Лампочки накаливания: параллельно и последовательно

Задача 3. [Физтех 2020/21, 9 класс, задача 3] Имеются две одинаковые лампочки накаливания. При их параллельном соединении и подключении к источнику с напряжением $U_0 = 12$ В на каждой лампочке выделяется мощность $P_1 = 20$ Вт. При их последовательном соединении и подключении к тому же источнику на каждой лампочке выделяется мощность $P_2 = 6{,}6$ Вт.

1. Найдите ток в каждой лампочке при параллельном соединении.
2. Найдите ток в каждой лампочке при последовательном соединении.
3. Какая мощность будет выделяться на одной лампочке при их последовательном соединении и подключении к источнику с напряжением $2U_0$?

Рисунка в условии нет.

▲ **Решение.** **Что происходит.** Это задача на нелинейный элемент: сопротивление нити лампочки сильно зависит от её температуры, то есть от тока. Поэтому нельзя найти «сопротивление лампочки» в одном опыте и перенести в другой — проверим: из первого опыта $R = U_0^2/P_1 = 7{,}2$ Ом, и тогда при последовательном соединении было бы $P = (U_0/2)^2/R = 5$ Вт, а не 6,6 Вт. Главная идея: в каждом опыте известно напряжение на лампочке и её мощность, а ток находится из $P = UI$ — без всякого сопротивления. Для третьего пункта важно лишь одно: одинаковые лампочки, соединённые последовательно, делят напряжение поровну.

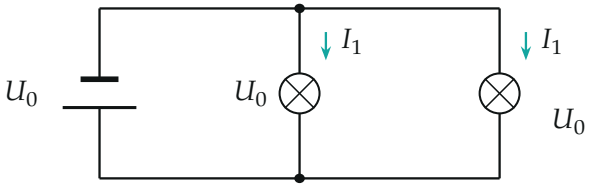
Обозначения. I_1, I_2 — токи в лампочке при параллельном и последовательном соединении с источником U_0; P_3 — мощность на лампочке в третьем случае. Сопротивление источника считаем пренебрежимо малым: его напряжение U_0 целиком приходится на внешнюю цепь.

Пункт 1.

1. Параллельное соединение. Каждая лампочка подключена прямо к выводам источника, напряжение на ней U_0. Мощность тока $P_1 = U_0 I_1$,

откуда

$$I_1 = \frac{P_1}{U_0} = \frac{20}{12}\ \text{А} = \frac{5}{3}\ \text{А} \approx 1{,}67\ \text{А}.$$

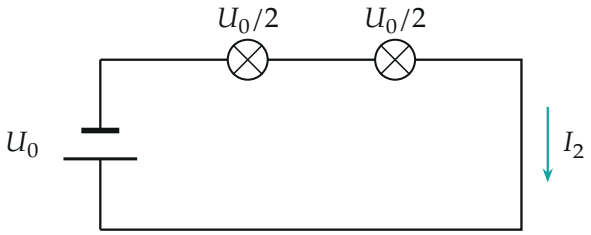


Параллельное соединение: на каждой лампочке полное напряжение источника U_0.

Пункт 2.

2. Последовательное соединение. Через лампочки идёт один и тот же ток I_2 (заряд не накапливается). Лампочки одинаковы и при одинаковом токе нагреваются одинаково, значит, и напряжения на них равны — по $U_0/2 = 6$ В. Из $P_2 = \frac{U_0}{2} I_2$:

$$I_2 = \frac{2P_2}{U_0} = \frac{2 \cdot 6{,}6}{12}\ \text{А} = 1{,}1\ \text{А}.$$

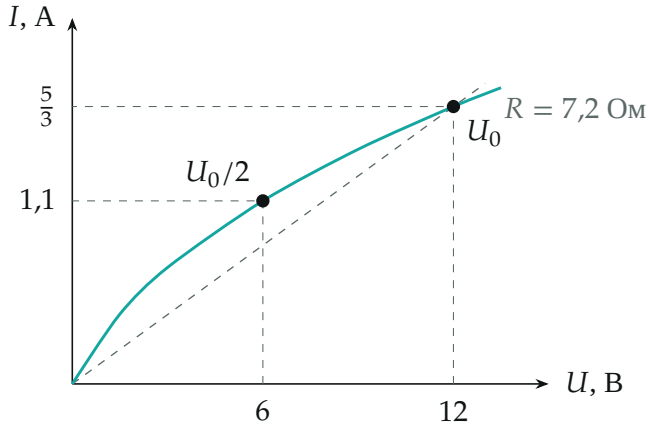


Последовательное соединение: ток один, напряжение делится поровну.

3. Лампочка — не резистор. Сравним сопротивления в двух опытах:

$$R_1 = \frac{U_0}{I_1} = \frac{12}{5/3}\ \text{Ом} = 7{,}2\ \text{Ом}, \qquad R_2 = \frac{U_0/2}{I_2} = \frac{6}{1{,}1}\ \text{Ом} \approx 5{,}5\ \text{Ом}.$$

При меньшем токе нить холоднее, и её сопротивление меньше — так и должно быть у металла. Точки (6 В; 1,1 А) и (12 В; 1,67 А) лежат на вольт-амперной характеристике лампочки, а не на одной прямой через ноль.

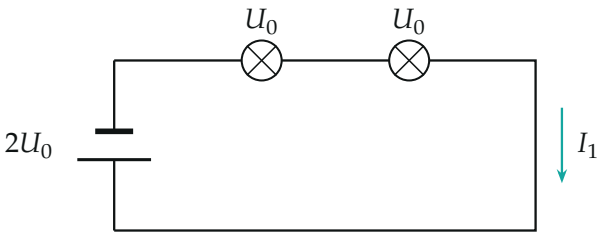


Вольт-амперная характеристика лампочки (между точками — качественно). Штриховая прямая — резистор 7,2 Ом: при 6 В он пропустил бы только 0,83 А, а лампочка пропускает 1,1 А.

Пункт 3.

4. Последовательно к $2U_0$. Лампочки снова одинаковы и соединены последовательно, поэтому напряжение снова делится поровну: на каждой $\dfrac{2U_0}{2} = U_0 = 12$ В. Но при напряжении U_0 на лампочке её режим нам уже известен из первого опыта: тот же нагрев, тот же ток I_1. Значит,

$$P_3 = U_0 I_1 = P_1 = 20 \text{ Вт}.$$



Третий случай: на каждой лампочке снова U_0 — тот же режим, что в параллельном соединении.

Обратите внимание. Соблазн — найти «сопротивление лампочки» $R = U_0^2/P_1$ и пересчитать мощность по $P = U^2/R$. Для лампочки накаливания это неверно: в пункте 2 такой расчёт дал бы 5 Вт вместо 6,6 Вт. В пункте 3 ответ получился без всякого сопротивления — из того, что режим лампочки определяется напряжением на ней.

Проверка. Размерность: Вт/В = А. Ток в цепи в третьем случае $I_1 = \frac{5}{3}$ А, полная мощность $2P_1 = 40$ Вт $= 2U_0 \cdot I_1$ — сходится. Ток $I_2 = 1{,}1$ А меньше I_1, хотя и не вдвое: напряжение уменьшилось вдвое, а сопротивление холодной нити тоже уменьшилось. Смысл: для нелинейного элемента важна не формула, а то, в каком режиме (при каком напряжении) он работает.

Ответ. 1) $I_1 = \dfrac{P_1}{U_0} = \dfrac{5}{3}$ А $\approx 1{,}67$ А; 2) $I_2 = \dfrac{2P_2}{U_0} = 1{,}1$ А; 3) $P_3 = P_1 = 20$ Вт.