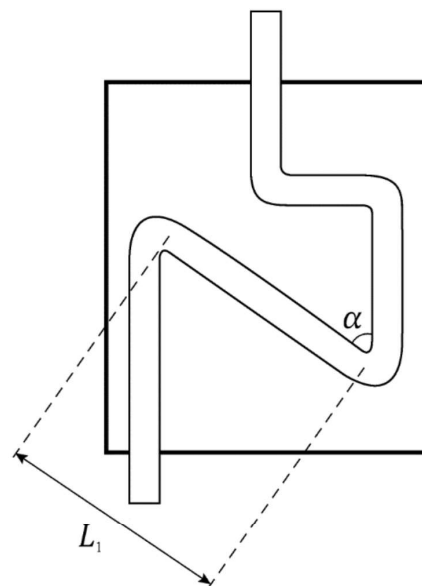


## Задача 9.1

**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  $\alpha$ .



**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.

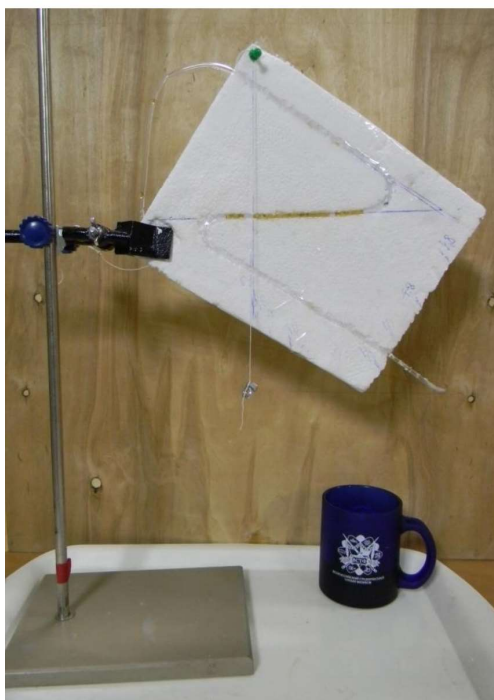
## Официальное решение:

### 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 $\alpha$ .

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  $\beta$  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  $\beta_0$ , при котором срабатывает сифон, перестанет изменяться. Объем  $V_3$  соответствует объему наклонного участка трубки, а угол  $\beta_0$  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)

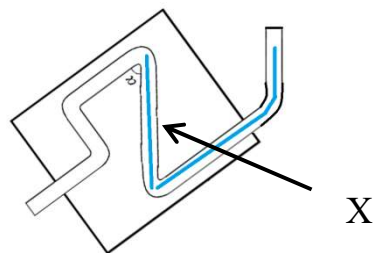
$L_{\text{зап}} = 164 \pm 1,0$  мм (измеряется линейкой)

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.



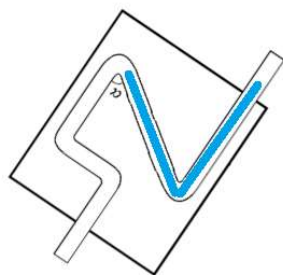
Участок трубки, выделенный цветом, образует сообщающиеся сосуды. Будем подбирать такое положение ящика, при котором в сосуды поместится максимальный объем воды  $v$ . Если максимум превышен – срабатывает эффект сифона.

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

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

$$\alpha = 33 \pm 5 \text{ град.}$$

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 сосуда 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:

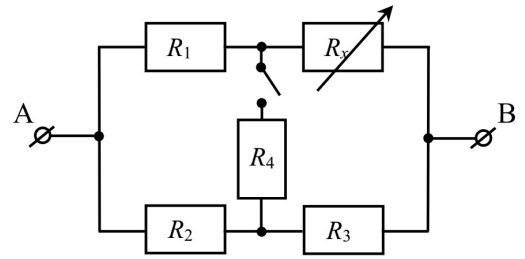
№	Содержание критерия	Баллы
1.	Понятное описание хода работы, наличие схематических рисунков	<b>1</b>
2.	Определение $L_0$ Предложен метод, точность которого сопоставима с точностью авторского метода Опыт проделан не менее трех раз, результаты усреднены Получен результат с отклонением от правильного не более, чем на 10%	<b>3</b> 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%	<b>5</b> 1 1 1 1 1
4.	Определение $\alpha$ 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%	<b>6</b> 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

$\Omega$  - 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	<b>2</b>
2.	Теоретическое обоснование метода	<b>2</b>
3.	Явные результаты измерений	<b>2</b>
4.	Явный учет возможности ненулевого минимального сопротивления переменного резистора	<b>2</b>
5.	Правильно найдена величина сопротивления $R_3$	<b>2</b>
6.	Правильно найден диапазон сопротивлений переменного резистора	<b>2</b>
7.	Правильно найдена величина сопротивления $R_4$	<b>2</b>
8.	Оценка погрешности измерений	<b>1</b>

**Итого: 15 баллов**