

## 11 класс

### Задание 1.

Определить зависимость полезной мощности от силы тока в цепи; определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника постоянного тока.

*Приборы и материалы:* источник постоянного тока (батарейка), амперметр (мультиметр), вольтметр (мультиметр), набор из пяти сопротивлений, соединительные провода.

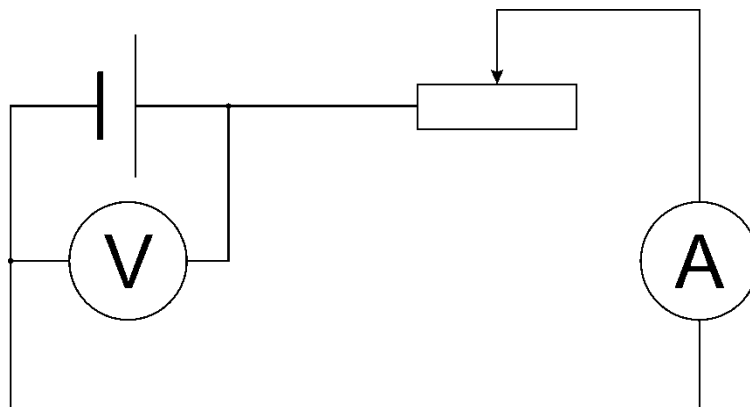
*Совет:* При длительном пропускании тока может происходить нагрев элементов электрической цепи (батарейки, реостата и проводов), что может повлиять на точность и корректность измерений. Рекомендуется каждое измерение проводить за короткий временной интервал, после чего разъединять цепь.

*Рекомендации организаторам.*

В качестве источника тока применяется батарейка типа «Крона» (9 В), рекомендуется предусмотреть возможность осуществления ее подключения к цепи и заклеить надпись о величине напряжения. Для измерения силы тока и напряжения применяются мультиметры. Рекомендуется предварительно ознакомить учащихся с правилами использования мультиметра, и указать, что они могут применяться только для измерения силы тока и напряжения. Можно использовать реостат сопротивлением 6 – 10 Ом.

*Решение.*

Составляют цепь по схеме, приведенной на рисунке. Уменьшая с помощью реостата сопротивление внешней части цепи, фиксируют ряд показаний амперметра и вольтметра. По этим данным вычисляют по формуле  $P = UI$  соответствующие значения полезной мощности  $P$  цепи.

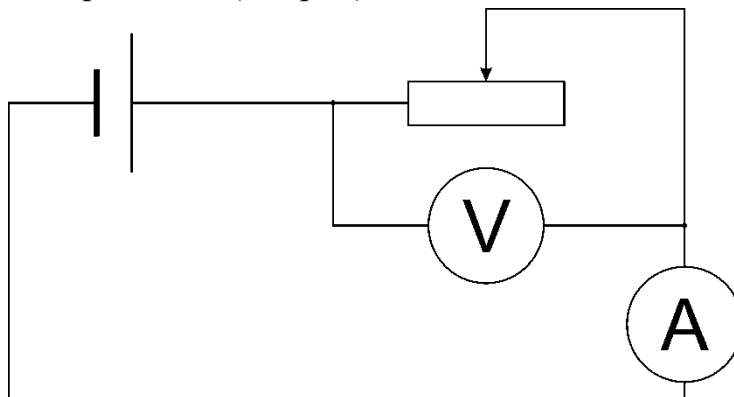


Затем строят график зависимости  $P = P(I)$  и по графику находят максимальное значение мощности. Существование максимального значения полезной мощности вытекает из анализа выражения  $P = I(\varepsilon - Ir)$ . График этой функции  $P$  от  $I$  представляет собой параболу с вершиной при  $I = \varepsilon/2r$ . Мощность при этой силе тока равна

$$P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}.$$

Это условие достигается при  $R = r$ .

Для определения ЭДС и внутреннего сопротивления источника достаточно измерить силу тока в цепи и напряжение на ее внешней части при двух положениях движка реостата (см. рис).



Применив к этим двум случаям закон Ома для полной цепи, получим:

$$\varepsilon = U_1 + I_1 r, \quad \varepsilon = U_2 + I_2 r$$

Отсюда

$$r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}, \quad \varepsilon = \frac{I_1 U_2 - I_2 U_1}{I_1 - I_2}.$$

(20 баллов)

*Примерные критерии оценивания:*

1. Описана методика измерения полезной мощности в цепи в зависимости от силы тока – 2 балла;
2. Описана методика измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источника постоянного тока – 2 балла;
3. Выполнены измерения зависимости  $P(I)$ :
  - 3 и менее измерений – 2 балла;
  - 4–6 измерений – 3 балла;
  - 7 и более измерений – 4 балла;
4. Построен график зависимости  $P(I)$  – 1 балл;
5. Экспериментально обнаружено существование максимума зависимости  $P(I)$  – 3 балла;
6. Объяснено существование максимума зависимости  $P(I)$  – 2 балла;
7. Определено значение ЭДС источника тока – 3 балла;
8. Определено значение внутреннего сопротивления источника тока – 3 балла.

## Задание 2.

Измерьте показатель преломления воды, налитой в бутылку.

*Оборудование:* источник света (свеча), прозрачная пластиковая бутылка с водой, лист бумаги А3 (выполняющий роль экрана), линейка, нить длиной ~30 см.

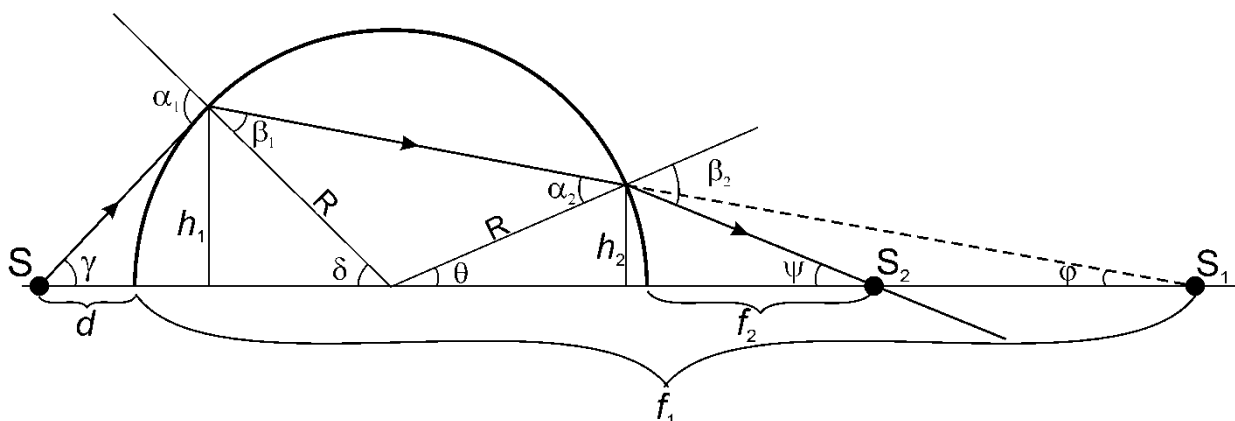
*Рекомендации организаторам.*

В аудитории должны присутствовать спички или зажигалка для зажигания свечи.

*Решение.*

В данной задаче показатель преломления измеряется при помощи пластиковой бутылки с водой, которая играет роль толстой цилиндрической линзы. Построим ход произвольного луча через такую линзу (см. рисунок).  $S$  – источник света;  $S_1$  — изображение, создаваемое первой преломляющей поверхностью;  $S_2$  — изображение, создаваемое второй поверхностью;  $d$  — расстояние от источника света до линзы;  $R$  — радиус линзы;  $f_1$  — расстояние от первой поверхности до  $S_1$ ;  $f_2$  — расстояние от линзы до изображения  $S_2$ .

Будем рассматривать параксиальные лучи, поэтому значения тангенсов углов могут быть заменены значениями синусов и значениями самих углов. Из закона преломления также следует (для малых углов)  $\alpha_1 = n\beta_1$ ;  $\beta_2 = n\alpha_2$ .



Из геометрических соображений получаем:

$$\beta_2 = \theta + \psi, \quad n\alpha_2 = \theta + \psi, \quad \alpha_2 = \theta + \varphi.$$

Отсюда

$$\begin{aligned} n(\theta + \varphi) &= \theta + \psi, & n\theta + n\varphi &= \theta + \psi, \\ (n-1)\theta &= \psi - n\varphi. \end{aligned} \quad (1)$$

Опять же из геометрических соображений получаем еще одну систему уравнений:

$$\delta = \varphi + \beta_1$$

$$\alpha_2 = \theta + \varphi.$$

Отсюда

$$\delta + \alpha_2 = 2\varphi + \beta_1 + \theta, \quad \beta_1 = \alpha_2,$$

$$\varphi = \frac{1}{2}(\delta - \theta). \quad (2)$$

Таким образом:

$$(n-1)\theta = \psi - \frac{n}{2}(\delta - \theta)$$

или

$$\frac{(n-1)h_2}{R} = \frac{h_2}{f_2} - \frac{n}{2} \left( \frac{h_1}{R} - \frac{h_2}{R} \right). \quad (3)$$

Из записанного выше закона преломления для первой и второй преломляющих поверхностей следует, что  $\alpha_1 = \beta_2$ . С учетом этого можно показать, что

$$\delta + \gamma = \theta + \psi \Rightarrow h_1 \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{d} \right) = h_2 \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{f_2} \right) \Rightarrow h_1 = \frac{(R + f_2)d}{(R + d)f_2} h_2. \quad (4)$$

Решая систему уравнений (3) и (4) относительно  $n$ , получим:

$$n = \frac{2(R+d)(R+f_2)}{f_2(R+d) + d(R+f_2)}. \quad (5)$$

Таким образом, в опыте должны быть измерены величины  $d$ ,  $f_2$ ,  $R$ , далее по этим данным можно рассчитать показатель преломления и сравнить его с известным табличным значением для воды. Радиус бутылки может быть определен путем наматывания на нее нити и последующего измерения длины окружности бутылки, после чего можно рассчитать ее радиус.

Измерения должны быть проведены многократно при различных значениях  $d$  и оформлены в виде таблицы, конечный результат усреднен и оценена погрешность измерений.

(20 баллов)

*Примерные критерии оценивания:*

1. Описана методика определения показателя преломления на основе рассмотрения хода лучей в бутылке, как в толстой цилиндрической линзе – 4 балла;
2. Получено выражение для показателя преломления (5) – 5 баллов;
3. Проведены измерения величин  $d$ ,  $R$  и  $f_2$ :
  - одно измерение – 2 балла;
  - 2–3 измерения – 3 балла;
  - 3–5 измерений – 4 балла;
  - более пяти измерений – 5 баллов;
4. Рассчитан показатель преломления:
  - результат отличается от табличного менее чем на 10% – 5 баллов;
  - результат отличается от табличного более чем на 10% – 3 балла;
5. Выполнена оценка погрешностей измерения – 1 балл.