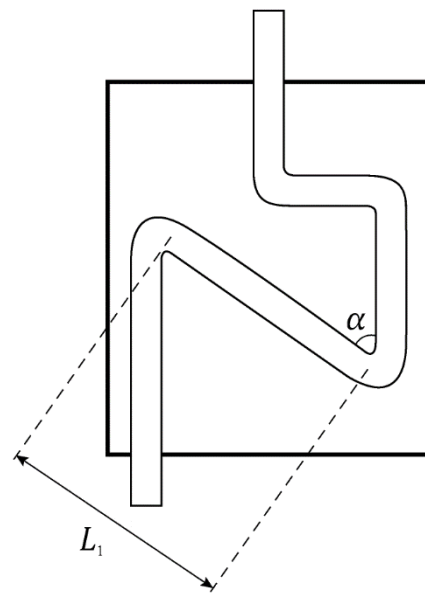


Задание 9.1. Гидравлический «серый ящик». Внутри выданного вам «серого ящика» размещена трубка постоянного сечения, концы которой выведены наружу. Схема расположения трубки внутри «серого ящика» показана на рисунке. Направление стрелки на ящике совпадает с направлением параллельных участков трубки. Определите:

- 1) полную длину трубки L_0 ;
- 2) длину наклонного участка L_1 ;
- 3) угол α .



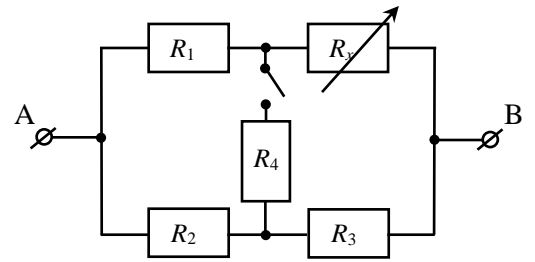
Оборудование: «серый ящик», стакан с подкрашенной жидкостью, штатив с муфтой и лапкой, 2 шприца, линейка, нить, небольшой грузик (гайка), канцелярская кнопка, лист миллиметровой бумаги, 4 – 5 полосок скотча (наклеены на край стола), одноразовая пластиковая тарелка, салфетки.

Примечания

- 1) Разбирать «серый ящик» и/или вытаскивать из него трубку запрещается.
- 2) Не делайте пометки на «сером ящике». Вы можете приклеить к «серому ящику» лист миллиметровой бумаги и на нём делать необходимые пометки.
- 3) Шприц № 1 объемом 5 мл (или 10 мл) и шприц № 2 - инсулиновый объемом 1 мл.
- 4) Заполнение трубки жидкостью производите медленно, избегая возникновения воздушных пузырей (разрывов столбика жидкости). Во время отсоединения шприца трубка должна быть пережата непосредственно у шприца. Аккуратное разжимание трубки обеспечит её медленное заполнение жидкостью и позволит избежать возникновения пузырей.
- 5) При смещении столбика жидкости атмосферное давление воздуха в трубке из-за вязкости устанавливается не сразу. Кроме того, определенное сопротивление движению столбика жидкости оказывают силы поверхностного натяжения. Легкое постукивание по «серому ящику» при выполнении эксперимента будет способствовать ускорению процесса установления состояния равновесия.
- 6) Перед каждым последующим заполнением трубки её следует продуть.
- 7) Тарелка и салфетки используются для поддержания порядка на рабочем месте.

Задание 9.2. Электрический «серый ящик».

Внутри «серого ящика» находятся 5 резисторов, один из которых переменный (см. рисунок). Сопротивления двух резисторов известны и равны $R_1 = 1,0$ кОм и $R_2 = 2,0$ кОм. Определите сопротивления резисторов R_3 , R_4 и найдите, в каком диапазоне изменяется сопротивление переменного резистора R_x .

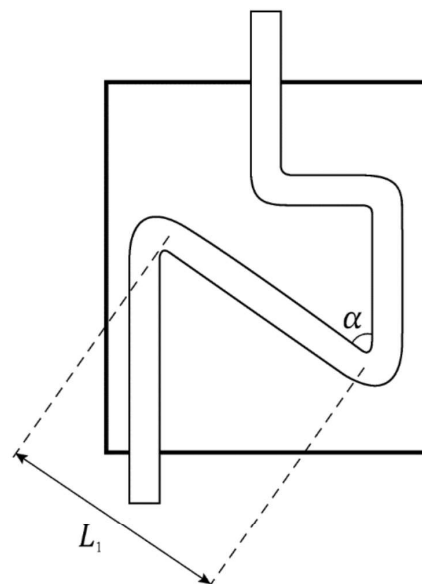


Оборудование: Мультиметр, «серый ящик» с выведенным наружу ключом и регулировочной ручкой переменного резистора.

Задача 9.1

Задание 9.1. Гидравлический «серый ящик». Внутри выданного вам «серого ящика» размещена трубка постоянного сечения, концы которой выведены наружу. Схема расположения трубки внутри «серого ящика» показана на рисунке. Направление стрелки на ящике совпадает с направлением параллельных участков трубки. Определите:

- 1) полную длину трубки L_0 ;
- 2) длину наклонного участка L_1 ;
- 3) угол α .



Оборудование: «серый ящик», стакан с подкрашенной жидкостью, штатив с муфтой и лапкой, 2 шприца, линейка, нить, небольшой грузик (гайка), канцелярская кнопка, лист миллиметровой бумаги, 4 – 5 полосок скотча (наклеены на край стола), одноразовая пластиковая тарелка, салфетки.

Примечания

- 1) Разбирать «серый ящик» и/или вытаскивать из него трубку запрещается.
- 2) Не делайте пометки на «сером ящике». Вы можете приклеить к «серому ящику» лист миллиметровой бумаги и на нём делать необходимые пометки.
- 3) Шприц № 1 объемом 5 мл (или 10 мл) и шприц № 2 - инсулиновый объемом 1 мл.
- 4) Заполнение трубки жидкостью производите медленно, избегая возникновения воздушных пузырей (разрывов столбика жидкости). Во время отсоединения шприца трубка должна быть пережата непосредственно у шприца. Аккуратное разжимание трубки обеспечит её медленное заполнение жидкостью и позволит избежать возникновения пузырей.
- 5) При смещении столбика жидкости атмосферное давление воздуха в трубке из-за вязкости устанавливается не сразу. Кроме того, определенное сопротивление движению столбика жидкости оказывают силы поверхностного натяжения. Легкое постукивание по «серому ящику» при выполнении эксперимента будет способствовать ускорению процесса установления состояния равновесия.
- 6) Перед каждым последующим заполнением трубки её следует продувать.
- 7) Тарелка и салфетки используются для поддержания порядка на рабочем месте.

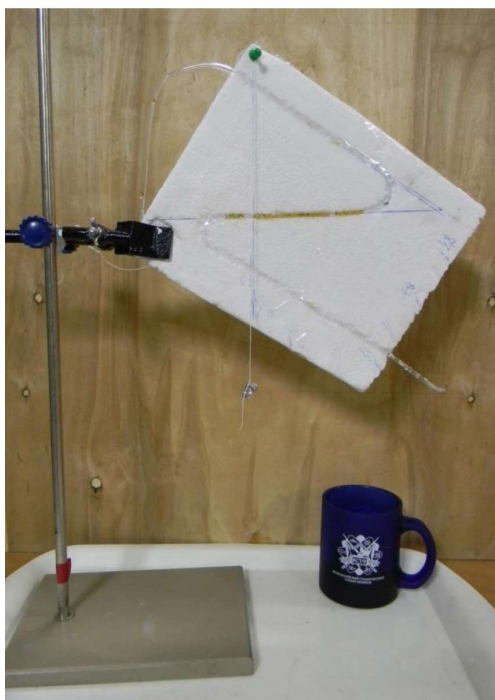
Официальное решение:

1. Определение длины трубки.

С помощью шприца № 2 аккуратно заполним выступающий длинный конец трубки жидкостью объемом V_1 . Измерим длину $L_{\text{зап}}$ столбика жидкости в трубке. Для определения полной длины трубки заполним её водой из шприца № 1. По шкале шприца определим израсходованный объем жидкости V_0 . Найдём $L_0 = L_{\text{зап}} V_0 / V_1$.

2. Определение α .

Закрепим «серый ящик» (СЯ) в штативе таким образом, чтобы стрелка была в вертикальном положении. На фото справа СЯ представлен без передней крышки. Будем последовательно заливать в трубку порции жидкости начиная с объема V_0 и уменьшая объем этих порций с определенным шагом. Если объем залитой жидкости превышает суммарный объем V_2 наклонной и правой вертикальной частей трубки, то после отсоединения шприца жидкость выливается из трубки через нижний конец (эффект сифона). Вытекание жидкости прекратится, когда ее объем станет равным V_2 . Начиная с этого момента, после каждого заливания порции жидкости аккуратно поворачиваем СЯ в штативе на угол β против часовой стрелки до момента срабатывания сифона, что соответствует заполнению наклонного участка трубки. С помощью отвеса фиксируем угол поворота СЯ относительно вертикали, соответствующий данному объему заливаемой жидкости (фото снизу).



Начиная с некоторого объема заливаемой жидкости V_3 угол β_0 , при котором срабатывает сифон, перестанет изменяться. Объем V_3 соответствует объему наклонного участка трубки, а угол β_0 его горизонтальному положению. Отсюда следует, что $\alpha = 90^\circ - \beta_0$, а $L_1 = L_{\text{зап}} V_3 / V_1$.

Для предложенного ящика, собранного в соответствии с инструкциями, полученными от ЦПМК, возможны следующие варианты решений, приводящие к правильным результатам.

Вариант 1 (с измеренными данными, соответствующими фактическим).

Часть 1

$V_0 = 11,6 \pm 0,2$ мл (заполняется шприцем 5 мл)

$V_1 = 2,0 \pm 0,02$ мл (заполняется шприцем 1 мл)

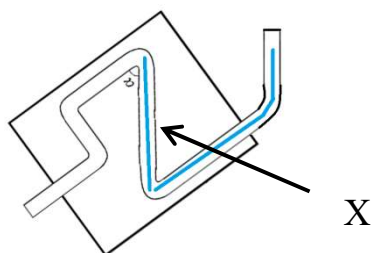
$L_{\text{зап}} = 164 \pm 1,0$ мм (измеряется линейкой)

Результат вычислений: $L_0 = 951 \pm 3$ мм

Реально длина трубки может отличаться на 1-2 см.

Часть 2

Расположим ящик как показано на рисунке.



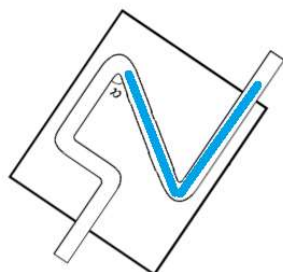
Участок трубки, выделенный цветом, образует сообщающиеся сосуды. Будем подбирать такое положение ящика, при котором в сосуды поместится максимальный объем воды v . Если максимум превышен – срабатывает эффект сифона.

Максимум достигается в том случае, когда участок X является вертикальным. Отсюда найдем угол α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{195 \pm 30}{295 \pm 1} = 0,67 \pm 0,10$$

$$\alpha = 33 \pm 5 \text{ град.}$$

Определим длину выделенного цветом участка трубки (величина L_A). Для этого повернем ящик на такой угол, при котором вертикаль образует биссектрису угла, образованного участком трубки, помеченного на рисунке цветом.



Определим, какой максимальный объём воды поместится в ящик сообщающиеся сосуды в этом случае. Конец столба воды будет виден в трубке, выведенной наружу.

$$v = 5,1 \pm 0,1 \text{ мл}$$

$$L_A = 418 \pm 15 \text{ мм}$$

Искомая по условию длина L_1 – половин длины L_A :

$$L_1 = 209 \pm 15 \text{ мм}$$

Надо отметить, что в момент срабатывания сифона вода в трубке должна заполнить весь изгиб трубки, перелив через который вызывает полное высвобождение воды из ящика. В связи с этим, результаты измерения имеют погрешность больше, чем указано выше. Результат измерения длины L_1 завышен на 1-2 см.

Вариант 2.

В результате первого эксперимента выясняется, какова общая длина трубки. Ей соответствует определенный объём воды. Заполняем трубку определенным объемом воды (меньшим максимального) с помощью шприца. А теперь поворачиваем коробку так, чтобы уровень/место расположения мениска воды вблизи длинного торчащего конца трубки находился на фиксированном расстоянии (скажем 2 см) от открытого конца. Изгибаем доступный участок трубки, придавая ему другое положение, и поворачиваем коробку так, чтобы снова мениск воды вблизи этого конца находился на том же расстоянии от отверстия. Этим двум или трем разным положениям соответствует одно и то же положение другого конца столбика воды внутри невидимого участка трубки. Проводим каждый раз горизонтальную линию через место расположения уровня воды там, где мы её в трубке видим, и получаем точку пересечения этих нескольких "горизонталей" на большой стенке-поверхности коробки. Рядом с этой точкой внутри коробки находится другой (невидимый нам) конец столбика воды. Зальем в трубку другое количество воды, тем самым изменив длину незаполненной части трубки, и проведем аналогичные действия. Таким образом, строим положение нескольких точек в «неизвестном колене трубки» и находим все, что требуется.

Критерии оценивания:

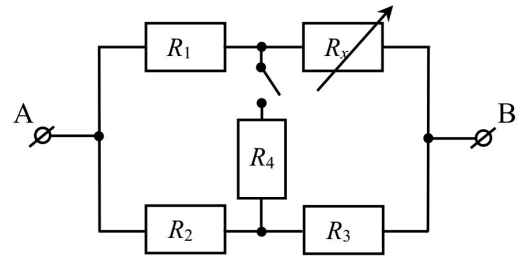
№	Содержание критерия	Баллы
1.	Понятное описание хода работы, наличие схематических рисунков	1
2.	Определение L_0 Предложен метод, точность которого сопоставима с точностью авторского метода Опыт проделан не менее трех раз, результаты усреднены Получен результат с отклонением от правильного не более, чем на 10%	3 1 1 1
3.	Определение L_1 Предложена разумная и реализуемая идея Точность метода не хуже 10% Выполнены все необходимые измерения Выполнены повторные измерения или серия опытов с последующим усреднением Получен результат с точностью не хуже 10%	5 1 1 1 1 1
4.	Определение α Предложена разумная идея Предложенная идея реализуема на данном оборудовании Точность метода не хуже 15% Выполнены все необходимые измерения Выполнены повторные измерения или серия опытов с последующим усреднением Получен результат с точностью не хуже 15%	6 1 1 1 1 1 1

Итого: 15 баллов

Задача 9.2

Задание 9.2. Электрический «серый ящик».

Внутри «серого ящика» находятся 5 резисторов, один из которых переменный (см. рисунок). Сопротивления двух резисторов известны и равны $R_1 = 1,0$ кОм и $R_2 = 2,0$ кОм. Определите сопротивления резисторов R_3 , R_4 и найдите, в каком диапазоне изменяется сопротивление переменного резистора R_x .



Оборудование: Мультиметр, «серый ящик» с выведенным наружу ключом и регулировочной ручкой переменного резистора.

Возможное решение:

Подсоединим омметр к выводам «серого ящика» (СЯ) и убедимся, что его показания изменяются в зависимости от положения ключа и регулятора переменного резистора. В случае, когда мост сбалансирован, общее сопротивление цепи не должно зависеть от того, замкнут или разомкнут ключ. Меняя сопротивление переменного резистора, сбалансируем мост (периодически проверяя, изменяется или нет общее сопротивление в зависимости от положения ключа). Запишем показание омметра $\Omega_1 = 1,60 \pm 0,05$ кОм для сбалансированного моста. Так как в этом случае

отношение сопротивлений $\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_x}{R_1} = \alpha$, то $\Omega_1 = (\alpha + 1) \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$. С учетом

приведенных в условии данных, значение $\alpha = 1,40 \pm 0,07$, а сопротивление резистора $R_3 = 2,8$ кОм (реальное значение 3 кОм). Теперь, зная

сопротивление трех резисторов, можно найти диапазон значений сопротивлений переменного резистора. Для этого, не замыкая ключа, определим минимальное и максимальное (в зависимости от положения регулятора) сопротивление всей цепи. В общем виде $R_x = \frac{\Omega(R_2 + R_3)}{R_2 + R_3 - \Omega} - R_1$, где

Ω - показания омметра. Минимальное показание омметра $\Omega_{\min} = 0,834$ кОм, а максимальное $\Omega_{\max} = 2,74$ кОм. Из чего следует, что $0 < R_x < 5,3$ кОм.

Сопротивление резистора R_4 можно определить, замкнув ключ при том положении регулятора, когда омметр показывает минимальное сопротивление (сопротивление переменного резистора равно нулю). Новые показания омметра $\Omega_4 = 0,711$ кОм, с учетом того, что

$R_{34} = \frac{\Omega_4 R_2 + \Omega_4 R_1 - R_1 R_2}{R_1 - \Omega_4} = 0,448$ кОм, где $R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$ позволяют рассчитать

$R_4 = \frac{R_3 R_{34}}{R_3 - R_{34}} = 0,53$ кОм (реальное значение 0,51 кОм). Приводить формулы в

общем виде не обязательно.

Погрешность можно грубо оценить по числу значащих цифр, входящих в формулы величин. Разумные значения погрешности 5-10%.

Критерии оценивания:

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Идея расчета сбалансированного моста	2
2.	Теоретическое обоснование метода	2
3.	Явные результаты измерений	2
4.	Явный учет возможности ненулевого минимального сопротивления переменного резистора	2
5.	Правильно найдена величина сопротивления R_3	2
6.	Правильно найден диапазон сопротивлений переменного резистора	2
7.	Правильно найдена величина сопротивления R_4	2
8.	Оценка погрешности измерений	1

Итого: 15 баллов

Задача 10.1. Золушка.

Задание

1. Представьте себе мешок с пшеном (50 кг), стоящий на полу. При помощи выданного вам оборудования, найдите, чему равна плотность **крупы** на дне мешка.
2. Измерьте плотность **зерен** пшена.
3. Измерьте плотность **драже**.

Оборудование: пшено (в стаканчике), драже (10 шт), шприц (20 мл), весы.

Примечание. При определении плотности зерен рассматривайте крупу как плотную упаковку одинаковых шариков. Объем шара $V_{\text{ш}} = 4/3\pi r^3$, где r – радиус шара.

Задание 10.2. Ох уж эти ВАХи!

- 1) Снимите вольтамперную характеристику (ВАХ) выданного вам «черного ящика» и нарисуйте схему электрической цепи, с помощью которой вы проводили измерения.
- 2) Изобразите полученную ВАХ на графике.
- 3) Предложите вариант схемы электрической цепи, которая может располагаться внутри «чёрного ящика».
- 4) Определите сопротивление(я) резистора(ов) в «чёрном ящике».

Электрическая цепь, находящаяся внутри «чёрного ящика», содержит не более 3-х элементов (это могут быть резисторы, диоды, лампочки), но только один из них нелинейный. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов (диода и лампочки) схематически изображены на рис. 1 и рис. 2.

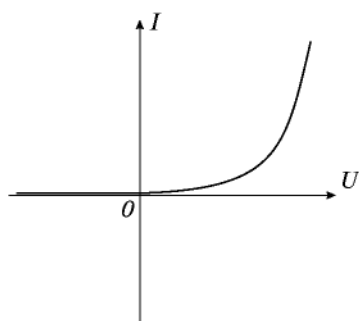


Рис.1 ВАХ диода

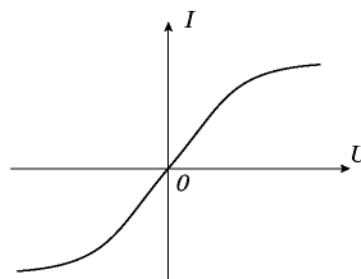


Рис.2 ВАХ лампочки

Оборудование: «черный ящик», резистор сопротивлением 10 Ом, переменный резистор, батарейка (источник тока), вольтметр (мультиметр), соединительные провода, миллиметровая бумага для построения графиков.

Примечание: если в качестве вольтметра вам выдали мультиметр, то вы имеете право использовать его только в режиме вольтметра.

Задача 10.1

Задача 10.1. Золушка.

Задание

1. Представьте себе мешок с пшеном (50 кг), стоящий на полу. При помощи выданного вам оборудования, найдите, чему равна плотность **крупы** на дне мешка.
2. Измерьте плотность **зерен** пшена.
3. Измерьте плотность драже.

Оборудование: пшено (в стаканчике), драже (10 шт), шприц (20 мл), весы.

Примечание. При определении плотности зерен рассматривайте крупу как плотную упаковку одинаковых шариков. Объем шара $V_{\text{ш}} = 4/3\pi r^3$, где r – радиус шара.

Возможное решение

1. Измеряем массу M пустого шприца. Насыпаем в шприц пшено. Измеряем массу $m_{\text{общ}}$ шприца с пшеном и объем V , занимаемый крупой. Для моделирования состояния зерна на дне мешка прижимаем зерно поршнем шприца. Плотность крупы $\rho = \frac{m_{\text{общ}} - M}{V} = 0,83 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Если зерно насыпать в шприц и не уплотнять, измеренная плотность окажется на 10-15% меньше ($\rho_{\text{кр}} \approx 0,7 \text{ г/см}^3$).

2. Предположим, что крупа подобна кристаллической структуре, элементарной ячейкой которой является куб, в каждой из вершин которого находится центр зерна и еще у одного центр совпадает с центром куба (объемно-центрированная кубическая решетка). Найдем плотность упаковки такой решетки $k = \frac{V_0}{V_{\text{я}}}$, где $V_0 = NV_{\text{ш}}$ – объем, занимаемый зёрнами, N – число зерен, приходящихся на одну ячейку, $V_{\text{я}} = a^3$ – объем ячейки. Ребро куба a можно связать с радиусом зерна r : $a\sqrt{3} = 4r$ (на большой диагонали куба укладывается два диаметра зерна). N подсчитаем таким образом: каждое из 8 зерен, центры которых находятся в вершинах куба, принадлежит 8 соседним ячейкам, поэтому на каждую ячейку приходится по 1/8 зерна, и еще одно зерно находится в центре куба: $N = 8 \cdot \frac{1}{8} + 1 = 2$.

После подстановки, $k = \frac{\pi\sqrt{3}}{8} \approx 0,68$. Плотность зерен $\rho_{\text{зер}} = \frac{\rho_{\text{кр}}}{k} \approx 1,2 \text{ г/см}^3$. Для гранецентрированной кубической решетки аналогичный расчет дает $k = 0,74$ и $\rho_{\text{зер}} = \frac{\rho_{\text{кр}}}{k} \approx 1,1 \text{ г/см}^3$. Это наиболее плотная упаковка, наряду с гексагональной. У простой

кубической решетки (1 зерно на 1 ячейку) $k = 0,52$, тогда $\rho_{\text{зер}} = \frac{\rho_{\text{кр}}}{k} \approx 1,6 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

3. Измеряем массу m_1 5-6 драже. Далее насыпаем в шприц небольшое количество пшена так, чтобы у дна образовалась «подушка» из зерна, на которую бросаем одно драже. Аккуратно насыпаем зерно, чтобы заполнить промежутки между драже и стенками шприца и подготовить «подушку» для следующего драже. Так продолжаем, пока общий объем $\rho = \frac{m_{\text{общ}} - M}{V} = 0,83 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ и 20 мл (сверху при этом должен находиться слой зерна под давлением). Измеряем массу шприца с драже и пшеном m_2 . Масса пшена $m_{\text{пш}} = m_2 - m_1 - M$. Так как размер зерен пшена много меньше размера драже, можем считать, что крупа заполнила все промежутки, и их объем был равен $V_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пш}}}{\rho_{\text{кр}}}$. Тогда объем, занимаемый самим драже, $V_{\text{др}} = V_{\text{общ}} - V_{\text{пр}}$, а его плотность $\rho_{\text{др}} = \frac{m_1}{V_{\text{др}}} = (1,2 - 1,3) \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Предложен способ измерения плотности крупы на дне мешка, включая расчетную формулу	1
2.	Измерена плотность крупы (точность не хуже 5%) Если точность хуже 5%, но в пределах 10% - 1 балл	2
3.	Выполнено повторное измерение	1
4.	Предложен способ расчета плотности зерен (нужно учесть воздушные промежутки, для этого рассмотреть структуру крупы)	1
5.	Правильно найдена плотность упаковки (в соответствии с выбранным типом кристаллической решетки) Если сделана разумная оценка $0,5 < k < 0,75$ без вывода формул – 1 балл	2
6.	Вычислена плотность зерен: при $k = 0,52$ $\rho_{\text{зер}} \approx 1,6 \text{ г/см}^3$, при $k = 0,68$ $\rho_{\text{зер}} \approx 1,2 \text{ г/см}^3$, при $k = 0,74$ $\rho_{\text{зер}} \approx 1,1 \text{ г/см}^3$.	1
7.	Предложен способ измерения плотности драже («крупа вместо воды»)	1
8.	Правильный метод определения объема промежутков (через плотность крупы)	1
9.	Выполнены необходимые измерения ($m_1, m_2, V_{\text{общ}}$)	1
10.	Выполнены повторные измерения (не менее двух) Если повторное измерение одно – 1 балл	2
11.	Определена плотность драже $\rho_{\text{др}} = (1,3 - 1,6) \text{ г/см}^3$ Если $\rho_{\text{др}} = (1,2 - 1,3) \text{ г/см}^3$, или, $\rho_{\text{др}} = (1,6 - 1,7) \text{ г/см}^3$ – 1 балл	2

Итого: 15 баллов

Задача 10.2

Задание 10.2. Ох уж эти ВАХи!

- 1) Снимите вольтамперную характеристику (ВАХ) выданного вам «черного ящика» и нарисуйте схему электрической цепи, с помощью которой вы проводили измерения.
- 2) Изобразите полученную ВАХ на графике.
- 3) Предложите вариант схемы электрической цепи, которая может располагаться внутри «чёрного ящика».
- 4) Определите сопротивление(я) резистора(ов) в «чёрном ящике».

Электрическая цепь, находящаяся внутри «чёрного ящика», содержит не более 3-х элементов (это могут быть резисторы, диоды, лампочки), но только один из них нелинейный. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов (диода и лампочки) схематически изображены на рис. 1 и рис. 2.

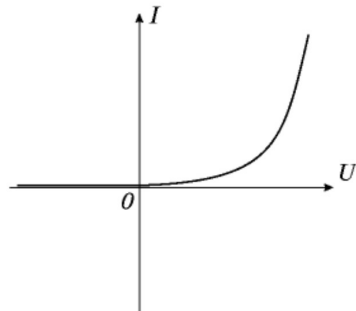


Рис.1 ВАХ диода

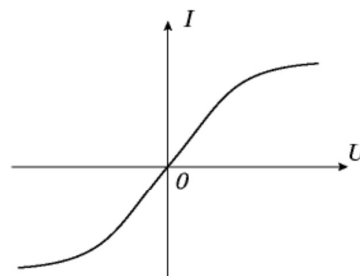


Рис.2 ВАХ лампочки

Оборудование: «черный ящик», резистор сопротивлением 10 Ом, переменный резистор, батарейка (источник тока), вольтметр (мультиметр), соединительные провода, миллиметровая бумага для построения графиков.

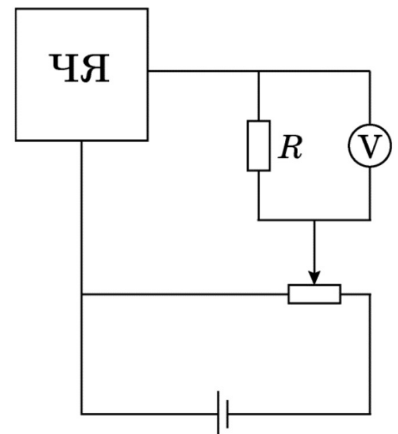
Примечание: если в качестве вольтметра вам выдали мультиметр, то вы имеете право использовать его только в режиме вольтметра.

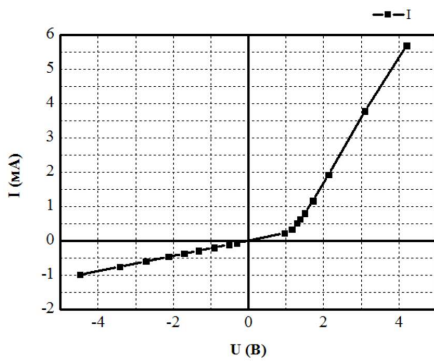
Решение:

Соберем электрическую цепь (рис. справа). При таком соединении приборов мы сможем регулировать напряжение, подаваемое на «черный ящик» в наиболее широком диапазоне. Регулируя сопротивление переменного резистора, будем измерять вольтметром напряжение на известном резисторе, и на «черном ящике».

Силу тока через «черный ящик» найдем с помощью закона Ома для резистора R .

По полученным данным построим ВАХ «черного ящика» для разных полярностей его подключения. Получится график примерно следующего вида:





Характерный изгиб ВАХ и разный вид графика при различной полярности говорят о наличии диода. Ветвь для отрицательных напряжений соответствуют закрытому состоянию диода. Поскольку ток при этом течет и зависимость $I(U)$ линейна, делаем вывод о том, что параллельно диоду присоединён резистор. Правая ветвь ВАХ после открытия диода идет не слишком круто вверх, что свидетельствует о наличие резистора, соединенного последовательно со диодом.

Обратные наклоны прямых:

$$r_1 = 4,5 \text{ кОм}$$

$$r_2 = 0,55 \text{ кОм}$$

Возможные варианты схем.

Схема 1.

При $U < 0$ (участок AO) ток через диод не идёт, поэтому общее сопротивление цепи $R_{\text{общ}} = R_1 + R_2$ можно найти из закона Ома.

При $U > 0$ на участке BC отношение $\frac{\Delta U}{\Delta I} = R_2$. Отсюда $R_1 = R_{\text{общ}} - R_2$.

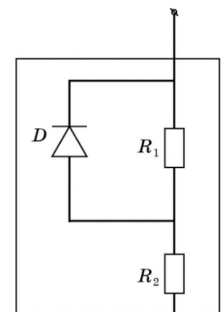
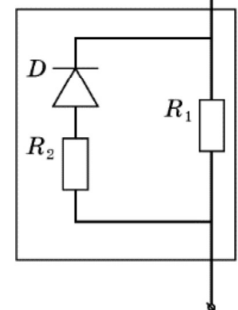


Схема 2.

При $U < 0$ (участок AO) ток через диод не идёт, поэтому сопротивление R_1 можно найти из закона Ома.

При $U > 0$ на участке BC отношение $\frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

Отсюда $R_2 = \frac{R_1 R_{12}}{R_1 - R_{12}}$.



Сопротивления:

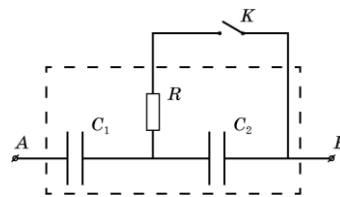
	Модель 1	Модель 2
R_1 , кОм	3,95	4,5
R_2 , кОм	0,55	0,63

Критерии оценивания:

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Идея регулирования напряжения (потенциометр)	1
2.	Идея использования вольтметра в качестве амперметра	1
3.	Приведена схема электрической цепи	1
4.	Выполнены измерения для ВАХ при одной полярности подключения «серого ящика»	2
	Не менее 10 измерений	2
	От 7 до 9 измерений	1
	От 5 до 6 измерений	0,5
5.	Выполнены измерения для ВАХ при другой полярности подключения «серого ящика»	2
	Не менее 10 измерений	2
	От 7 до 9 измерений	1
	От 5 до 6 измерений	0,5
6.	Построен график для одной полярности	1
	Подписаны оси	0,25
	Грамотно выбран масштаб по осям	0,25
	Нанесены точки	0,25
	Проведена гладкая кривая	0,25
7.	Построен график для другой полярности	1
	Подписаны оси	0,25
	Грамотно выбран масштаб по осям	0,25
	Нанесены точки	0,25
	Проведена гладкая кривая	0,25
8.	Указано, что внутри «серого ящика» есть диод	1
9.	Указано, что внутри «серого ящика» есть два резистора	1
10.	Приведена одна из двух возможных схем соединения элементов в «сером ящике»	2
11.	Определено значение резистора R_1	1
12.	Определено значение резистора R_2	1

Итого: 15 баллов

Задание 11.1. Электролитический «серый ящик». В «сером ящике» с выводами A и B и выведенным наружу ключом K собрана электрическая цепь, схема которой представлена на рисунке. Определите ёмкости конденсаторов C_1 , C_2 и сопротивление резистора R .



Оборудование: батарейка, мультиметр в режиме вольтметра, конденсатор известной ёмкости $C_0 = 1000$ мкФ, миллиметровая бумага для построения графиков, секундомер.

Примечание. Все использующиеся в работе конденсаторы электролитические. Они должны подключаться в цепь с учетом полярности, указанной на ящике и выводах конденсатора C_0 . Учтите, что при неверном подключении оборудование может выйти из строя, а вам его не заменят

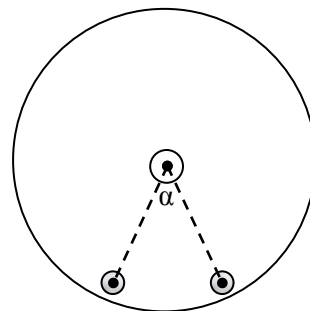
Задание 11.2. Наклоненный маятник.

Задание

1. В этой задаче изучаются свободные колебания выданного вам маятника на горизонтальной поверхности стола. Свободные колебания маятника являются затухающими. Затухание количественно характеризуется декрементом затухания (от лат. *decrementum* — уменьшение, убыль). Декремент затухания d равен натуральному логарифму отношения двух последовательных максимальных отклонений A колеблющейся величины в одну и ту же сторону: $d = \ln(A_1/A_2)$. Закрепите **поочередно** при помощи магнита у **края** диска маленькую и большую гайку, и, проведя необходимые **измерения**, выясните, в каком случае декремент затухания колебаний маятника меньше. Опишите ваши измерения и приведите их результаты.



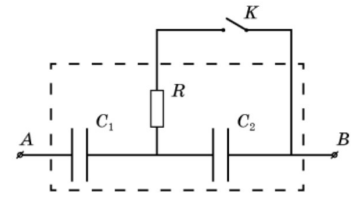
2. Выберите гайку, для которой декремент затухания колебаний маятника **меньше**. Закрепите при помощи магнитов две такие гайки у края диска, как показано на рисунке. Исследуйте зависимость периода T малых колебаний маятника от угла α между радиусами, проведенными из центра диска к центрам гаек. Постройте график зависимости $T(\alpha)$. Сделайте вывод о характере зависимости $T(\alpha)$.



Оборудование: Маятник с прикрепленным транспортиром, две большие и две маленькие гайки, два магнита, секундомер, 2 листа миллиметровой бумаги формата А5 (для построения графиков).

Задача 11.1

Задание 11.1. Электролитический «серый ящик». В «сером ящике» с выводами A и B и выведенным наружу ключом K собрана электрическая цепь, схема которой представлена на рисунке. Определите ёмкости конденсаторов C_1 , C_2 и сопротивление резистора R .



Оборудование: батарейка, мультиметр в режиме вольтметра, конденсатор известной ёмкости $C_0 = 1000$ мкФ, миллиметровая бумага для построения графиков, секундомер.

Примечание. Все использующиеся в работе конденсаторы электролитические. Они должны подключаться в цепь с учетом полярности, указанной на ящике и выводах конденсатора C_0 . Учтите, что при неверном подключении оборудование может выйти из строя, а вам его не заменят

Возможное решение

- Измерим напряжение U_0 батарейки и занесём в отчёт полученный результат.
- Подключим батарейку к выводам A и B при разомкнутом ключе K . При этом конденсаторы зарядятся до напряжения

$$U_1 = U_0 \frac{C_2}{C_1 + C_2}, \quad U_2 = U_0 \frac{C_1}{C_1 + C_2}.$$

- Отключим батарейку, замкнём ключ K и, выждав некоторое время (~ 30 с), измерим напряжение U_{AB} на клеммах A и B . Убедимся, что U_{AB} с течением времени практически не изменяется, т.е. C_2 разрядился, а C_1 через вольтметр разряжается очень медленно. Тогда

$$U_{AB} = U_1 = U_0 \frac{C_2}{C_1 + C_2}.$$

Из полученных соотношений найдём:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{U_0}{U_{AB}} - 1. \quad (1)$$

- Разрядим конденсаторы, замкнув выводы A и B . Разомкнём ключ K и, зарядив конденсатор C_0 , подключим его к клеммам A и B и измерим напряжение

$$U'_{AB} = \frac{C_0 U_0}{C_0 + C_{12}}, \quad \text{где } C_{12} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (2)$$

- Решая совместно уравнения (1) и (2), получим

$$C_1 = 1\,000 \text{ мкФ}; \quad C_2 = 470 \text{ мкФ}.$$

- Чтобы найти сопротивление резистора R , подключим к клеммам A и B (при разомкнутом ключе K) батарейку. Отключим батарейку и вместо неё подключим вольтметр (мультиметр). Замкнём ключ K и снимем зависимость напряжения $U_{AB}(t)$ от времени. Сила тока, протекающего через резистор

$$I(t) = \frac{U_2(t)}{R} = -\frac{\Delta q_2}{\Delta t} = -\frac{C_2 \Delta U_2(t)}{\Delta t},$$

где Δq_2 - изменение заряда на конденсаторе C_2 . Величину $\frac{U_2(t)}{\Delta t}$ можно определить,

проведя касательную к графику $U_{AB}(t)$. Значение $U_2(t) = U_0(t) - U_1$.

- Находим сопротивление $R = -\frac{U_2(t)}{C_2 \frac{\Delta U_2(t)}{\Delta t}} \approx 20 \text{ кОм}$.

Основная ошибка при проведении эксперимента – неполная разрядка конденсаторов внутри ЧЯ. В большинстве случаев для полной разрядки конденсаторов внутри ЧЯ необходимо замкнуть его контакты, поставить тумблер в положение «вкл» и подождать пару минут. Недолгое замыкание ключа независимо от положения тумблера приводит к простому перераспределению заряда между конденсаторами.

Критерии оценивания:

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Измерение напряжения U_0 батарейки	1
2.	Идея нахождения отношения C_2/C_1 с расчетной формулой	1
3.	Выполнены необходимые измерения для нахождения C_2/C_1	1
4.	Выполнены повторные измерения	1
5.	Найдено отношение C_2/C_1	1
6.	Идея нахождения общей емкости конденсаторов C_1 и C_2 , соединенных последовательно, с расчетной формулой	1
7.	Выполнены необходимые измерения для нахождения общей емкости конденсаторов C_1 и C_2 , соединенных последовательно	1
8.	Выполнены повторные измерения	1
9.	Найдена общая емкость конденсаторов C_1 и C_2 , соединенных последовательно	1
10.	Вычислены емкости конденсаторов C_1 и C_2	1
11.	Идея нахождения сопротивления R с расчетной формулой	1
12.	Выполнены необходимые измерения для нахождения сопротивления R (не менее 7 измерений) Если 5-6 измерений	2 1
13.	Обработка результатов измерений $U(t)$	1
14.	Найдено сопротивление R	1

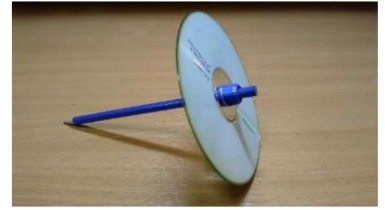
Итого: 15 баллов

Задача 11.2

Задание 11.2. Наклоненный маятник.

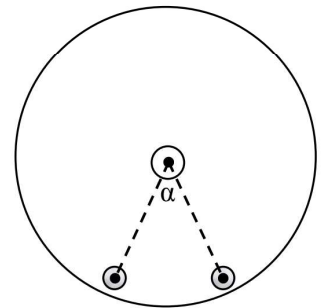
Задание

1. В этой задаче изучаются свободные колебания выданного вам маятника на горизонтальной поверхности стола. Свободные колебания маятника являются затухающими. Затухание количественно характеризуется декрементом затухания (от лат. *decrementum* — уменьшение, убыль).



Декремент затухания d равен натуральному логарифму отношения двух последовательных максимальных отклонений A колеблющейся величины в одну и ту же сторону: $d = \ln(A_1/A_2)$. Закрепите **поочередно** при помощи магнита у **края** диска маленькую и большую гайку, и, проведя необходимые **измерения**, выясните, в каком случае декремент затухания колебаний маятника меньше. Опишите ваши измерения и приведите их результаты.

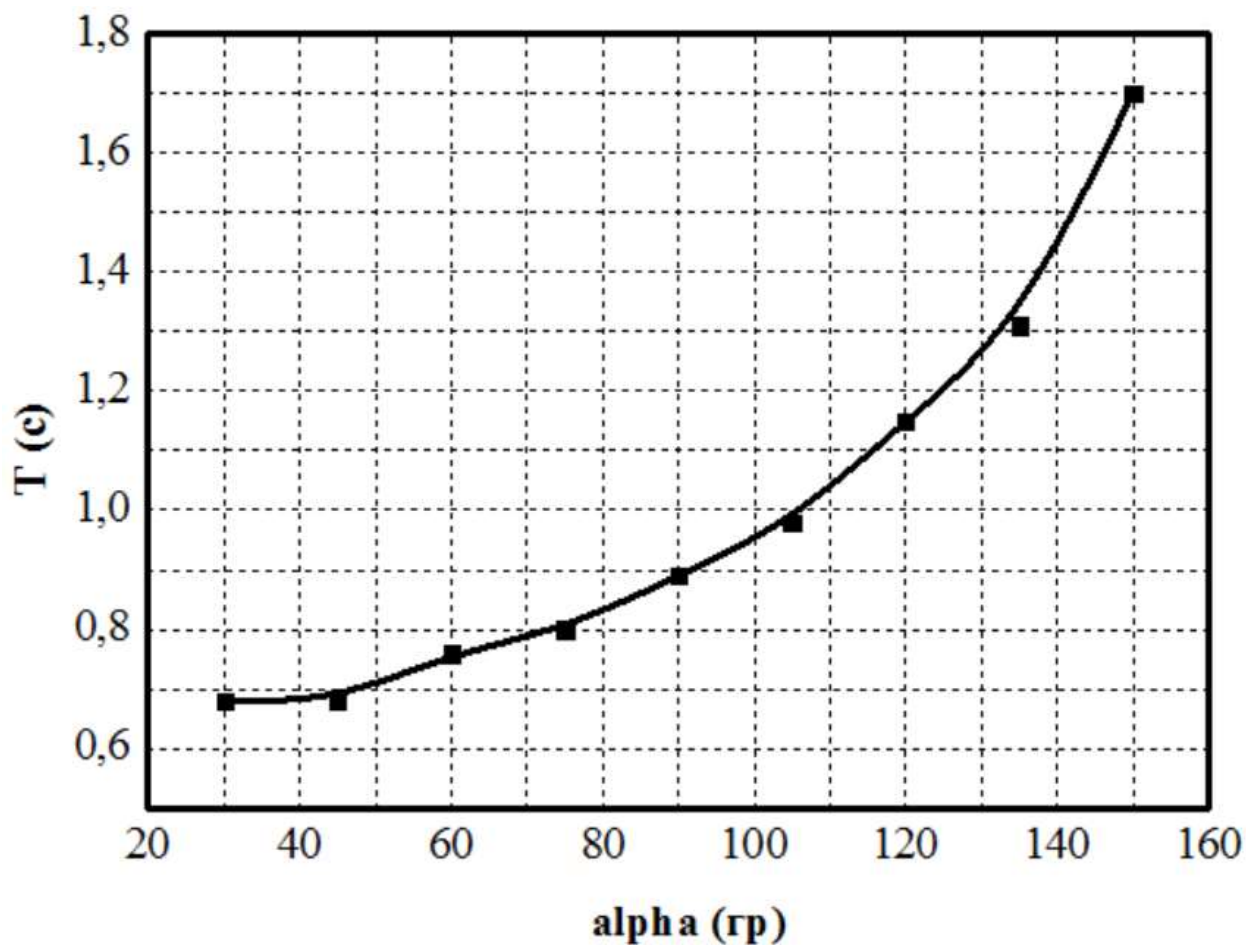
2. Выберите гайку, для которой декремент затухания колебаний маятника **меньше**. Закрепите при помощи магнитов две такие гайки у края диска, как показано на рисунке. Исследуйте зависимость периода T малых колебаний маятника от угла α между радиусами, проведенными из центра диска к центрам гаек. Постройте график зависимости $T(\alpha)$. Сделайте вывод о характере зависимости $T(\alpha)$.



Оборудование: Маятник с прикрепленным транспортиром, две большие и две маленькие гайки, два магнита, секундомер, 2 листа миллиметровой бумаги формата А5 (для построения графиков).

Возможное решение

1. Будем измерять число колебаний за которое угловая амплитуда уменьшается в два раза, например, с $\varphi_0 = 30^\circ$ до $\varphi_1 = 15^\circ$. Для большой гайки это число примерно в два раза больше чем для маленькой. Следовательно, декремент затухания колебаний маятника с большой гайкой меньше. Выбираем её для выполнения второй части задания.
2. Измеряем период колебаний для α в диапазоне $30^\circ < \alpha < 150^\circ$ с шагом 15° .
3. По результатам измерений строим график зависимости $T(\alpha)$.
4. Делаем вывод о характере зависимости: она монотонно возрастающая и $\frac{\Delta T}{\Delta \alpha}$ непрерывно растёт во всём диапазоне.



Критерии оценивания:

№	Содержание критерия	Баллы
1.	Предложен метод сравнения декрементов затухания - измерение числа полных колебаний, за которое амплитуда уменьшается в одно и то же количество раз для каждой из гаек	1
2.	Проведены необходимые измерения и записаны их результаты	1
3.	Сделан правильный вывод – декремент затухания для маятника с большой гайкой меньше	1
4.	Проведены измерения периода для 9-10 значений α для 7-8 значений для 5-6 значений	3 2 1
5.	Период измерялся через время t , за которое маятник совершает N полных колебаний, при этом $t \geq 10$ с	1
6.	Повторные измерения t при одном и том же α если повторение однократное	2 1
7.	Построен график зависимости $T(\alpha)$: нанесены точки подписаны оси указаны единицы измерения указан масштаб по осям масштаб выбран так, что график занимает не менее 50% по каждой оси проведена линия тренда (не ломаная)	4 1 0,5 0,5 0,5 0,5 1
8.	Сделан правильный вывод о зависимости $T(\alpha)$: при увеличении α период монотонно возрастает скорость возрастания $\frac{\Delta T}{\Delta \alpha}$ также непрерывно растет при увеличении α	2 1 1