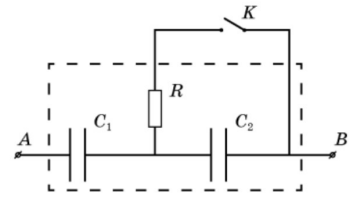


## Задача 11.1

**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 ( $\sim 30$  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  $\Delta q_2$  - 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	<b>1</b>
2.	Идея нахождения отношения $C_2/C_1$ с расчетной формулой	<b>1</b>
3.	Выполнены необходимые измерения для нахождения $C_2/C_1$	<b>1</b>
4.	Выполнены повторные измерения	<b>1</b>
5.	Найдено отношение $C_2/C_1$	<b>1</b>
6.	Идея нахождения общей емкости конденсаторов $C_1$ и $C_2$ , соединенных последовательно, с расчетной формулой	<b>1</b>
7.	Выполнены необходимые измерения для нахождения общей емкости конденсаторов $C_1$ и $C_2$ , соединенных последовательно	<b>1</b>
8.	Выполнены повторные измерения	<b>1</b>
9.	Найдена общая емкость конденсаторов $C_1$ и $C_2$ , соединенных последовательно	<b>1</b>
10.	Вычислены емкости конденсаторов $C_1$ и $C_2$	<b>1</b>
11.	Идея нахождения сопротивления $R$ с расчетной формулой	<b>1</b>
12.	Выполнены необходимые измерения для нахождения сопротивления $R$ (не менее 7 измерений) Если 5-6 измерений	<b>2</b> 1
13.	Обработка результатов измерений $U(t)$	<b>1</b>
14.	Найдено сопротивление $R$	<b>1</b>

**Итого: 15 баллов**

## Задача 11.2

### Задание 11.2. Наклоненный маятник.

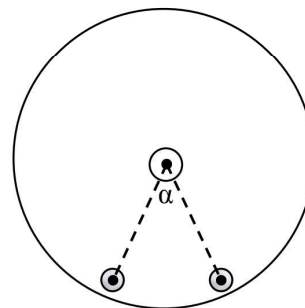
#### Задание

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.

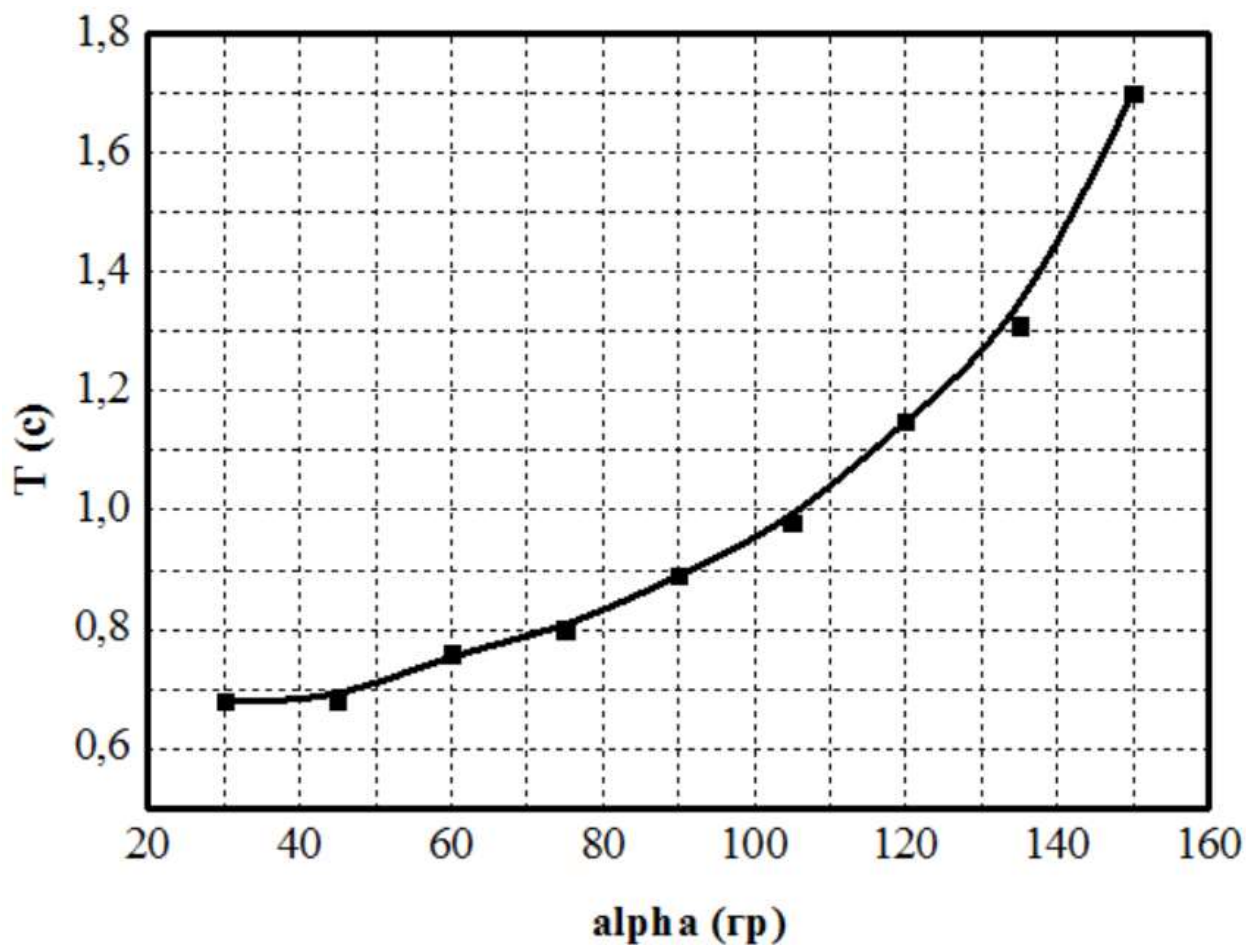
2. Выберите гайку, для которой декремент затухания колебаний маятника **меньше**. Закрепите при помощи магнитов две такие гайки у края диска, как показано на рисунке. Исследуйте зависимость периода  $T$  малых колебаний маятника от угла  $\alpha$  между радиусами, проведенными из центра диска к центрам 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  $\alpha$  в диапазоне  $30^\circ < \alpha < 150^\circ$  с шагом  $15^\circ$ .
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	<b>1</b>
2.	Проведены необходимые измерения и записаны их результаты	<b>1</b>
3.	Сделан правильный вывод – декремент затухания для маятника с большой гайкой <b>меньше</b>	<b>1</b>
4.	Проведены измерения периода для 9-10 значений $\alpha$ для 7-8 значений для 5-6 значений	<b>3</b> 2 1
5.	Период измерялся через время $t$ , за которое маятник совершает $N$ полных колебаний, при этом $t \geq 10$ с	<b>1</b>
6.	Повторные измерения $t$ при одном и том же $\alpha$ если повторение однократное	<b>2</b> 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)	<b>4</b> 1 0,5 0,5 0,5 0,5 1
8.	Сделан правильный вывод о зависимости $T(\alpha)$ : при увеличении $\alpha$ период монотонно возрастает скорость возрастания $\frac{\Delta T}{\Delta \alpha}$ также непрерывно растет при увеличении $\alpha$	<b>2</b> 1 1