

Количество теплоты. Конденсатор

Содержание

1	МФТИ и «Физтех»	4
2	«Курчатов»	11
3	Всероссийская олимпиада школьников по физике	11
4	Московская олимпиада школьников по физике	16

В данной листовке рассматриваются задачи на расчёт количества теплоты, которое выделяется в цепях, состоящих из резисторов и конденсаторов. При решении задач необходимо помнить следующее.

1. Заряженный конденсатор ёмкостью C обладает энергией

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C},$$

где U — напряжение на конденсаторе, q — заряд конденсатора.

2. Если через источник тока с ЭДС \mathcal{E} проходит заряд q , то сторонние силы источника совершают работу

$$A_{\text{ист}} = q\mathcal{E}.$$

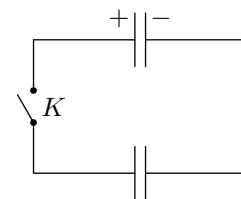
Эта работа называется *работой источника*.

3. Работа источника идёт на изменение энергии конденсаторов, включённых в цепь, а также превращается в тепло, выделяющееся на резисторах цепи:

$$A_{\text{ист}} = \Delta W + Q.$$

Обычно предполагается, что сопротивления резисторов достаточно велики, так что токи после замыкания ключа возрастают достаточно медленно и поэтому потерями на излучение можно пренебречь¹ (в противном случае см. задачу 1).

ЗАДАЧА 1. Конденсатор ёмкостью C , заряд которого равен q , соединён через разомкнутый ключ K с таким же незаряженным конденсатором (см. рисунок). Ключ замыкают. Найдите суммарную энергию конденсаторов после установления равновесия. Куда «исчезла» половина начальной энергии?



$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \tau} = M$$

ЗАДАЧА 2. Разности потенциалов на конденсаторах ёмкостями C_1 и C_2 равны U_1 и U_2 . Конденсаторы через резистор соединяют между собой. Найдите энергию, которая выделится при перезарядке конденсаторов в двух случаях:

- а) соединены одноимённо заряженные пластины;
- б) соединены разноимённо заряженные пластины.

$$\frac{\tau_2 + \tau_1 \tau_2}{\tau_2(\tau_2 + \tau_1)} = \partial \quad (g; \frac{\tau_2 + \tau_1 \tau_2}{\tau_2(\tau_2 - \tau_1)} = \partial \quad (e$$

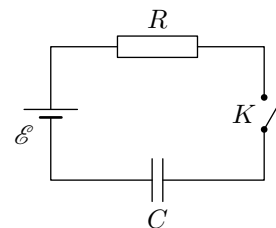
¹Если заряженная частица движется с ускорением, то она излучает электромагнитные волны. Эти волны уносят тем больше энергии, чем больше ускорение частицы.

ЗАДАЧА 3. Плоский воздушный конденсатор заполнили жидким диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε и зарядили, сообщив ему энергию W . Затем конденсатор отсоединили от источника, слили диэлектрик и разрядили. Какая энергия выделилась при разрядке?

$$\boxed{M^3 = 0 \text{ (в)}}$$

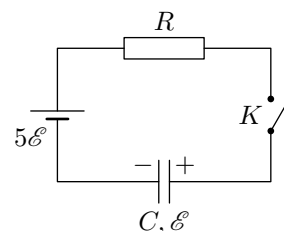
ЗАДАЧА 4. Источник тока с ЭДС \mathcal{E} , резистор с большим сопротивлением R и конденсатор ёмкостью C подключены последовательно друг с другом через ключ K (см. рисунок). Вначале ключ разомкнут и конденсатор не заряжен. Найдите количество теплоты, которое выделится в цепи после замыкания ключа в процессе зарядки конденсатора.

$$\boxed{\frac{\tau}{\tau^2 \mathcal{E} C} = 0}$$



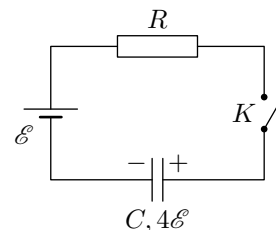
ЗАДАЧА 5. Конденсатор ёмкостью C , заряженный до напряжения \mathcal{E} , подключается через резистор с большим сопротивлением R к батарее с ЭДС $5\mathcal{E}$ (см. рисунок). Определите количество теплоты, которое выделится в цепи при зарядке конденсатора до напряжения $5\mathcal{E}$.

$$\boxed{\frac{\tau}{\tau^2 \mathcal{E} C} = 0}$$

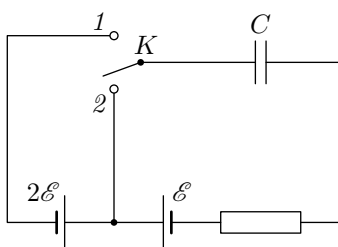


ЗАДАЧА 6. Конденсатор ёмкостью C , заряженный до напряжения $4\mathcal{E}$, разряжается через резистор с большим сопротивлением R и батарею с ЭДС \mathcal{E} (см. рисунок). Найдите количество теплоты, выделившейся при разрядке конденсатора.

$$\boxed{\frac{\tau}{\tau^2 \mathcal{E} C} = 0}$$

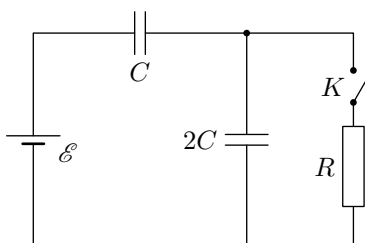


ЗАДАЧА 7. Какое количество теплоты выделится в цепи при переключении ключа K из положения 1 в положение 2 (см. рисунок)?



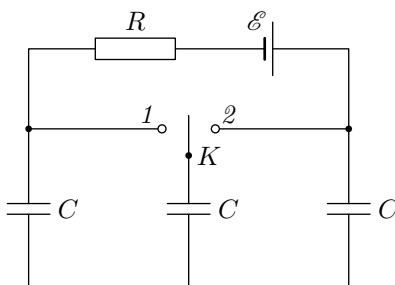
$$\boxed{\tau^2 \mathcal{E} C = 0}$$

ЗАДАЧА 8. Какое количество теплоты выделится на резисторе R после замыкания ключа K (см. рисунок)? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



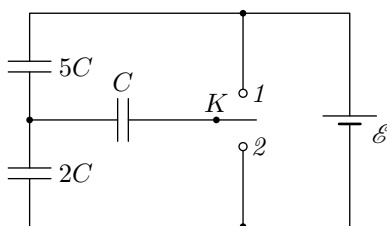
$$\frac{9}{2^2 C} = \varnothing$$

ЗАДАЧА 9. Какое количество теплоты выделится в цепи при переключении ключа K из положения 1 в положение 2 (см. рисунок)?



$$\frac{\mathcal{E}}{2^2 C} = \varnothing$$

ЗАДАЧА 10. Какое количество теплоты выделится в цепи при переключении ключа K из положения 1 в положение 2 (см. рисунок)?



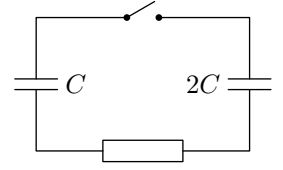
$$\frac{9\mathcal{E}}{2^2 C} = \varnothing$$

ЗАДАЧА 11. Между обкладками плоского конденсатора расположена диэлектрическая пластина ($\varepsilon = 3$), заполняющая весь объём конденсатора. Конденсатор через последовательно соединённый резистор подключён к батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 100$ В. Пластину быстро удаляют так, что заряд на конденсаторе не успевает измениться. Какая энергия выделится после этого в цепи в виде теплоты? Ёмкость незаполненного конденсатора $C_0 = 100$ мкФ.

$$\frac{9\mathcal{E}}{2^2 C} = \varnothing$$

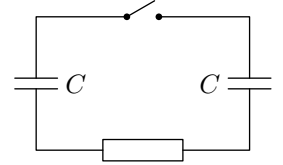
1 МФТИ и «Физтех»

ЗАДАЧА 12. («Физтех», 2008) В цепи, показанной на рисунке, ёмкости конденсаторов равны C и $2C$. Конденсатор ёмкостью C заряжен до напряжения U_0 , конденсатор ёмкостью $2C$ не заряжен. Какое количество теплоты выделится в резисторе после замыкания ключа?



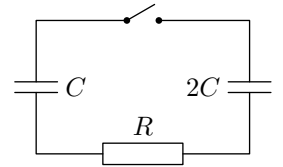
$$\frac{\varepsilon}{\rho \Omega \mathcal{D}} = \partial$$

ЗАДАЧА 13. («Физтех», 2008) В цепи, показанной на рисунке, ёмкость каждого конденсатора равна C . Левый конденсатор заряжен до напряжения U_0 , а правый — до напряжения $3U_0$. У обоих конденсаторов положительный заряд находится на верхней обкладке. Найдите U_0 , если известно, что в резисторе после замыкания ключа выделилось количество теплоты Q .



$$\frac{\partial}{\partial} \Lambda = {}^0 \Omega$$

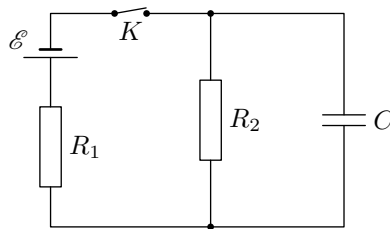
ЗАДАЧА 14. («Физтех», 2009) В цепи, показанной на рисунке, конденсатор ёмкостью C заряжен до напряжения U_0 , а конденсатор ёмкостью $2C$ — до напряжения $3U_0$. Одноимённо заряженные обкладки соединены резистором с сопротивлением R . Ключ замыкают на некоторое время, а затем размыкают.



- 1) Найдите ток в цепи сразу после замыкания ключа.
- 2) Какое количество теплоты выделилось в цепи, если в момент размыкания ключа ток в цепи был в два раза меньше начального?

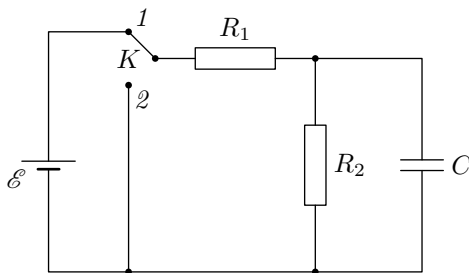
$$\frac{\rho \Omega \mathcal{D}}{\tau} = \partial \left(\tau : \frac{\mathcal{H}}{\rho \Omega \varepsilon} = {}^0 \Gamma \right)$$

ЗАДАЧА 15. (МФТИ, 1995) Какое количество теплоты выделится в схеме (см. рисунок) после размыкания ключа K ? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



$$\left(\frac{\tau \mathcal{H} + \Gamma \mathcal{H}}{\tau} \right) \varepsilon \mathcal{D} \frac{\varepsilon}{\Gamma} = \partial$$

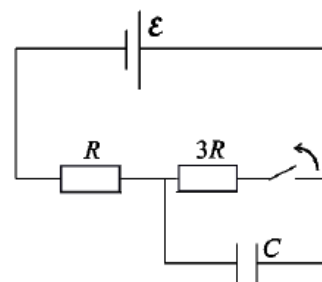
ЗАДАЧА 16. (МФТИ, 1995) Какое количество теплоты выделится на резисторе R_2 в схеме, изображённой на рисунке, после перемещения ключа K из положения 1 в положение 2? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



$$\frac{\mathcal{E}(\tau R_1 + R_2)}{R_1 R_2} \tau \mathcal{Q} = \vartheta$$

ЗАДАЧА 17. («Физтех», 2016, 11) В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы идеальные, их параметры указаны, ключ замкнут, режим установился.

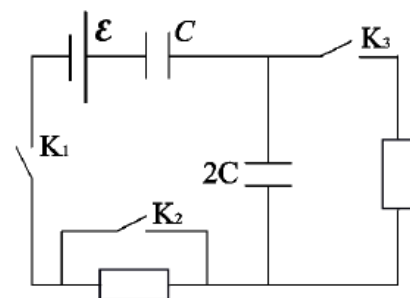
- 1) Найти напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.
- 2) Найти ток через источник сразу после размыкания ключа.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?



$$\tau \mathcal{Q} \frac{\mathcal{E}}{I} = \vartheta \quad (\mathcal{E} : \frac{R}{\rho} = I \quad \tau : \frac{R}{\mathcal{E}} = \Omega \quad I)$$

ЗАДАЧА 18. («Физтех», 2016, 11) В электрической цепи (см. рисунок) все элементы идеальные, их параметры указаны, ключи разомкнуты, конденсаторы не заряжены. Сначала замыкают ключ K_1 . После установления режима в цепи замыкают ключ K_2 . Затем замыкают ключ K_3 и размыкают его, когда напряжение на конденсаторе C становится в 4 раза больше напряжения на конденсаторе $2C$.

- 1) Найти отношение зарядов на конденсаторе $2C$ после размыкания K_3 и перед замыканием K_3 .
- 2) Найти количество теплоты, которое выделится в цепи при замкнутом ключе K_3 .



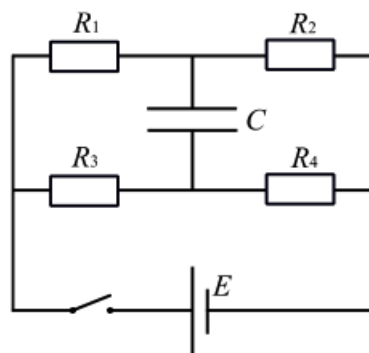
$$\tau \mathcal{Q} \frac{\mathcal{E}}{I} = \vartheta \quad (\tau : \mathcal{E} / I)$$

ЗАДАЧА 19. («Физтех», 2017, 11) В цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы можно считать идеальными, ЭДС батареи E , сопротивления резисторов $R_1 = r$, $R_2 = 4r$, $R_3 = 3r$, $R_4 = 2r$. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ замыкают, а затем через большой промежуток времени ключ размыкают.

1) Найти напряжение U на конденсаторе в установившемся режиме при замкнутом ключе.

2) Найти количество Q теплоты, выделившейся на резисторе R_1 после размыкания ключа.

3) Найти ток I_0 , текущий через конденсатор сразу после замыкания ключа.



$$\frac{U_C}{E} = 0,1 \quad (\varepsilon; z; \mathcal{E} C \frac{0,9z}{3} = \partial (\varepsilon; \mathcal{E} \frac{9}{2} = 0,1) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 20. (МФТИ, 1995) Батарея с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r включена через ключ K в схему, параметры которой указаны на рисунке. В начальный момент времени ключ K разомкнут, конденсаторы не заряжены. Ключ замыкают.

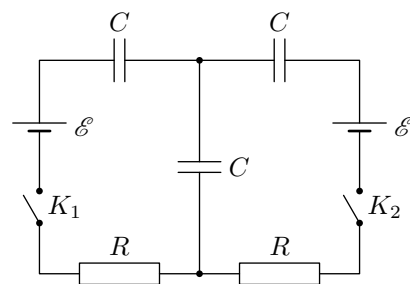
- 1) Определить начальный ток через батарею.
- 2) Какое количество теплоты выделится во всей схеме после замыкания ключа?

$$z \mathcal{E} C + z C + 1 C \frac{\mathcal{E}}{1} = \partial (\varepsilon; \frac{1}{\mathcal{E}} = 0,1) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 21. (МФТИ, 1995) Две батареи с ЭДС \mathcal{E} каждая включены в схему, параметры которой указаны на рисунке. В начальный момент ключи K_1 и K_2 разомкнуты, конденсаторы не заряжены. Ключи одновременно замыкают.

- 1) Найти начальный ток через батарею.
- 2) Какое количество теплоты выделится во всей схеме после замыкания ключей?

Внутренним сопротивлением батарей пренебречь.

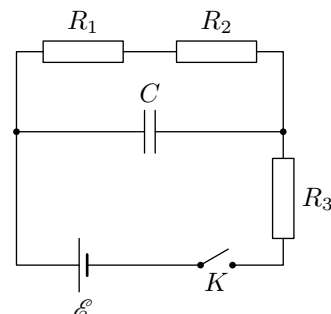


$$z \mathcal{E} C \frac{\mathcal{E}}{1} = \partial (\varepsilon; \frac{1}{\mathcal{E}} = 0,1) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 22. (МФТИ, 1997) В электрической схеме (см. рисунок) в начальный момент ключ K замкнут.

- 1) Какое количество тепла выделится в цепи после размыкания ключа?
- 2) Какое количество тепла выделится на резисторах R_1 , R_2 и R_3 ?

Сопротивления R_1 , R_2 , R_3 , ёмкость конденсатора C и ЭДС батареи \mathcal{E} считать заданными. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



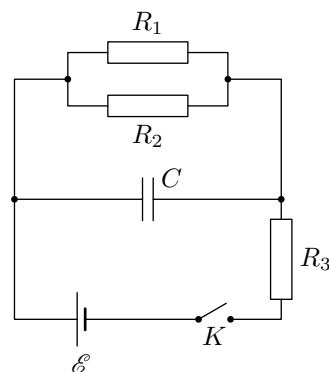
$$0 = \varepsilon \partial, \quad z \frac{(\varepsilon R_1 + z R_2 + 1 R_3) \frac{z}{z \mathcal{E} C}}{(z R_1 + R_2)} = z \partial, \quad z \frac{(\varepsilon R_1 + R_2 + 1 R_3) \frac{z}{z \mathcal{E} C}}{(z R_1 + R_2)} = 1 \partial (\varepsilon; \frac{z (\varepsilon R_1 + R_2 + 1 R_3) \frac{z}{z \mathcal{E} C}}{(z R_1 + R_2)} = \partial) \quad (1)$$

Задача 23. (МФТИ, 1997) В электрической схеме (см. рисунок) в начальный момент ключ K замкнут. После размыкания ключа на резисторе R_1 выделяется тепло Q_1 .

- 1) Какое количество тепла выделится на резисторе R_2 ?
- 2) Чему равна ЭДС батареи \mathcal{E} ?

Сопротивления R_1, R_2, R_3 и ёмкость конденсатора C известны.

$$\frac{\varepsilon_H}{\varepsilon_H + 1_H} \frac{\rho}{1 \partial \varepsilon} \wedge \frac{\varepsilon_H 1_H}{\varepsilon_H \varepsilon_H + \varepsilon_H 1_H + \varepsilon_H 1_H} = \rho (\varepsilon : \frac{\varepsilon_H}{1_H} 1 \partial = \varepsilon \partial (1$$

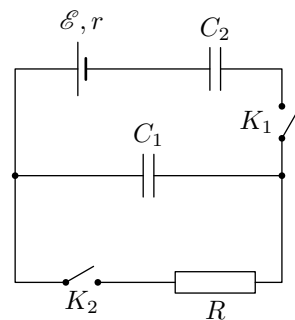


Задача 24. (МФТИ, 1999) В схеме, изображённой на рисунке, при разомкнутых ключах K_1 и K_2 конденсаторы с ёмкостями C_1 и C_2 не заряжены. ЭДС батареи \mathcal{E} , внутреннее сопротивление — r . Сначала замыкают ключ K_1 , а после установления стационарного состояния в схеме замыкают ключ K_2 .

- 1) Чему равен ток через батарею сразу после замыкания ключа K_1 ?

- 2) Какое количество теплоты выделится во всей схеме после замыкания ключа K_2 ?

$$\frac{(\varepsilon \rho + 1 \rho) \varepsilon}{\varepsilon \rho \varepsilon \rho} = \partial (\varepsilon : \frac{\rho}{\varepsilon} = 0 \Gamma (1$$

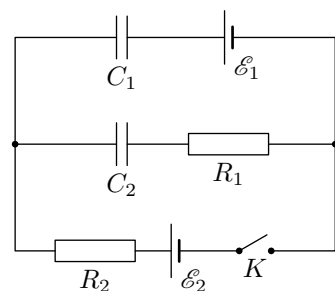


Задача 25. (МФТИ, 2003) В электрической схеме, представленной на рисунке, ключ K разомкнут. ЭДС батарей равны \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 . Ёмкости конденсаторов — $C_1 = C_2 = C$.

- 1) Найти заряд, протекший через батарею с ЭДС \mathcal{E}_2 после замыкания ключа K .

- 2) Какое количество теплоты выделится в цепи после замыкания ключа K ?

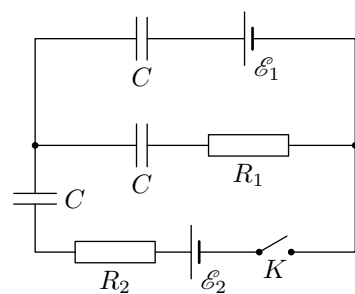
$$\varepsilon (1 \rho - \varepsilon \rho \varepsilon) \rho \frac{\rho}{1} = \partial (\varepsilon : (1 \rho - \varepsilon \rho \varepsilon) \rho = b (1$$



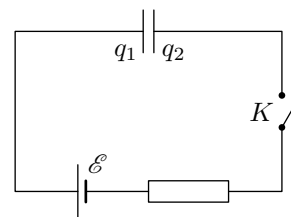
Задача 26. (МФТИ, 2003) В электрической схеме, представленной на рисунке, ключ K разомкнут. ЭДС батарей связаны условием $\mathcal{E}_1 \neq 2\mathcal{E}_2$. После замыкания ключа K батарея с ЭДС \mathcal{E}_1 совершила работу A .

- 1) Найти ёмкости конденсаторов C .
- 2) Найти работу батареи с ЭДС \mathcal{E}_2 после замыкания ключа K .

$$\frac{1 \rho}{\varepsilon} \rho \varepsilon = A' (\varepsilon : \frac{(\varepsilon \rho \varepsilon - 1 \rho) 1 \rho}{9} = \rho (1$$



Задача 27. (МФТИ, 2004) В схеме, представленной на рисунке, две одинаковые проводящие пластины с площадью S расположены на малом расстоянии d . Пластины положительно заряжены: на левой — заряд q_1 , на правой — заряд q_2 . Ключ K замыкают.



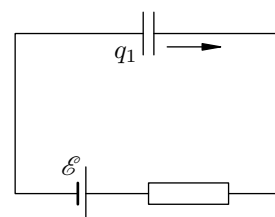
1) Найти заряды на пластинах после установления равновесного состояния.

2) Какое количество теплоты выделится в цепи после замыкания ключа K ?

ЭДС батареи равна \mathcal{E} . Считать, что до и после замыкания ключа заряды (по модулю) проводов, резистора и источника пренебрежимо малы.

$$\frac{pS^0 \varepsilon \varepsilon}{z((1b - zb)p + \mathcal{E}S^0 \varepsilon z)} = \mathcal{D} \left(z : \frac{p}{\mathcal{E}S^0 \varepsilon} - \frac{z}{zb + 1b} = zb : \frac{p}{\mathcal{E}S^0 \varepsilon} + \frac{z}{zb + 1b} = 1b \right) (1)$$

Задача 28. (МФТИ, 2004) В схеме, представленной на рисунке, батарея с постоянной ЭДС \mathcal{E} подключена через резистор к двум одинаковым проводящим пластинам площадью S и малым расстоянием d между ними. Обе пластины положительно заряжены, причём на левой пластине находится заряд q_1 , а на правой — некоторый неизвестный заряд. Правую пластину быстро смещают на расстояние d вправо (заряды пластин за время перемещения не изменяются).



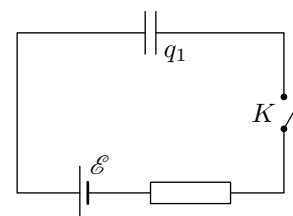
1) Найти заряды пластин после установления равновесия.

2) Какое количество теплоты выделится в цепи после перемещения пластины к моменту установления равновесного состояния?

Считать, что до и после смещения пластины заряды (по модулю) проводов, резистора и источника пренебрежимо малы.

$$\frac{pV}{z \mathcal{E} S^0 \varepsilon} = \mathcal{D} \left(z : \frac{pZ}{\mathcal{E} S^0 \varepsilon} + 1b = zb : \frac{pZ}{\mathcal{E} S^0 \varepsilon} + 1b = 1b \right) (1)$$

Задача 29. (МФТИ, 2004) В электрической схеме, представленной на рисунке, две одинаковые проводящие пластины с площадью S расположены на малом расстоянии d друг от друга. Обе пластины заряжены, причём на правой находится положительный заряд q_1 . Ключ K замыкают.



1) Найти начальный заряд левой пластины, если после замыкания ключа K батарея совершила работу A .

2) Какое количество теплоты выделилось в цепи после замыкания ключа K ?

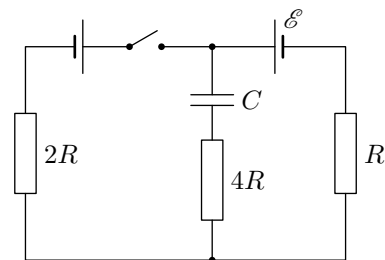
ЭДС батареи равна \mathcal{E} . Считать, что до и после замыкания ключа заряды (по модулю) проводов, резистора и источника пренебрежимо малы.

$$\frac{z \mathcal{E} S^0 \varepsilon}{p z V} = \mathcal{D} \left(z : \frac{p}{\mathcal{E} S^0 \varepsilon} + \frac{\mathcal{E}}{V z} - 1b = zb \right) (1)$$

Задача 30. («Физтех», 2013) В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, известные параметры элементов указаны на рисунке, неизвестная ЭДС больше \mathcal{E} . Ключ замыкают и ждут установления стационарного режима. Затем ключ размыкают, после чего в схеме выделяется количество теплоты, равное $\frac{1}{72}C\mathcal{E}^2$.

1) Какое количество теплоты выделилось в резисторе $4R$ после размыкания ключа?

2) Найдите силу тока, протекавшего в схеме в стационарном режиме.

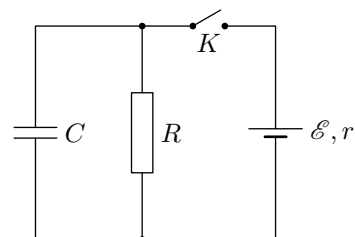


$$\frac{\partial Q}{\partial \mathcal{E}} = I \left(r + \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial I} \right) = \mathcal{E} \left(\frac{\partial I}{\partial \mathcal{E}} + I \right)$$

Задача 31. (МФТИ, 2008) Электрическая цепь состоит из батарейки с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r , конденсатора ёмкостью C и резистора сопротивлением $R = 4r$ (см. рисунок). Ключ K на некоторое время замыкают, а затем размыкают. После размыкания ключа в схеме выделилось количество теплоты Q .

1) Найдите ток, текущий через источник непосредственно перед размыканием ключа.

2) Найдите ток, текущий через конденсатор в этот же момент.

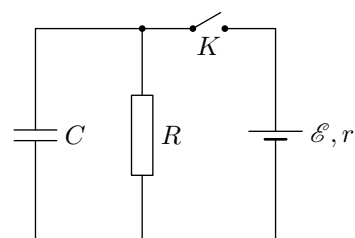


$$\frac{\partial Q}{\partial \mathcal{E}} = \mathcal{E} \left(\frac{\partial I}{\partial \mathcal{E}} + I \right) = \mathcal{E} \left(\frac{\partial I}{\partial \mathcal{E}} + I \right)$$

Задача 32. (МФТИ, 2008) Электрическая цепь состоит из батарейки с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r , конденсатора ёмкостью C и резистора сопротивлением $R = 5r$ (см. рисунок). Ключ K замыкают, а затем размыкают в момент, когда токи через конденсатор и резистор сравниваются по величине.

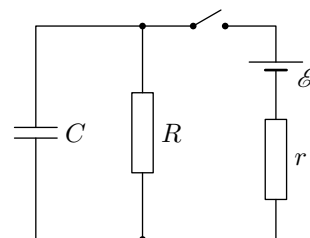
1) Какую мгновенную мощность развивает источник непосредственно перед размыканием ключа?

2) Какое количество теплоты выделится в схеме после размыкания ключа?



$$\frac{\partial Q}{\partial \mathcal{E}} = \mathcal{E} \left(\frac{\partial I}{\partial \mathcal{E}} + I \right) = \mathcal{E} \left(\frac{\partial I}{\partial \mathcal{E}} + I \right)$$

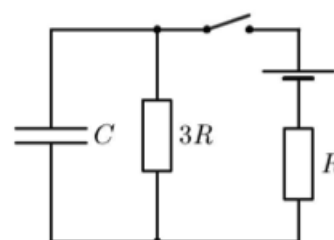
Задача 33. («Физтех», 2011) В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ замыкают на некоторое время, а затем размыкают. Оказалось, что величина тока через конденсатор непосредственно перед размыканием ключа в три раза больше, чем сразу после размыкания.



- 1) Найдите ток через конденсатор сразу после замыкания ключа.
- 2) Найдите напряжение на конденсаторе сразу после размыкания ключа.
- 3) Какое количество теплоты выделилось в цепи после размыкания ключа?

$$\left(\frac{4r+R}{rR}\right) \frac{\varepsilon}{C} = \varnothing (\varepsilon ; \frac{4r+R}{rR} = \varnothing \Omega (\tau ; \frac{r}{R} = \varnothing \Omega I$$

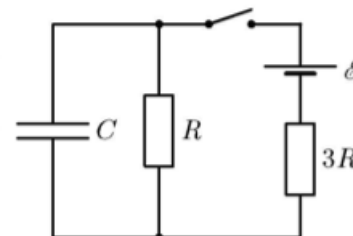
Задача 34. («Физтех», 2015, 11) В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы идеальные, их параметры указаны. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ на некоторое время замыкают, а затем размыкают. Сразу после замыкания ключа ток через конденсатор равен I_0 . Сразу после размыкания ключа ток через конденсатор равен $I_0/5$.



- 1) Найдите ЭДС источника.
- 2) Найдите количество теплоты, которое выделится в цепи после размыкания ключа.
- 3) Найдите ток, текущий через источник непосредственно перед размыканием ключа.

$$I_0 \frac{\varepsilon}{2} = I (\varepsilon ; 5I_0 \frac{\varepsilon}{6} = \varnothing (\tau ; 5I_0 = \varnothing I$$

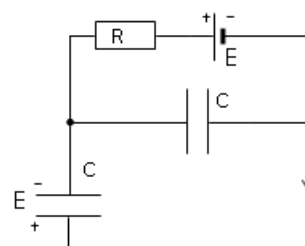
Задача 35. («Физтех», 2015, 11) В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы идеальные, их параметры указаны. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ на некоторое время замыкают, а затем размыкают. За время, пока ключ был замкнут, через резистор R протёк заряд q_0 . После размыкания ключа через тот же резистор протёк заряд $q_0/2$.



- 1) Найдите ток через источник сразу после замыкания ключа.
- 2) Найдите количество теплоты, которое выделилось в цепи после размыкания ключа.
- 3) Найдите количество теплоты, которое выделилось в цепи при замкнутом ключе.

$$\frac{\varnothing \varepsilon}{\varnothing b} - \varnothing \varnothing \frac{\varepsilon}{\varepsilon} = \tau \varnothing (\varepsilon ; \frac{\varnothing \varepsilon}{\varnothing b} = \tau \varnothing (\tau ; \frac{\varnothing \varepsilon}{\varnothing} = \varnothing I$$

Задача 36. («Физтех», 2014, 11) Определите количество теплоты, которое выделится на резисторе после замыкания ключа. Изначально конденсатор в ветви ключа заряжен до напряжения E в полярности, указанной на рисунке. ЭДС источника $E = 50$ В. Ёмкости $C = 10$ мкФ. Источник идеальный.



$$25 \text{ мДж}$$

2 «Курчатов»

ЗАДАЧА 37. («Курчатов», 2014, 10) Плоский конденсатор ёмкостью $C = 22$ пФ, резистор с сопротивлением $R = 10$ МОм и идеальный источник напряжения номиналом $U = 100$ В соединены последовательно. Расстояние между обкладками быстро уменьшают в $n = 2$ раза. Найдите тепло Q , которое выделится после этого на резисторе.

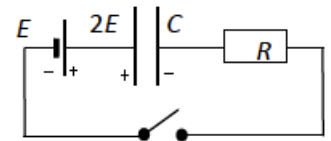
$$Q = \frac{U^2 C}{2} \left(\frac{1}{n} - 1 \right) = 0$$

3 Всероссийская олимпиада школьников по физике

ЗАДАЧА 38. (Всеросс., 2018, ШЭ, 11) Всё пространство между обкладками плоского конденсатора занимает непроводящая пластина с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$. Этот конденсатор через резистор с большим сопротивлением подключён к батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 100$ В. Пластину быстро вынимают так, что заряды пластин конденсатора за время удаления пластины не успевают измениться. Определите, какую минимальную работу необходимо совершить для такого удаления пластины. Какое количество теплоты выделится в цепи к моменту, когда система придёт в новое равновесное состояние? Электрическая ёмкость незаполненного конденсатора $C_0 = 100$ мкФ.

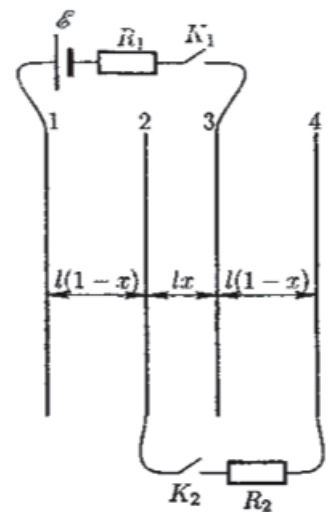
$$Q = \frac{C_0 \mathcal{E}^2}{2} (1 - \varepsilon) = 0; \quad W = \frac{C_0 \mathcal{E}^2}{2} (1 - \varepsilon) = V$$

ЗАДАЧА 39. (Всеросс., 2017, МЭ, 11) Электрическая цепь состоит из соединённых последовательно идеального источника напряжения с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В, резистора, разомкнутого ключа и заряженного до напряжения $2\mathcal{E}$ конденсатора (полярность указана на схеме). Ключ замыкают. Определите напряжение U на конденсаторе в тот момент, когда количество теплоты, выделившееся в резисторе, окажется в 3 раза меньше энергии, оставшейся в конденсаторе.



$$U = \frac{\mathcal{E}}{3} = 4$$

ЗАДАЧА 40. (Всеросс., 2006, ОЭ, 10) Четыре пластины 1, 2, 3 и 4 площадью S расположены параллельно друг другу на расстояниях $(1-x)l$, xl и $(1-x)l$, малых по сравнению с размерами пластин (рис.). К пластинам 1 и 3 подключена батарейка с ЭДС \mathcal{E} , резистор R_1 и ключ K_1 , к пластинам 2 и 4 — ключ K_2 и резистор R_2 . В начальный момент времени ключи разомкнуты, пластины не заряжены.



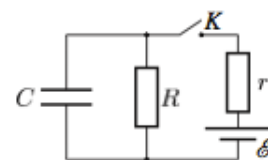
1) Ключ K_1 замыкают. Какими будут заряды на пластинах после установления равновесия? Какое количество теплоты Q_0 выделится на резисторе R_1 ?

2) После установления равновесия замыкают ключ K_2 . Найдите установившиеся заряды на пластинах и суммарное количество теплоты Q , которое выделится на резисторах R_1 и R_2 после замыкания ключа K_2 .

$$\frac{U^2 C}{2} \frac{x-1}{x} = 0; \quad \frac{U^2 C (x-1)}{2 S^2 x} = 0; \quad \frac{U^2 C (x-1)}{2 S^2 x} = 0; \quad \left(\frac{U^2 C}{2 S^2 x} = 0 \right) \left(\frac{1}{S^2 x} = 0 \right)$$

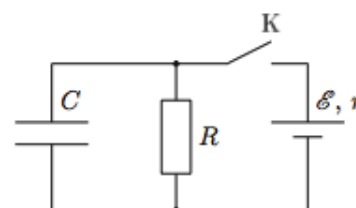
ЗАДАЧА 41. (Всеросс., 2010, РЭ, 11) Электрическая схема (см. рисунок) состоит из источника постоянного тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r , конденсатора ёмкостью C и резистора R . В начальный момент конденсатор не заряжен.

Ключ K в схеме сначала замыкают, а затем размыкают в тот момент, когда скорость изменения энергии, запасённой в конденсаторе, достигает максимума. Какое количество теплоты выделится в схеме после размыкания ключа?



$$\int_0^{\infty} \left(\frac{dW}{dt} \right) dt = 0$$

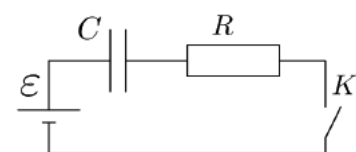
ЗАДАЧА 42. (Всеросс., 2013, РЭ, 11) Электрическая цепь (см. рисунок) состоит из конденсатора ёмкостью $C = 125 \text{ мкФ}$, резистора R , сопротивление которого неизвестно, источника постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 70 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = R/2$. Вначале конденсатор не заряжен, ток отсутствует. Ключ K замыкают и через некоторое время размыкают. Оказалось, что сразу после размыкания ключа сила тока, текущего через конденсатор, в два раза больше силы тока, текущего через конденсатор непосредственно перед размыканием ключа. Найдите количество теплоты, которое выделилось в цепи после размыкания ключа K .



$$\int_0^{\infty} I^2 R dt = \int_0^{\infty} I^2 r dt = 0$$

ЗАДАЧА 43. (Всеросс., 2017, РЭ, 11) В электрической цепи (рис.) все элементы можно считать идеальными. Конденсатор ёмкостью C не заряжен. ЭДС батареи задана. Ключ K замыкают, а затем размыкают в тот момент, когда скорость изменения энергии, запасённой в конденсаторе, составляет 75% от максимальной.

Найдите количество теплоты, выделившееся в цепи при замкнутом ключе.



$$\int_0^{\infty} I^2 R dt = \int_0^{\infty} I^2 r dt = 0$$

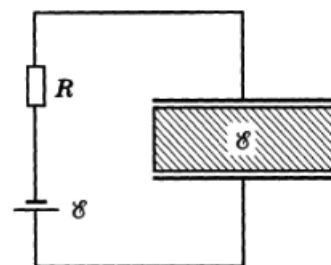
ЗАДАЧА 44. (Всеросс., 1998, финал, 10) В воздушный конденсатор ёмкости C_0 вставлена пластина с диэлектрической проницаемостью ϵ . Диэлектрик заполняет весь объём конденсатора. Конденсатор подключён к батарее с ЭДС \mathcal{E} через резистор R (рис.). Пластину быстро вынимают из конденсатора, так что его начальный заряд не успевает измениться. После этого начинается процесс перезарядки конденсатора. Найдите:

1) механическую работу, совершаемую внешней силой против сил электрического поля при извлечении пластины из конденсатора;

2) изменение электрической энергии конденсатора в процессе перезарядки;

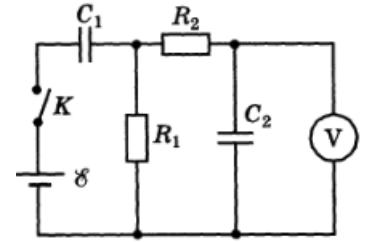
3) работу батареи;

4) количество теплоты, выделившееся на резисторе R .



$$\int_0^{\infty} I^2 R dt = \int_0^{\infty} I^2 r dt = 0$$

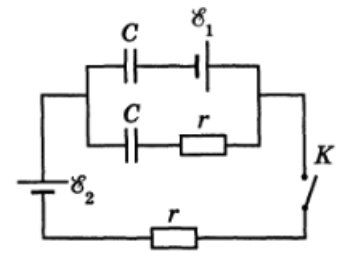
ЗАДАЧА 45. (Всеросс., 1999, финал, 10) На рисунке представлена электрическая цепь, состоящая из батареи с ЭДС \mathcal{E} , конденсаторов ёмкостями C_1 и C_2 , резисторов R_1 и R_2 , ключа K и идеального вольтметра V . После замыкания ключа K оказалось, что в некоторый момент времени максимальное напряжение на конденсаторе C_2 , измеренное вольтметром, равно $\mathcal{E}/2$.



- 1) Определите разность потенциалов на конденсаторе C_1 в этот момент.
- 2) Найдите силу тока через резистор R_1 в этот же момент.
- 3) Определите максимальный заряд на конденсаторе C_1 .
- 4) Вычислите полное количество теплоты, выделившееся в цепи после замыкания ключа K .

$$\frac{C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1}{2} \Rightarrow C_2 = C_1$$

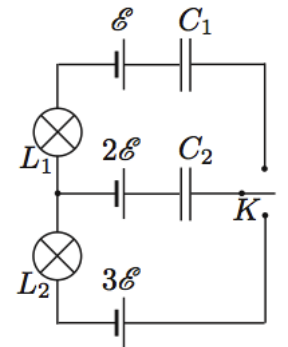
ЗАДАЧА 46. (Всеросс., 2000, финал, 10) В электрической цепи, представленной на рисунке, ключ K разомкнут и токи не текут. Определите:



- 1) силы токов, протекающих через батареи \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 сразу после замыкания ключа K ;
- 2) изменение электростатической энергии ΔW системы после прекращения токов;
- 3) работы A_1 и A_2 батарей \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 за всё время процесса;
- 4) количество теплоты Q , выделившееся на резисторах после замыкания ключа K .

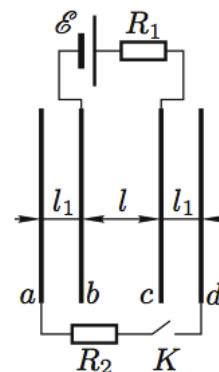
$$\frac{C}{C + 2r} \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_1 \Rightarrow \frac{C}{C + 2r} \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_1 \Rightarrow C = 2r \left(\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} - 1 \right)$$

ЗАДАЧА 47. (Всеросс., 2003, финал, 10) В цепи (рис.) переключатель K находится в среднем (разомкнутом) положении, а конденсаторы C_1 и C_2 одинаковой ёмкости C не заряжены. В некоторый момент переключатель замыкают в одно из положений. После установления равновесия в цепи его перебрасывают в противоположное положение. Найдите отношение Q_{L_1}/Q_{L_2} теплот, выделившихся на лампах накаливания L_1 и L_2 после многократного повторения переключений. Источники тока с ЭДС \mathcal{E} , $2\mathcal{E}$ и $3\mathcal{E}$ считать идеальными.



$$\frac{\mathcal{E}}{2} \text{ или } \frac{\mathcal{E}}{3}$$

ЗАДАЧА 48. (Всеросс., 2008, финал, 10) Сложный конденсатор состоит из четырёх одинаковых пластин площадью $S = 1 \text{ м}^2$ каждая, расположенных параллельно друг другу (рис.). Расстояние между средними пластинами b и c равно $l = 2 \text{ см}$. Расстояние между пластинами a и b , c и d равно $l_1 = l/2$. Пластины b и c подключены к идеальному источнику напряжения с $\mathcal{E} = 120 \text{ В}$ через резистор R_1 . В начальном состоянии ключ K разомкнут.



1) Нарисуйте эквивалентную схему сложного конденсатора после замыкания ключа K и найдите его ёмкость C .

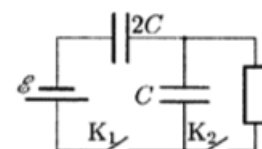
2) Какое количество теплоты Q выделится на резисторах R_1 и R_2 (в сумме) при замыкании ключа K ?

Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

Указание. Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

$$\text{жГЛЖЛ } \tau' \mathcal{E} = \frac{\tau \mathcal{E}}{\mathcal{E} S^0 \mathcal{E}} = \mathcal{E} (\tau' \Phi \text{ н } 68'0 = \frac{l}{\mathcal{E} S^0 \mathcal{E}} = \mathcal{C} (1$$

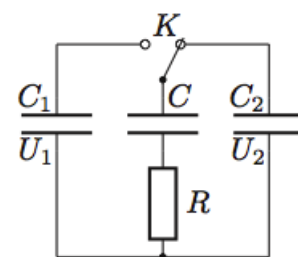
ЗАДАЧА 49. (Всеросс., 2010, финал, 10) 1) В электрической цепи, состоящей из аккумулятора с ЭДС \mathcal{E} , двух конденсаторов с ёмкостями $2C$ и C и резистора с некоторым сопротивлением (рис.), замыкают ключ K_1 . До какого напряжения зарядятся конденсаторы? Внутренним сопротивлением аккумулятора пренебрегите.



2) После того как конденсаторы полностью зарядились, замыкают ключ K_2 и размыкают его тогда, когда сила тока через аккумулятор уменьшается в два раза по сравнению с силой тока через него сразу после замыкания ключа K_2 . Найдите количество теплоты Q , выделившееся в цепи за время, прошедшее с момента замыкания ключа K_2 до момента его размыкания.

$$\tau \mathcal{E} \mathcal{C}_1^{\tau} = \mathcal{E} (\tau' \mathcal{E}_1^{\mathcal{E}} = \tau \mathcal{E} \mathcal{E}_2^{\mathcal{E}} = \tau \mathcal{E} (1$$

ЗАДАЧА 50. (Всеросс., 2011, финал, 10) Имеются два заряженных конденсатора с ёмкостями $C_1 = 18 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 19 \text{ мкФ}$. Напряжения на конденсаторах равны соответственно $U_1 = 76 \text{ В}$ и $U_2 = 190 \text{ В}$. Третий конденсатор с неизвестной ёмкостью C подсоединён к конденсатору C_2 (рис.). Ключ K перекидывают из правого положения в левое, а после перезарядки конденсаторов возвращают в исходное положение.

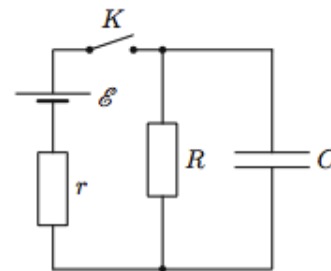


Известно, что после выполнения 44 таких циклов разность напряжений $(U_2 - U_1)_{44}$ составила 1% от первоначальной $(U_2 - U_1)_0$.

- 1) Чему равна ёмкость конденсатора C ?
- 2) Какое напряжение U_{∞} установится на конденсаторах после большого числа циклов?
- 3) Какая тепловая энергия выделится на резисторе R после большого числа циклов?

$$\text{жГЛЖЛ } \tau 9 = U, U^{\infty} \mathcal{E}, U^{\infty} \mathcal{E}, U^{\infty} \mathcal{E} = 62 \text{ мДж}$$

ЗАДАЧА 51. (Всеросс., 2013, финал, 10) В схеме (см. рисунок) все элементы можно считать идеальными. ЭДС источника $\mathcal{E} = 4,0$ В, сопротивления резисторов $r = 50$ кОм, $R = 150$ кОм, ёмкость конденсатора $C = 2,0$ мФ. До замыкания ключа ток в цепи отсутствовал. Ключ замыкают на некоторое время, а затем размыкают. За время, пока ключ был замкнут, в схеме выделилось количество теплоты $Q_1 = 7,43$ мДж, а после размыкания ключа в схеме выделилось количество теплоты $Q_2 = 1,00$ мДж.

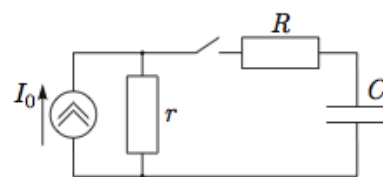


1) Какой заряд протёк через резистор R , пока ключ был замкнут?

2) На какое время замкнули ключ?

$$Q = \frac{\mathcal{E}^2 C}{r} \left(1 - \frac{r}{r+R} \right) = 7,43 \text{ мДж} \quad (1)$$

ЗАДАЧА 52. (Всеросс., 2014, финал, 10) Стабилизированный источник тока способен выдавать постоянный ток I_0 независимо от подключённой к нему нагрузки. Источник включён в цепь, показанную на рисунке. Все элементы цепи можно считать идеальными, их параметры указаны на рисунке. До замыкания ключа конденсатор не был заряжен. В некоторый момент времени ключ замкнули. Какое количество теплоты Q выделилось на резисторе R после замыкания ключа?

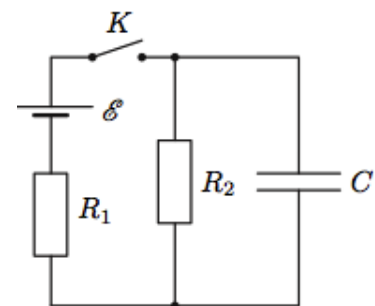


$$Q = \frac{C R I_0^2 r}{2} = 0$$

ЗАДАЧА 53. (Всеросс., 2016, финал, 10) В электрической цепи (см. рисунок) все элементы можно считать идеальными. Вначале конденсатор ёмкостью C не заряжен. Ключ K замыкают, а затем, когда скорость изменения энергии в конденсаторе достигает максимума — размыкают.

1) Найдите мощность N , которую развил источник постоянного напряжения к моменту размыкания ключа.

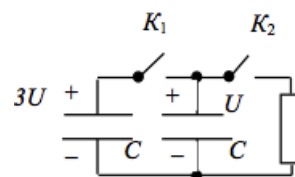
2) Пусть сопротивления резисторов равны $R_1 = R_2 = R$. В этом случае скорость изменения энергии в конденсаторе достигает максимума через время $t_0 = CR \ln \sqrt{2}$ (это время можно найти, решая соответствующее дифференциальное уравнение, которое вам решать не нужно). Определите количество теплоты Q , которое выделится в цепи при замкнутом ключе K .



$$N = \frac{\mathcal{E}^2}{2R_1 + R_2} \left(1 + \ln \frac{2}{\sqrt{2}} \right) = 0 \quad (1)$$

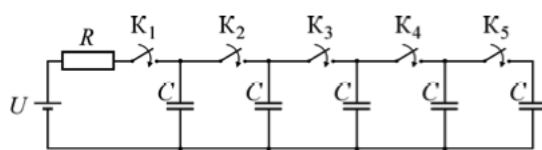
4 Московская олимпиада школьников по физике

Задача 54. (МОШ, 2018, 11) Электрическая цепь состоит из двух конденсаторов ёмкостью C каждый, разомкнутых ключей K_1 и K_2 и резистора (см. рисунок). Один из конденсаторов изначально заряжен до напряжения U , а второй — до напряжения $3U$. Во сколько раз будут отличаться количества теплоты, выделившиеся в резисторе, в зависимости от того, в каком порядке произойдёт замыкание ключей (сначала K_1 , а потом K_2 или сначала K_2 , а затем K_1)? После замыкания каждого ключа проходит достаточно большое время. Сопротивление соединительных проводов значительно меньше сопротивления резистора.



$$\frac{11}{91} = \frac{\varepsilon \varnothing}{r \varnothing}$$

Задача 55. (МОШ, 2014, 10) В цепи, схема которой изображена на рисунке, по очереди замыкают ключи K_1 — K_5 , выжидая каждый раз достаточно длительное время до окончания процессов зарядки конденсаторов. Во сколько раз отличаются количества теплоты, выделившиеся в резисторе R после замыкания ключа K_1 и ключа K_5 ? До его замыкания все остальные ключи уже были замкнуты. Сопротивления всех проводов и источника тока пренебрежимо малы.



В 5 раз

Задача 56. (МОШ, 2017, 11) В электрической цепи, схема которой приведена на рисунке, изначально ключи разомкнуты, а конденсаторы не заряжены. $C = 1$ мкФ, $\mathcal{E} = 2$ В.

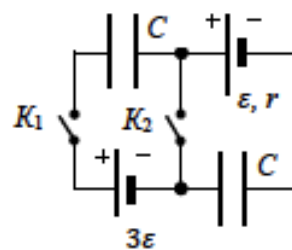
1) Определите напряжения на конденсаторах через большое время после замыкания ключа K_1 .

2) Определите количество теплоты Q , которое выделится на внутреннем сопротивлении источника \mathcal{E} , если через большое время после замыкания ключа K_1 замкнуть ключ K_2 .

3) Определите разность потенциалов на контактах ключа K_2 перед его замыканием.

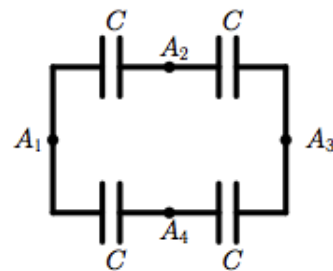
4) Определите величину заряда, протекшего через ключ K_2 после его замыкания.

Внутренним сопротивлением источника $3\mathcal{E}$ можно пренебречь.



$$(1) U_1 = U_2 = \mathcal{E} = 2 \text{ В}; (2) Q = 2C\mathcal{E}^2 = 8 \text{ мкДж}; (3) U - 3\mathcal{E} = U_1 - 4 \text{ В}; (4) q = 4C\mathcal{E} = 8 \text{ мкКл}$$

Задача 57. (МОШ, 2015, 11) На рисунке изображена схема электрической цепи, составленной из четырёх первоначально незаряженных конденсаторов ёмкости C . Сначала к точкам A_1 и A_3 подключили батарейку с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r . Когда ток через батарейку стал пренебрежимо малым, батарейку отключили, а к точкам A_1 и A_2 подключили резистор R , который также отключили, когда ток через него стал пренебрежимо мал. Найдите электрические заряды на каждой из пластин конденсаторов:



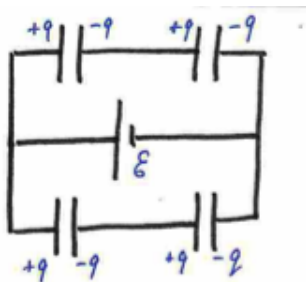
- (а) после отключения батарейки;
- (б) после отключения резистора.
- (в) Каким был максимальный электрический ток через резистор в данном процессе?
- (г) Какое количество теплоты выделилось на резисторе?

Получите ответы в виде общих формул и в частном случае $\mathcal{E} = 6$ В, $r = 1$ Ом, $C = 1$ мФ, $R = 1$ кОм.

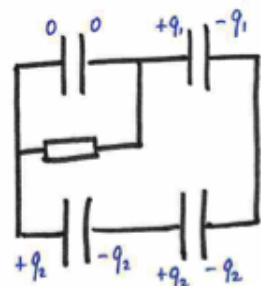
См. конец листка

Ответ к задаче 57

(а) $q = C\mathcal{E}/2 = 3$ мкКл (см. рисунок).



(б) $q_1 = 2C\mathcal{E}/3 = 4$ мкКл, $q_2 = C\mathcal{E}/3 = 2$ мкКл (см. рисунок).



(в) $I_{\max} = \frac{\mathcal{E}}{2R} = 3$ мА.

(г) $Q = \frac{C\mathcal{E}^2}{6} = 6$ мДж.