

О перераспределении заряда между конденсаторами

Во многих сборниках физических задач, например [1, с. 123, зад. 9; 2, с. 93, зад. 3.42; 3, с. 115, зад. 3.131], предлагается рассмотреть ситуацию, связанную с присоединением незаряженного конденсатора к конденсатору, предварительно заряженному до некоторого напряжения и отключённого после этого от источника ЭДС.

Пусть конденсатор ёмкостью C_1 заряжен до напряжения U_0 . Тогда заряд q_0 конденсатора равен:

$$q_0 = C_1 \cdot U_0. \quad (1)$$

При подключении к заряженному конденсатору «пустого» конденсатора ёмкостью C_2 происходит процесс перераспределения заряда между конденсаторами до тех пор, пока напряжение на конденсаторах не станет равным:

$$U_1 = U_2 = U. \quad (2)$$

В результате заряды q_1 и q_2 конденсаторов составят:

$$q_1 = C_1 \cdot U. \quad (3)$$

$$q_2 = C_2 \cdot U. \quad (4)$$

В соответствии с законом сохранения электрического заряда

$$q_1 + q_2 = q_0, \quad (5)$$

или с учётом (1), (3), (4)

$$C_1 \cdot U + C_2 \cdot U = C_1 \cdot U_0$$

Отсюда

$$U = \frac{C_1 \cdot U_0}{C_1 + C_2} \quad (6)$$

Процесс перераспределения заряда – электрический ток в проводах, которыми соединены конденсаторы. В результате в проводах выделится определённое количество теплоты Q . Очевидно, что

$$Q = \frac{C_1 \cdot U_0^2}{2} - \left(\frac{C_1 \cdot U^2}{2} + \frac{C_2 \cdot U^2}{2} \right),$$

или с учётом соотношения (6) окончательно имеем:

$$Q = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot U_0^2}{2(C_1 + C_2)}. \quad (7)$$

В случае $C_1 = C_2$

$$Q = \frac{C_1 \cdot U_0^2}{4},$$

т. е. в тепло «уходит» половина первоначального запаса электрической энергии.

В видеофрагменте показано, как, располагая источником постоянного тока, вольтметром и двумя конденсаторами, можно провести измерение первоначального значения напряжения и значения напряжения после перераспределения зарядов и проиллюстрировать справедливость соотношения (5) – закона сохранения электрического заряда.

В заключение один «каверзный» вопрос: «Если соединить конденсаторы сверхпроводящими проводами, то джоулево тепло в них выделяться не будет. Но и в этом случае будет иметь место убыль электрической энергии, равная

$$\frac{C_1 \cdot C_2 \cdot U_0^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

Каков же в этом случае механизм «потери» энергии в процессе перераспределения заряда между конденсаторами?»

Литература

1. Громцева О. И. Сборник задач по физике: 10 – 11 классы /О. И. Громцева. – М. : Издательство «Экзамен», 2015. – 208 с.
2. Сборник задач по физике: Учеб. пособие / Л. П. Баканина, В. Е. Белонучкин, С. М. Козел, И. П. Мазанько; Под. ред. С.М. Козела. – 2-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. -352 с.
3. Иродов И. Е. Задачи по общей физике / И. Е. Иродов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. -367 с.