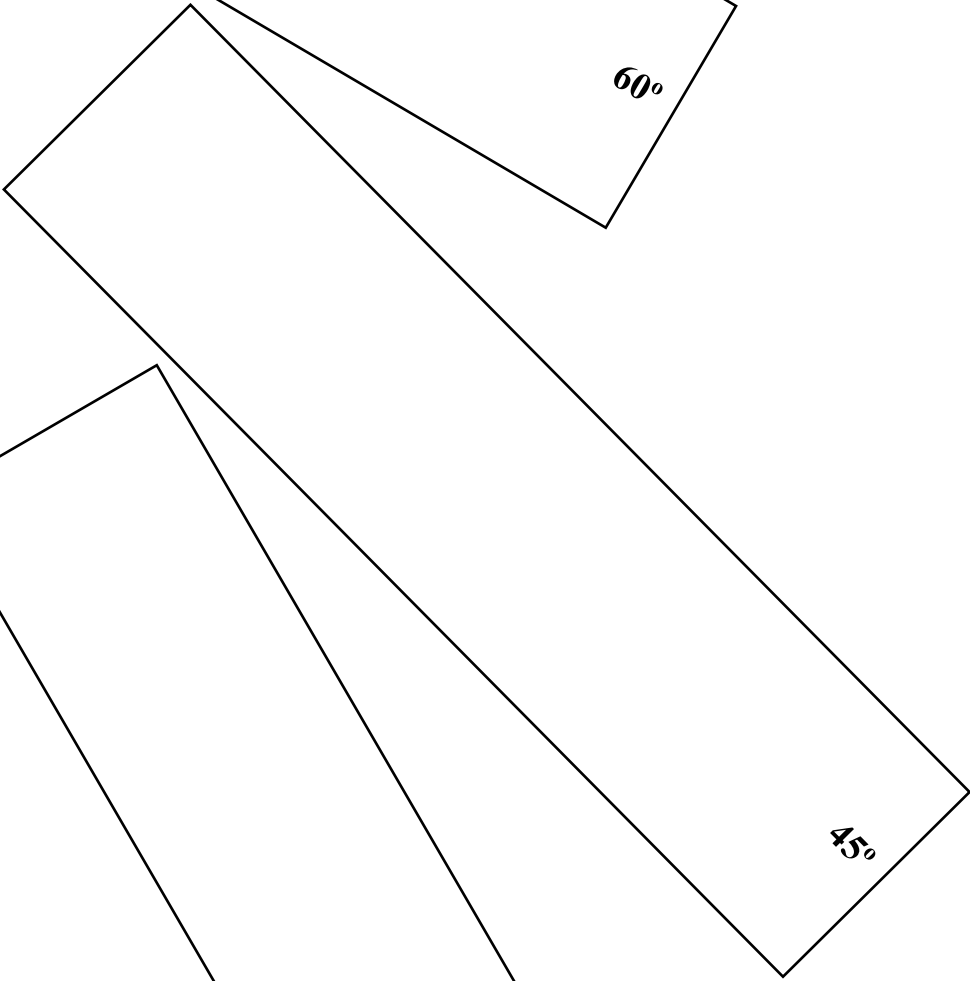
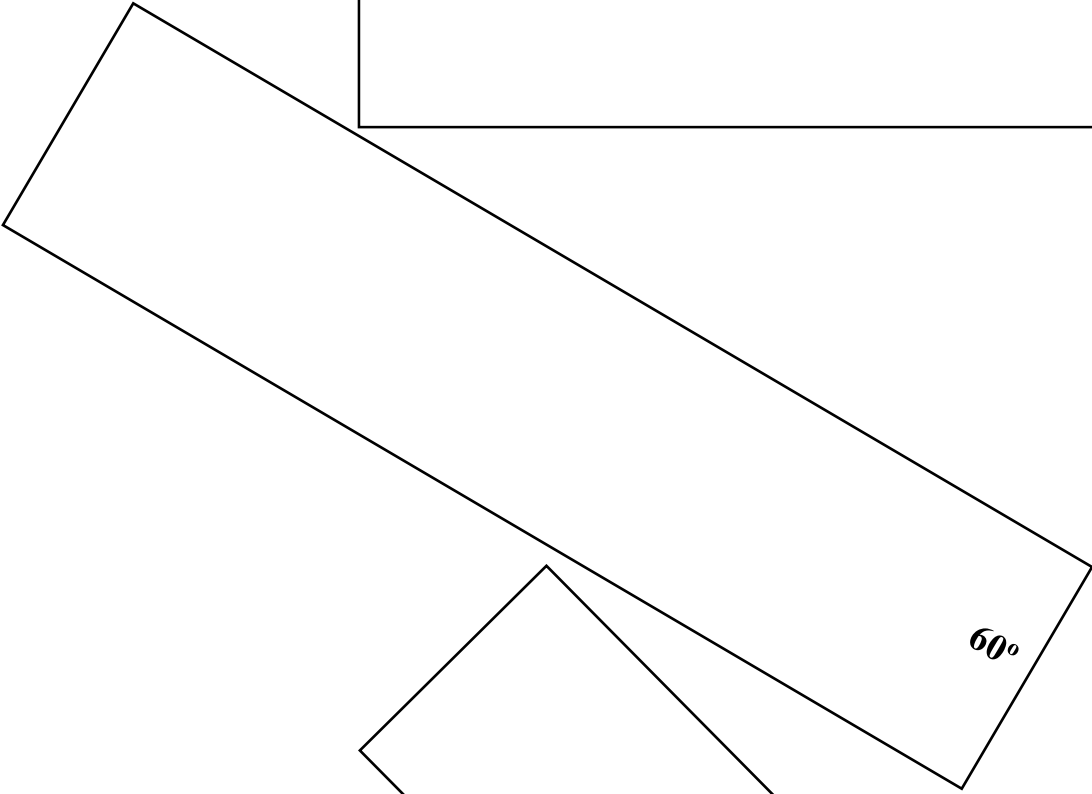
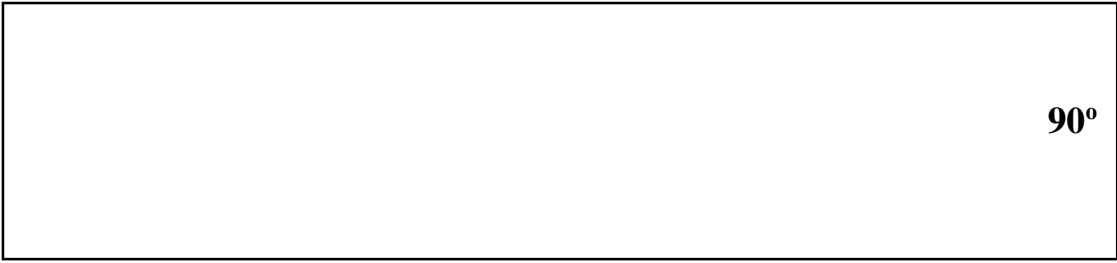
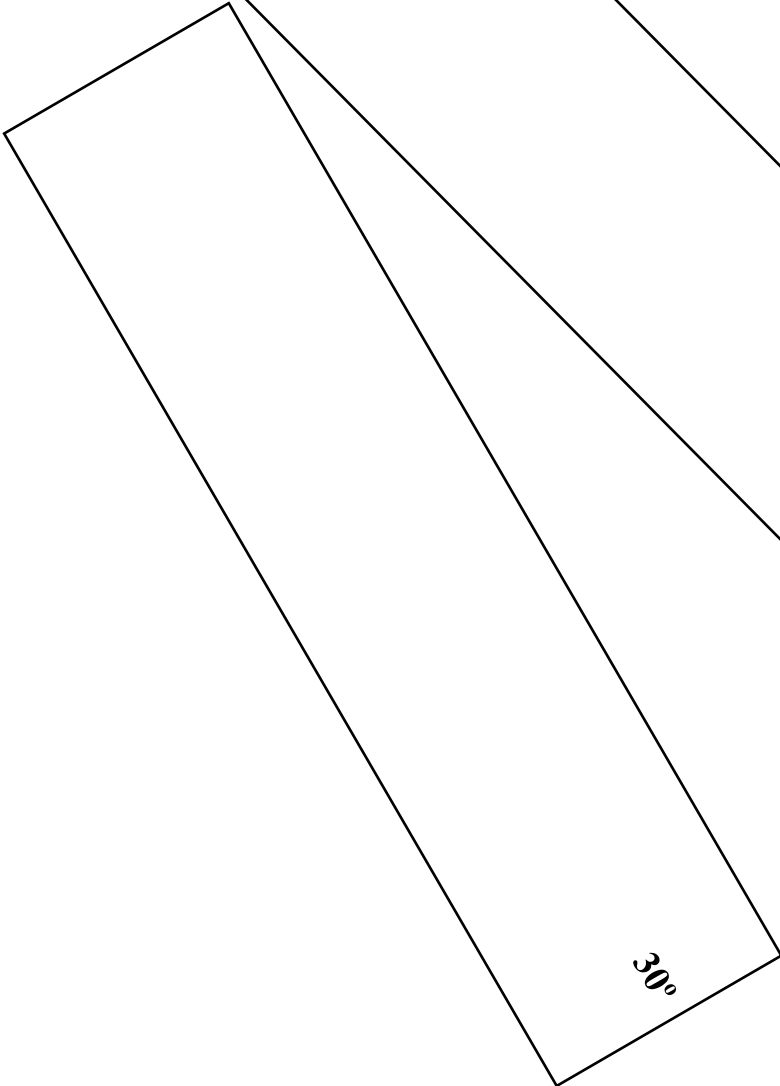
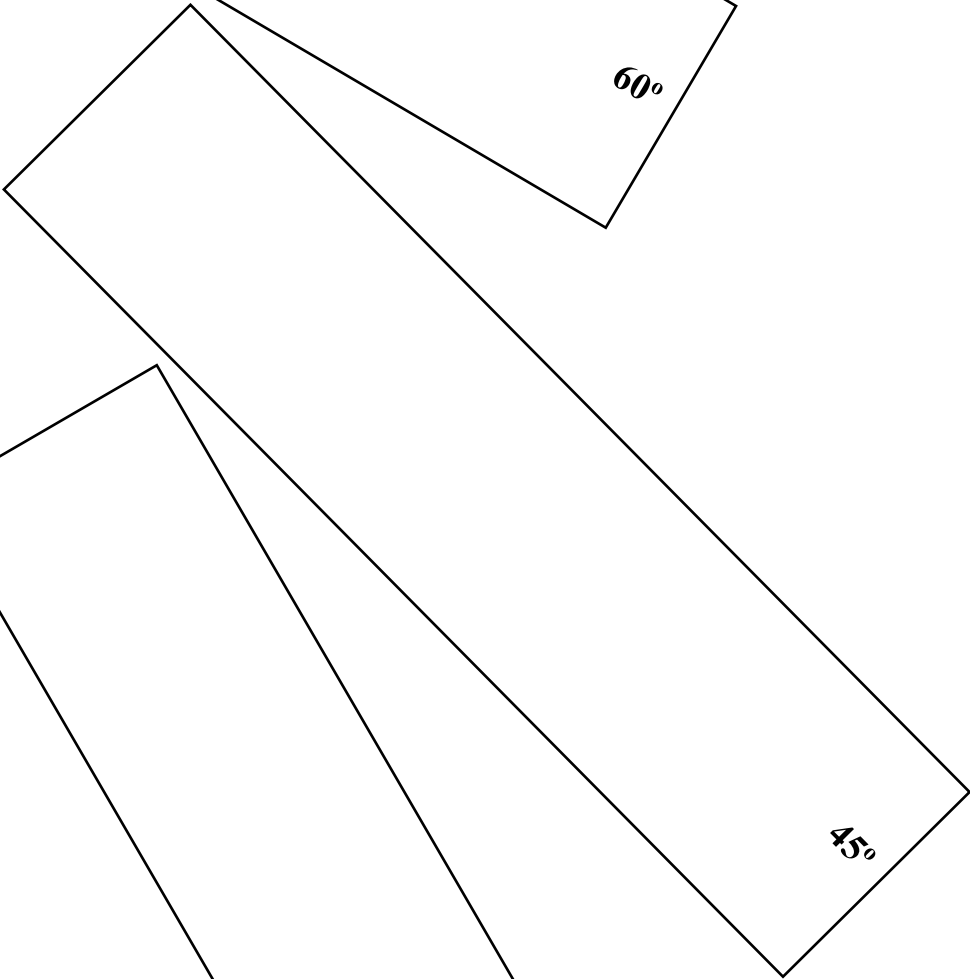
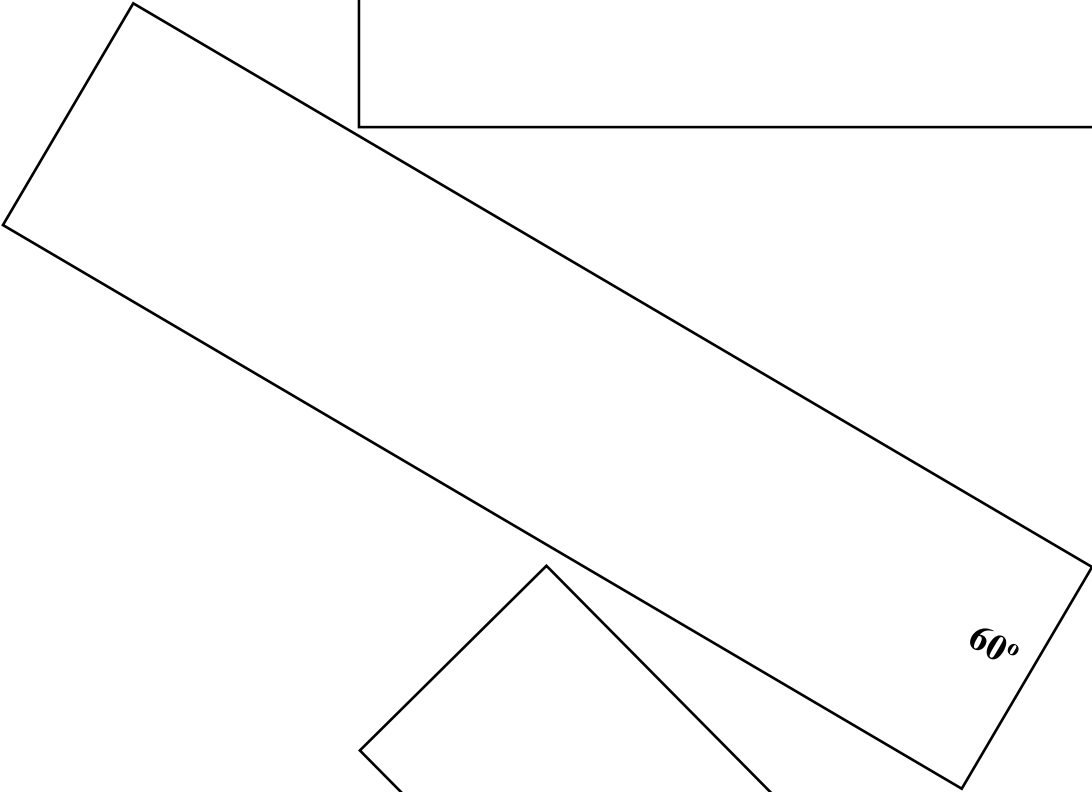


Рис. 2

5. Для каждой полоски постройте график $y(\ell^2)$ 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.





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 линейризованные 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.

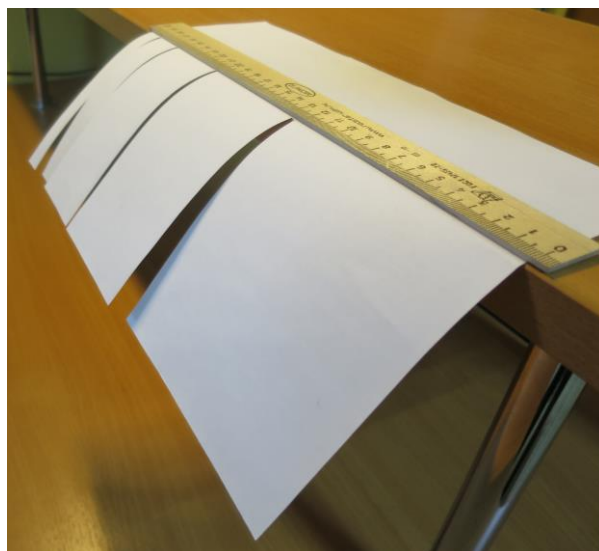


Рис. 3

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

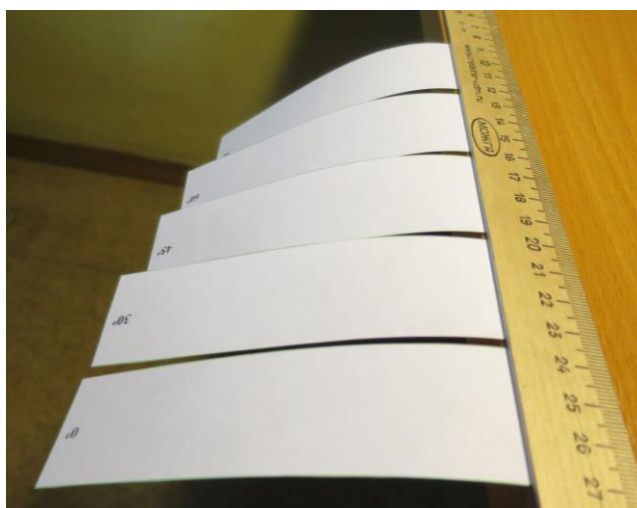


Рис. 4

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).

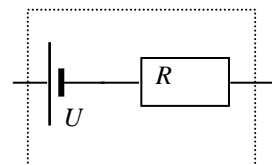


Рис. 1

- 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).

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

Приборы и оборудование: два одинаковых мультиметра, «серый» ящик с двумя выходами.

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

Внимание! Использовать мультиметр в режиме амперметра строго запрещено! Такие решения засчитываться не будут.

Возможное решение.

К выводам ящика подключаем вольтметр и снимаем его показание $U_1 = (3,94 \pm 0,05)$ В. Для получения дополнительной информации необходимо провести еще измерения, например, подключив два вольтметра, соединенных последовательно. В этом случае они показывают по $U_2 = (2,82 \pm 0,04)$ 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 $R_V = (1,00 \pm 0,02)$ 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: $U = \frac{U_1 U_2}{U_1 - U_2} = (9,9 \pm 0,8)$ В и $R = R_V \frac{2U_2 - U_1}{U_1 - U_2} = (1,5 \pm 0,2)$

МОм. К аналогичным значениям могут привести измерения, сделанные двумя вольтметрами, соединенными параллельно, в этом случае их показания составляют по $U_3 = (2,46 \pm 0,04)$ В.

Ток короткого замыкания равен $I_{кз} = \frac{U}{R} = (6,5 \pm 1,4)$ мкА.

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

$$U_4 = \frac{U_0 R_V}{R_V + r_0} = (148,3 \pm 1,5) \text{ мВ} \quad (1)$$

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

$$U_5 = \frac{(U + U_0) R_V}{R_V + r_0 + R} = (2,90 \pm 0,04) \text{ В} \quad (2)$$

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

$$r_0 = \frac{R_V (U_4 + U) - U_5 (R + R_V)}{U_5 - U_4} = (1,0 \pm 0,2) \text{ МОм.}$$

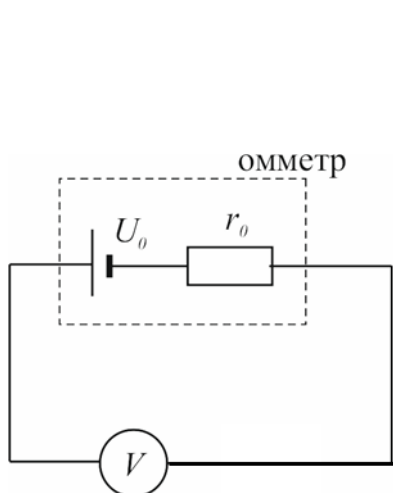


рис. 2

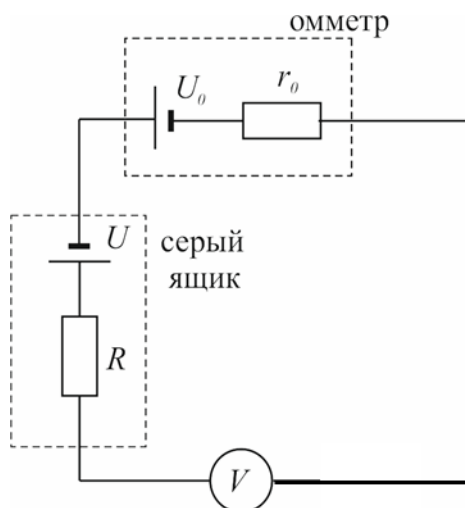


рис. 3

Подставляя найденное значение r_0 в (1), получим:

$$U_0 = U_4 \left(1 + \frac{r_0}{R_V} \right) = (300 \pm 30) \text{ мВ.}$$

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 |
| (также за пункты 2 и 3 ставится 2 балла в том случае, если измерено U_2 и U_3 , а сопротивление вольтметра не измерено) | |
| 4) Получена теоретическая зависимость для R | 1 балл |
| 5) Получена теоретическая зависимость для U | 1 балл |
| 6) Вычислено напряжение [9,2;10,1] В | 1 балл |
| [8,5;10,5] В | 0,5 балла |
| 7) Вычислено сопротивление R [1,42;1,58] МОм | 1 балл |
| [1,35;1,65] МОм | 0,5 балла |
| 8) Предложена методика измерения напряжения U_0 и сопротивления r_0 | 2 балла |
| 9) Вычислено сопротивление r_0 [0,95;1,05] МОм | 2 балла |
| [0,90;1,10] МОм | 1 балл |
| 10) Вычислено напряжение U_0 [285;315] мВ | 2 балла |
| [270;330] мВ | 1 балл |
| 11) Оценена погрешность измеренных величин (U, r, U_0, r_0)
(по 0,5 балла за каждую) | 2 балла |

Задание 11.1. Критическая длина и скорость звука в пластмассовой планке.

Теоретическое введение.

Если отклонить в поперечном направлении свободный конец вертикально закрепленной с одного конца упругой планки (рис. 1) и отпустить, то возникнут свободные поперечные колебания планки вблизи её вертикального положения. Однако, как несложно убедиться экспериментально, такие колебания возникают только в том случае, если длина l свободного, направленного вверх, конца планки не превышает некоторую критическую длину $l_{кр}$. В этом случае вертикальное положение планки устойчиво и при небольшом отклонении она возвращается в исходное равновесное положение. Если же $l > l_{кр}$, то вертикальное положение планки становится неустойчивым и при небольшом поперечном воздействии равновесие планки нарушается, и она заваливается, сильно изогнувшись под действием собственного веса. При $l = l_{кр}$ вертикальное положение планки соответствует безразличному равновесию.

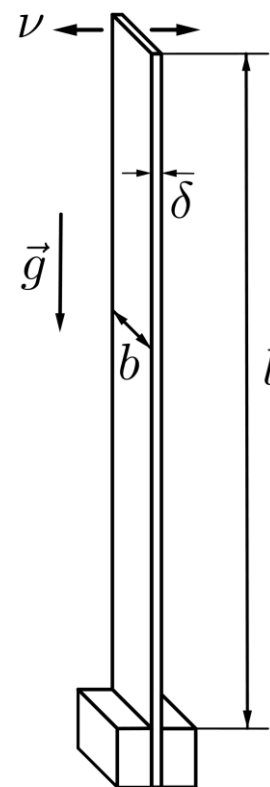


Рис. 1

Критическая длина $l_{кр}$, при которой планка теряет устойчивость, определяется плотностью ρ материала планки, его модулем Юнга E и геометрическими размерами свободного конца планки - шириной b и толщиной δ , а также ускорением свободного падения g . Для куба критической длины тонкой ($\delta \ll b$) линейки справедлива формула:

$$l_{кр}^3 = \alpha E^m \rho^n b^p \delta^q g^u, \quad (1)$$

где m, n, p, u – некоторые целые числа, $\alpha \approx 2/3$ – безразмерный коэффициент, $q = 2$.

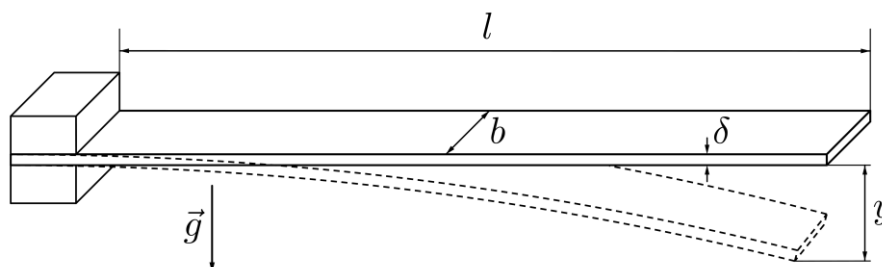


Рис. 2

Таковыми же параметрами определяется прогиб горизонтально закреплённой планки под влиянием собственного веса (рис. 2). Так, максимальное смещение y конца тонкой планки длиной l (так называемая стрела прогиба) можно определить по формуле:

$$y = \beta E^k \rho^r b^s \delta^t g^h l^f, \quad (2)$$

где k, r, s, h, f – некоторые **целые** числа, $\beta = 3/2$ – безразмерный коэффициент, $t = -2$.

Отметим, что формула (2) справедлива при условии малости прогиба y ($y < 0,5\ell$).

Как правило, *непосредственно* измерить критическую длину $\ell_{кр}$ весьма сложно: вблизи критической длины из-за множества случайных факторов, таких как небольшое отклонение от вертикали, неровности, неоднородность материала, планка ведёт себя совершенно непредсказуемо. Точность такого опыта будет невелика. Более точно критическую длину можно определить путём экстраполяции какой-либо величины, зависящей от длины планки, в критическую область. Такой величиной, в частности, является период T (частота $\nu = 1/T$) поперечных колебаний свободного конца планки. Несложно догадаться, какой период (частота) соответствует критической длине. Это позволяет путём линейной экстраполяции зависимости $\nu(\ell)$ в критическую область достаточно точно определить $\ell_{кр}$. (Кстати, именно таким способом определяются, в частности, температуры различных фазовых переходов: при этом исследуются свойства вещества *вблизи* температуры фазового перехода, а сама температура определяется путём экстраполяции).

В заключение напомним, что модуль Юнга – одна из важных характеристик, определяющая упругие свойства изотропного материала. По закону Гука относительная деформация ε стержня под действием силы F , приложенной перпендикулярно плоскости его поперечного сечения площадью S , равна: $\varepsilon = \Delta\ell/\ell = F/(ES)$.

Модуль Юнга входит в формулу для скорости звука в различных материалах. Если по торцу тонкого стержня ударить молотком, то по стержню побежит звуковая волна со скоростью $c_{зв} = (E/\rho)^{1/2}$. Для стали с модулем Юнга $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па и плотностью $\rho = 7,9$ г/см³ эта скорость равна $c_{зв} = (E/\rho)^{1/2} \approx 5$ км/с.

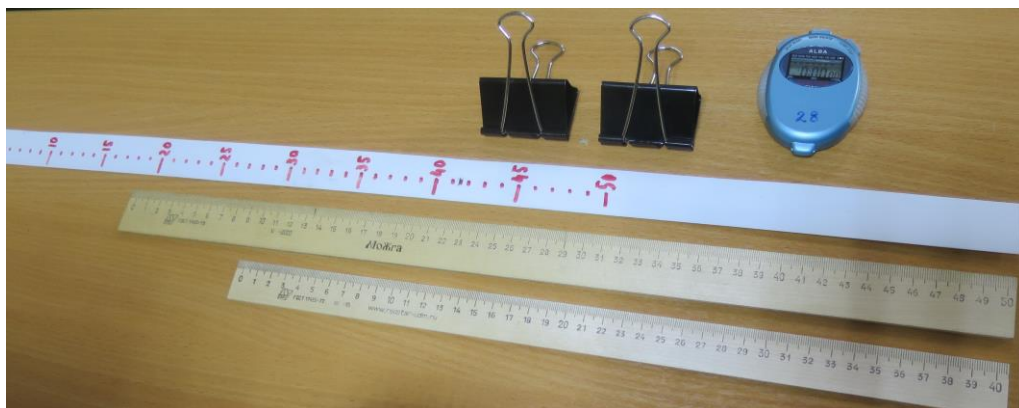
Цель работы.

В данной работе экспериментально определяется критическая длина тонкой ($\delta \ll b$) пластиковой планки. По величине критической длины определяется скорость звука в пластике, из которого изготовлена планка. В работе потребуются:

- руководствуясь общефизическими соображениями, экспериментальными результатами и методом размерностей определить показатели степеней в формулах (1) и (2);
- экспериментально определить численное значение критической длины $\ell_{кр}$ двумя способами:
 - 1) по периоду колебаний вертикально закреплённой планки;
 - 2) по стреле прогиба горизонтально закреплённой планки;
- используя экспериментальные результаты, определить скорость звука в материале (пластике), из которого изготовлена планка.

Оборудование

Пластиковая планка толщиной $\delta = 0,7$ мм; секундомер; деревянная линейка длиной 50 см; прижимная планка, портняжный метр; две канцелярские клипсы (48 мм); миллиметровая бумага формата А4 (2 листа); чистый лист бумаги формата А4. Ножницы выдаются по требованию.



Задание

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 формулах (1) и (2).

Примечание 1: при малых деформациях планки $y \sim F$, где F – сила, приложенная к планке.

Примечание 2: в формулах (1) и (2) параметр b входит в одной и той же степени.

3. Путём непосредственного измерения сделайте оценку $\ell_{кр}$.
4. Снимите экспериментальную зависимость периода T свободных колебаний от длины ℓ свободного конца вертикально закреплённой планки $T(\ell)$ (свободный конец планки направлен вверх). Для каждого значения ℓ сделайте как минимум 2 измерения, при этом общее время колебаний в пределах одного опыта не должно быть меньше 5-10 секунд. Измерения проведите для $\ell \geq (0,6 - 0,7)\ell_{кр}$.
5. Постройте график зависимости частоты колебаний ν от длины ℓ колеблющейся части планки $\nu(\ell)$.
6. Проведите через нанесенные точки наилучшую прямую и путем линейной экстраполяции определите $\ell_{кр}$.
7. По значению $\ell_{кр}$, полученной в П.6, определите скорость звука $c_{зв}^I$ в материале планки.
8. Снимите зависимость стрелы прогиба y от длины свободного конца ℓ горизонтально закреплённой планки $y(\ell)$. Измерения проводите в таком диапазоне, для которого $y < 0,5\ell$.
9. Выразите y через $\ell_{кр}$ и ℓ . Запишите полученную формулу $y = y(\ell_{кр}, \ell)$.
10. По результатам измерений в П.8 постройте график в подходящих координатах и из него определите $\ell_{кр}$. Сравните полученное значение со значением $\ell_{кр}$, полученным методом колебаний (П.6).
11. По значению $\ell_{кр}$, полученному в П.10, определите скорость звука $c_{зв}^{II}$ в материале планки.
12. Сравните значения $c_{зв}^I$ и $c_{зв}^{II}$. Сделайте выводы.

Задание 11.2. Черная звезда. В черном ящике с четырьмя выводами находятся четыре элемента, соединенные звездой. В каждом луче звезды содержится только один элемент. Этими элементами могут быть: резисторы, диоды, конденсаторы, катушки индуктивности, батарейки.

- 1) Определите, какие элементы находятся в лучах звезды, и, в случае обнаружения резисторов, определите их сопротивления.
- 2) Определите внутреннее сопротивление мультиметра в режиме вольтметра (диапазон 20 В)
- 3) Определите напряжение на выходе мультиметра, включенного в режиме омметра в диапазоне 2000 кОм.

Приборы и оборудование: черный ящик, мультиметр.

Внимание! Отклеивать наклейки с черного ящика категорически запрещается!

Задание 11.1. Критическая длина и скорость звука в пластмассовой планке.

Теоретическое введение.

Если отклонить в поперечном направлении свободный конец вертикально закрепленной с одного конца упругой планки (рис. 1) и отпустить, то возникнут свободные поперечные колебания планки вблизи её вертикального положения. Однако, как несложно убедиться экспериментально, такие колебания возникают только в том случае, если длина l свободного, направленного вверх, конца планки не превышает некоторую критическую длину $l_{кр}$. В этом случае вертикальное положение планки устойчиво и при небольшом отклонении она возвращается в исходное равновесное положение. Если же $l > l_{кр}$, то вертикальное положение планки становится неустойчивым и при небольшом поперечном воздействии равновесие планки нарушается, и она заваливается, сильно изогнувшись под действием собственного веса. При $l = l_{кр}$ вертикальное положение планки соответствует безразличному равновесию.

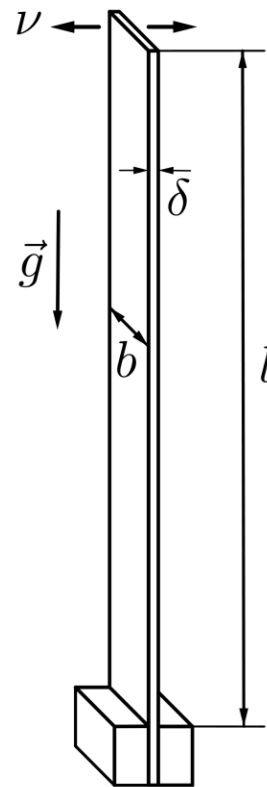


Рис. 1

Критическая длина $l_{кр}$, при которой планка теряет устойчивость, определяется плотностью ρ материала планки, его модулем Юнга E и геометрическими размерами свободного конца планки - шириной b и толщиной δ , а также ускорением свободного падения g . Для куба критической длины тонкой ($\delta \ll b$) линейки справедлива формула:

$$l_{кр}^3 = \alpha E^m \rho^n b^p \delta^q g^u, \quad (1)$$

где m, n, p, u – некоторые целые числа, $\alpha \approx 2/3$ – безразмерный коэффициент, $q = 2$.

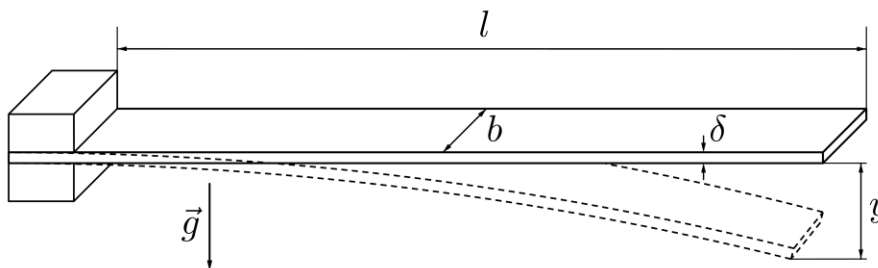


Рис. 2

Таковыми же параметрами определяется прогиб горизонтально закреплённой планки под влиянием собственного веса (рис. 2). Так, максимальное смещение y у конца тонкой планки длиной l (так называемая стрела прогиба) можно определить по формуле:

$$y = \beta E^k \rho^r b^s \delta^t g^h l^f, \quad (2)$$

где k, r, s, h, f – некоторые **целые** числа, $\beta = 3/2$ – безразмерный коэффициент, $t = -2$.

Отметим, что формула (2) справедлива при условии малости прогиба y ($y < 0,5\ell$).

Как правило, *непосредственно* измерить критическую длину $\ell_{кр}$ весьма сложно: вблизи критической длины из-за множества случайных факторов, таких как небольшое отклонение от вертикали, неровности, неоднородность материала, планка ведёт себя совершенно непредсказуемо. Точность такого опыта будет невелика. Более точно критическую длину можно определить путём экстраполяции какой-либо величины, зависящей от длины планки, в критическую область. Такой величиной, в частности, является период T (частота $\nu = 1/T$) поперечных колебаний свободного конца планки. Несложно догадаться, какой период (частота) соответствует критической длине. Это позволяет путём линейной экстраполяции зависимости $\nu(\ell)$ в критическую область достаточно точно определить $\ell_{кр}$. (Кстати, именно таким способом определяются, в частности, температуры различных фазовых переходов: при этом исследуются свойства вещества *вблизи* температуры фазового перехода, а сама температура определяется путём экстраполяции).

В заключение напомним, что модуль Юнга – одна из важных характеристик, определяющая упругие свойства изотропного материала. По закону Гука относительная деформация ε стержня под действием силы F , приложенной перпендикулярно плоскости его поперечного сечения площадью S , равна: $\varepsilon = \Delta\ell/\ell = F/ES$.

Модуль Юнга входит в формулу для скорости звука в различных материалах. Если по торцу тонкого стержня ударить молотком, то по стержню побежит звуковая волна со скоростью $c_{зв} = (E/\rho)^{1/2}$. Для стали с модулем Юнга $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па и плотностью $\rho = 7,9$ г/см³ эта скорость равна $c_{зв} = (E/\rho)^{1/2} \approx 5$ км/с.

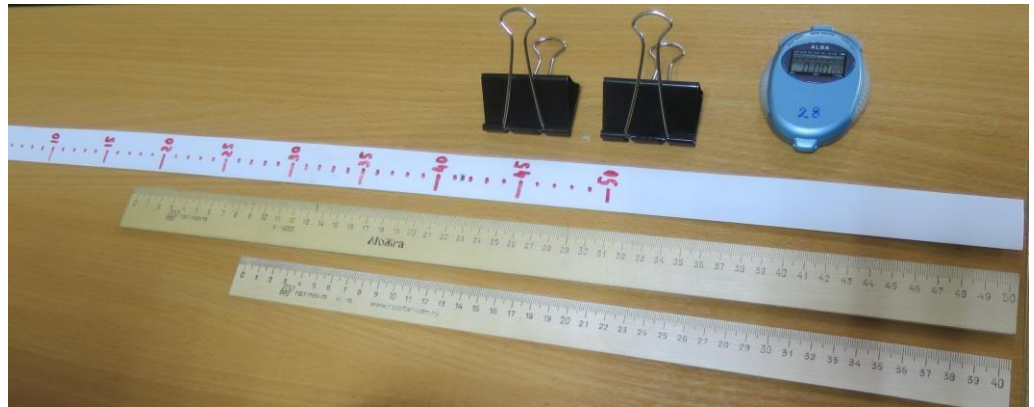
Цель работы.

В данной работе экспериментально определяется критическая длина тонкой ($\delta \ll b$) пластиковой планки. По величине критической длины определяется скорость звука в пластике, из которого изготовлена планка. В работе потребуется:

- руководствуясь общефизическими соображениями, экспериментальными результатами и методом размерностей определить показатели степеней в формулах (1) и (2);
- экспериментально определить численное значение критической длины $\ell_{кр}$ двумя способами:
 - 1) по периоду колебаний вертикально закреплённой планки;
 - 2) по стреле прогиба горизонтально закреплённой планки;
- используя экспериментальные результаты, определить скорость звука в материале (пластике), из которого изготовлена планка.

Оборудование

Пластиковая планка толщиной $\delta = 0,7$ мм; секундомер; деревянная линейка длиной 50 см; прижимная планка, портняжный метр; две канцелярские клипсы (48 мм); миллиметровая бумага формата А4 (2 листа); чистый лист бумаги формата А4. Ножницы выдаются по требованию.



Задание

1. С помощью чистого листа А4 исследуйте зависимость $y \sim bs$ (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 формулах (1) и (2).

Примечание 1: при малых деформациях планки $y \sim F$, где F – сила, приложенная к планке.

Примечание 2: в формулах (1) и (2) параметр b входит в одной и той же степени.

3. Путём непосредственного измерения сделайте оценку $\ell_{кр}$.
4. Снимите экспериментальную зависимость периода T свободных колебаний от длины ℓ свободного конца вертикально закреплённой планки $T(\ell)$ (свободный конец планки направлен вверх). Для каждого значения ℓ сделайте как минимум 2 измерения, при этом общее время колебаний в пределах одного опыта не должно быть меньше 5-10 секунд. Измерения проведите для $\ell \geq (0,6 - 0,7)\ell_{кр}$.
5. Постройте график зависимости частоты колебаний ν от длины ℓ колеблющейся части планки $\nu(\ell)$.
6. Проведите через нанесенные точки наилучшую прямую и путем линейной экстраполяции определите $\ell_{кр}$.
7. По значению $\ell_{кр}$, полученной в П.6, определите скорость звука $c_{звI}$ в материале планки.
8. Снимите зависимость стрелы прогиба y от длины свободного конца ℓ горизонтально закреплённой планки $y(\ell)$. Измерения проводите в таком диапазоне, для которого $y < 0,5\ell$.
9. Выразите y через $\ell_{кр}$ и ℓ . Запишите полученную формулу $y = y(\ell_{кр}, \ell)$.
10. По результатам измерений в П.8 постройте график в подходящих координатах и из него определите $\ell_{кр}$. Сравните полученное значение со значением $\ell_{кр}$, полученным методом колебаний (П.6).
11. По значению $\ell_{кр}$, полученному в П.10, определите скорость звука $c_{звII}$ в материале планки.
12. Сравните значения $c_{звI}$ и $c_{звII}$. Сделайте выводы.

Возможное решение (Гуденко А.).

1. На чистом листе бумаги делаем разрезы, которые делят его на полоски разной ширины (рис. 5). Убеждаемся, что в пределах погрешности (связанной с неоднородностью бумаги) стрела прогиба не зависит от ширины полосок, следовательно, $s = p = 0$.

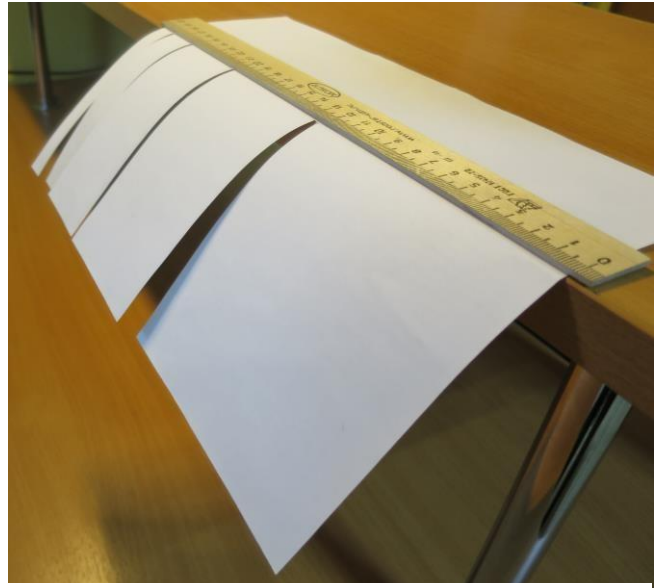


Рисунок 5.

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

$$\ell_{кр}^3 = 2E\delta^2/3\rho g, \quad (3)$$

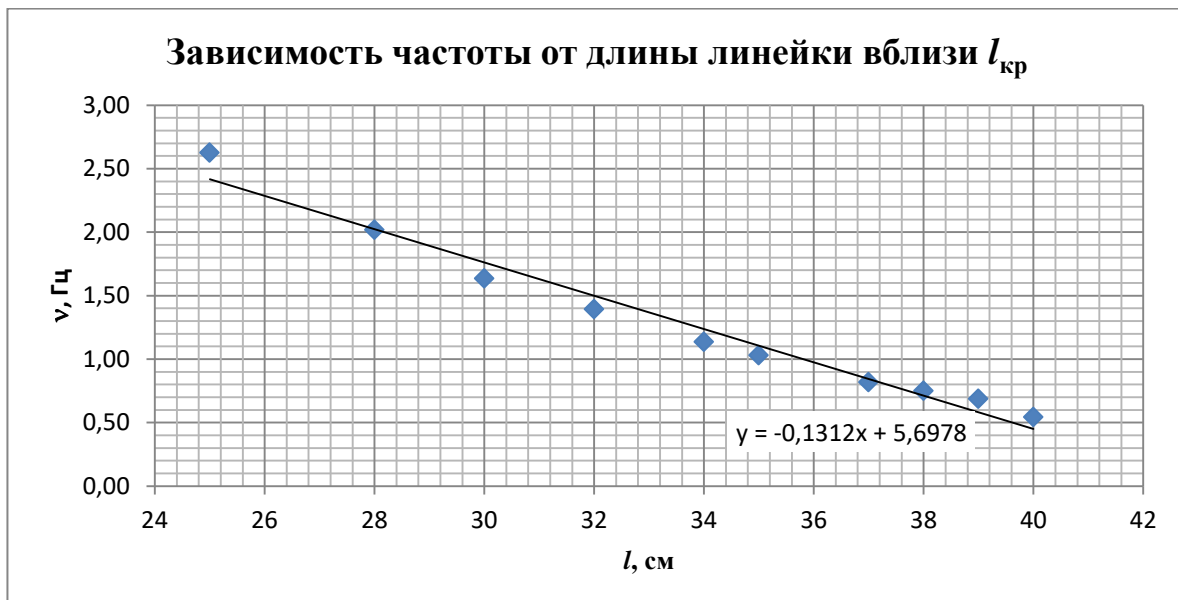
$$y = 3\rho g\ell^4/2E\delta^2. \quad (4)$$

3. Непосредственное измерение даёт $\ell_{кр} \cong 45-50$ см.

4. Снимаем зависимость $T(\ell)$.

ℓ , см	25	28	30	32	34	35	37	38	39	40
T , с	0,38	0,5	0,61	0,72	0,88	0,97	1,22	1,33	1,46	1,84
ν , Гц	2,62	2,02	1,63	1,39	1,13	1,03	0,82	0,75	0,69	0,54

5. Строим график $\nu(\ell)$.



6. Проводим через экспериментальные точки наилучшую прямую. Критическую длину определяем, экстраполируя зависимость $\nu(\ell)$ до пересечения с осью абсцисс (ℓ), т.е. в значение $\nu = 0$. (Очевидно, что при $\ell = \ell_{кр}$ из-за отсутствия возвращающей силы период $T \rightarrow \infty$ и, соответственно, $\nu \rightarrow 0$). Из графика: $\ell_{кр} = (44 \pm 1)$ см.

7. Из теоретического введения и (3): $\ell_{кр}^3 = 2E\delta^2/3\rho g = 2c_{зв}^2\delta^2/3g$.

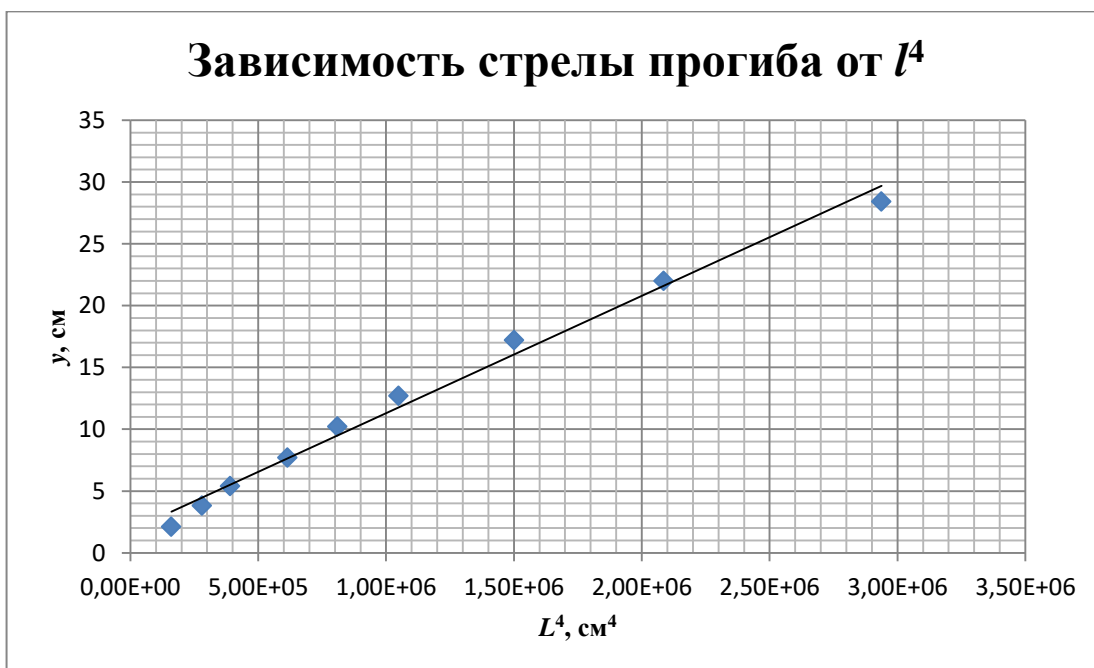
Скорость звука $c_{звI} = (3g\ell_{кр}^3/2\delta^2)^{1/2} \approx 1,60$ км/с.

8. Снимаем зависимость $y = y(\ell)$.

ℓ , см	ℓ^4 , см ⁴	y , см
20	$1,60 \cdot 10^5$	2,1
23	$2,80 \cdot 10^5$	3,8
25	$3,91 \cdot 10^5$	5,4
28	$6,15 \cdot 10^5$	7,7
30	$8,10 \cdot 10^5$	10,2
32	$10,5 \cdot 10^5$	12,7
35	$15,0 \cdot 10^5$	17,2
38	$20,9 \cdot 10^5$	22
41,4	$29,4 \cdot 10^5$	28,4

9. Из теоретического введения и (4): $y = 3\rho g\ell^4/2E\delta^2 = 3g\ell^4/2c_{зв}^2\delta^2$. Учитывая, что $\ell_{кр}^3 = 2c_{зв}^2\delta^2/3g$, получаем: $y = y(\ell_{кр}, \ell) = \ell^4/\ell_{кр}^3$.

10. В координатах (y, ℓ^4) график зависимости $y(\ell)$ – прямая линия с угловым коэффициентом $A = 1/\ell_{кр}^3$. Строим линеаризованный график $y(\ell^4)$.



Точки хорошо ложатся на прямую y (см) = $A\ell^4 = (1,116 \cdot 10^{-5}) \ell^4$ (см) $\rightarrow \ell_{кр} = (1/A)^{1/3} \approx 44,8$ см.

Этот результат в пределах погрешности совпадает с величиной $\ell_{кр} = 44$ см, полученной методом колебаний.

11. $c_{звII} = (3g\ell_{кр}^3/2\delta^2)^{1/2} \approx 1,64$ км/с.

12. Различие $c_{звI}$ и $c_{звII}$ составляет $\Delta c/c \approx 3\%$. Это означает, что в пределах погрешности

Региональный этап всероссийской олимпиады школьников по физике. 19 января 2017 г.
результаты «метода колебаний» и «метода стрелы прогиба» согласуются.

Критерии оценивания

1.	Исследована зависимость $y(b)$ и установлено что $s = p = 0$	1 балл
2.	Определены показатели степеней в формулах (1) и (2)	2 балла
3.	Проведено непосредственное измерение $\ell_{кр}$	0,5 балла
4.	Снята зависимость $T(\ell)$	2 балла
	Снято 10 и более точек	2 балла
	Снято 6 – 9 точек	1 балл
	Если точек меньше 6	0 баллов
5.	Построен график $v(\ell)$.	1,5 балла
6.	Нахождение $\ell_{кр}$:	1 балл
	Через экспериментальные точки проведена «наилучшая» прямая	0,5 балла
	найдена $\ell_{кр}$	0,5 балла
7.	Найдена скорость звука $c_{звI}$	1 балл
	Отклонение от «эталоны» не более 12% (1,40 км/с – 1,80 км/с)	1 балл
	Отклонение от «эталоны» не более 25% (1,20 км/с – 2,00 км/с)	0,5 балла
8.	Снята зависимость $y = y(\ell)$	1,5 балла
	Снято 10 и более точек	1,5 балла
	Снято 6 – 9 точек	1 балл
	Если точек меньше 6	0,5 балла
9.	Получено соотношение $y = y(\ell_{кр}, \ell) = \ell^4 / \ell_{кр}^3$	1,5 балла
10.	График $y(\ell)$, построенный в координатах осей (y, ℓ^4) – прямая линия	1,5 балла
11.	Найдена $\ell_{кр}$	0,5 балла
12.	Найдена скорость звука $c_{звII}$ (1,44 км/с – 1,84 км/с)	0,5 балла
13.	Показано, что в пределах погрешности (оцененной любым разумным способом) результаты «метода колебаний» и «метода стрелы прогиба» согласуются.	0,5 балла

Задание 11.2. Черная звезда. В черном ящике с четырьмя выводами находятся четыре элемента, соединенные звездой. В каждом луче звезды содержится только один элемент. Этими элементами могут быть: резисторы, диоды, конденсаторы, катушки индуктивности, батарейки.

- 1) Определите, какие элементы находятся в лучах звезды, и, в случае обнаружения резисторов, определите их сопротивления.
- 2) Определите внутреннее сопротивление мультиметра в режиме вольтметра (диапазон 20 В)
- 3) Определите напряжение на выходе мультиметра, включенного в режиме омметра в диапазоне 2000 кОм.

Приборы и оборудование: черный ящик, мультиметр.

Внимание! Отклеивать наклейки с черного ящика категорически запрещается!

Возможное решение (Замятнин М., Слободянин В.)

1. Мультиметром в режиме вольтметра проверяем попарно все выводы и убеждаемся в отсутствии источников напряжения.

Измеряем омметром (в режиме 2000 к) сопротивления между выводами и заносим результаты в таблицу.

Контрольные данные.

Контрольные данные. 1. (ЯЦИК 53)

		«Плюсовый» контакт на ножку №			
		1	2	3	4
«Минусовый» контакт на ножку №	1		$\approx \infty$	$\approx \infty$	$\approx \infty$
	2	$\approx \infty$		833 кОм	1092 кОм
	3	$\approx \infty$	833 кОм		1383 кОм
	4	$\approx \infty$	1091 кОм	1382 кОм	

Контрольные данные. 2. (ЯЦИК 46)

		«Плюсовый» контакт на ножку №			
		1	2	3	4
«Минусовый» контакт на ножку №	1		$\approx \infty$	$\approx \infty$	$\approx \infty$
	2	$\approx \infty$		835 кОм	1091 кОм
	3	$\approx \infty$	834 кОм		1380 кОм
	4	$\approx \infty$	1091 кОм	1379 кОм	

Обращаем внимание на то, что показания омметра при подключении щупов к контакту 1 и любому другому контакту постепенно увеличиваются, и через 10-20 с выходят за диапазон измерений. Так может себя вести только конденсатор. По мере зарядки ток через него уменьшается, и омметр отображает «бесконечное» сопротивление.

Обнаружив конденсатор, не забываем его разряжать после каждого измерения, и контролируем этот процесс с помощью вольтметра.

Катушка индуктивности вела бы себя иначе – ее сопротивление в установившемся режиме должно стремиться к нулю поскольку катушки индуктивности стараются изготовить с малым сопротивлением. Типичные значения индуктивностей катушек, изготавливаемых промышленностью, лежат в диапазоне от десятых долей мкГн до десятков Гн. Характерное время установления тока в цепи, составленной из последовательно соединенных резистора и подобной катушки, порядка $L/R \leq 10^{-4}$ с. То

есть заметить наличие индуктивности, оценивая скорость изменения показаний омметра, не удастся. Поэтому таким способом обнаружить наличие или отсутствие катушки нельзя.

Если последовательно соединены катушка индуктивности и конденсатор, то конденсатор должен довольно быстро (за время $t \leq 2\pi(LC)^{1/2} \approx 0,2$ с) зарядиться, и омметр опять будет отображать «бесконечное» сопротивление. Этого не наблюдается, из чего можно сделать вывод, что катушка индуктивности в черном ящике отсутствует.

Есть еще одно соображение. Если один из элементов – это катушка индуктивности и хотя бы два других элемента – резисторы, то сопротивление ветви цепи, содержащей последовательно соединенные катушку и резистор, с хорошей точностью совпадет с сопротивлением этого резистора. Поэтому измеренное сопротивление двух последовательно соединенных резисторов совпадет с суммой сопротивлений этих резисторов, измеренных по отдельности (при их последовательном соединении с катушкой индуктивности). Этого не наблюдается, из чего также можно сделать вывод о том, что катушка индуктивности в черном ящике отсутствует.

Диод вел бы себя так, что его сопротивление в открытом состоянии было бы мало (но постоянно), а в закрытом – бесконечно велико (но тоже постоянно). Этот случай тоже в наших измерениях не наблюдается.

Таким образом, можно утверждать, что в лучи звезды включены конденсатор (вывод 1) три резистора (выводы 2, 3 и 4).

Значения сопротивлений резисторов определим, решая совместно систему уравнений:

$$R_{23} = R_2 + R_3;$$

$$R_{24} = R_2 + R_4;$$

$$R_{34} = R_3 + R_4;$$

получим:

$$R_2 = \frac{R_{24} + R_{23} - R_{34}}{2} \approx 270 \text{ кОм};$$

$$R_3 = \frac{R_{23} + R_{34} - R_{24}}{2} = 562 \text{ кОм};$$

$$R_4 = \frac{R_{24} + R_{34} - R_{23}}{2} = 820 \text{ кОм}.$$

Для определения напряжения U_0 на выходе омметра и внутреннего сопротивления R_V вольтметра будем заряжать конденсатор в течение не менее, чем пяти минут, от

омметра через резистор с минимальным сопротивлением 270 кОм (рис. 2). При этом конденсатор зарядится до некоторого напряжения U_0 . Затем отсоединим омметр от четырехполюсника и подключим к этому четырехполюснику мультиметр в режиме вольтметра (рис. 3). Вольтметр подключаем к двум выводам четырехполюсника, один из которых соединен с конденсатором, а другой с одним из резисторов (например, R_2). После подключения вольтметра внимательно следим за его показаниями и фиксируем их максимальное значение U_{12} . Показания вольтметра начнут уменьшаться из-за разрядки конденсатора через внутреннее сопротивление вольтметра. Измеренное вольтметром максимальное напряжение

$$U_{12} \approx \frac{U_0 R_V}{R_V + R_2} = 0,227 \text{ В.} \quad (1)$$

Затем процедуру зарядки конденсатора повторяем, а вольтметр подключаем к выводам конденсатора и любого другого резистора (например, $R_3 = 562$ кОм). В этом случае максимальное показание вольтметра

$$U_{13} \approx \frac{U_0 R_V}{R_V + R_3} = 0,184 \text{ В.} \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2), с учётом значений R_2 и R_3 , найдём:

$$U_0 = \frac{U_{12} U_{13} (R_3 - R_2)}{U_{13} R_3 - U_{12} R_2} \approx 0,28 \text{ В} \quad \text{и} \quad R_V = \frac{U_{13} R_3 - U_{12} R_2}{U_{12} - U_{13}} \approx 1,0 \text{ МОм.}$$

Для повышения достоверности полученных результатов нужно провести аналогичные измерения и сделать расчеты для всех трех возможных подключений вольтметра к четырехполюснику (1 – 2; 1 – 3; 1 – 4;) (см. рис. 3). Значение $U_{14} = 0,159$ В.

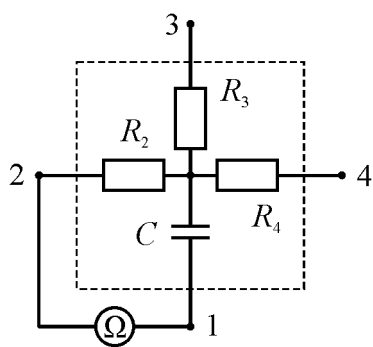


Рис. 2.

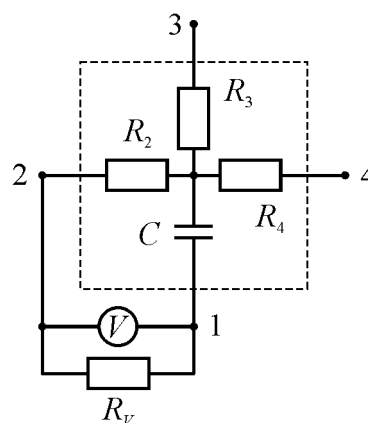


Рис. 3.

Существенное искажение в результаты измерений больших сопротивлений (МОм) может внести «замыкание» двумя руками контактов омметра (электрическое сопротивление человека может составлять «всего» несколько сотен кОм).

Критерии оценивания:

- | | |
|---|----------------|
| 1) Проведена проверка на отсутствие источников | 1 балл |
| 2) Результаты измерений сопротивлений R_{ij} (между выводами) | 1 балл |
| 3) Обнаружен конденсатор | 1 балл |
| 4) Обосновано отсутствие катушки и диода | 1 балл |
| 5) Определены сопротивления резисторов
(в ящике были номиналы 270 кОм, 540 кОм и 810 кОм) | 3 балла |
| если все значения лежат в диапазоне $\pm 5\%$
(255 – 285 кОм, 510 – 570 кОм, 770 – 850 кОм) | 3 балла |
| если все значения лежат в диапазоне $\pm 10\%$
(240 – 300 кОм, 485 – 595 кОм, 730 – 890 кОм) | 1 балл |
| 6) Предложена методика измерения напряжения U_0 и сопротивления R_V | 2 балла |
| 7) Определены показания вольтметра в начальный момент
разрядки конденсатора (по 1 баллу за каждое из трёх измерений) | 3 балла |
| 8) Рассчитано значение U_0 (диапазон 0,25 – 0,30 В) | 1 балл |
| 9) Рассчитано значение R_V (диапазон 0,8 – 1,2 МОм) | 1 балл |
| 10) Оценка погрешности результатов (любая разумная) | 1 балл |