

## Соединения конденсаторов

### Содержание

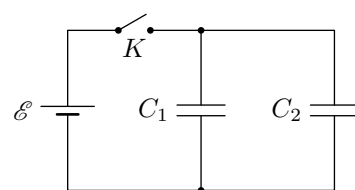
1	Всероссийская олимпиада школьников по физике . . . . .	3
2	Московская олимпиада школьников по физике . . . . .	4
3	МФТИ и «Физтех» . . . . .	4
4	«Росатом» . . . . .	6

ЗАДАЧА 1. Конденсатор ёмкостью  $C$  заряжен до напряжения  $U$ . Конденсатор ёмкостью  $2C$  заряжен до напряжения  $3U$ . Обкладки первого конденсатора соединяют с обкладками второго. Найдите напряжение, которое установится на конденсаторах, если

- 1) соединены одноимённо заряженные обкладки;
- 2) соединены разноимённо заряженные обкладки.

$$\Omega \frac{\varepsilon}{\varepsilon} = \Omega \quad (\tau : \Omega \frac{\varepsilon}{\varepsilon} = \Omega \quad \Gamma)$$

ЗАДАЧА 2. Два конденсатора ёмкостями  $C_1$  и  $C_2$  соединены параллельно и подключены через ключ  $K$  к источнику постоянного тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  (см. рисунок). Вначале ключ разомкнут и конденсаторы не заряжены. Ключ замыкают.



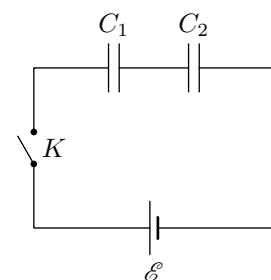
1) Какие заряды установились на конденсаторах после замыкания ключа?

- 2) Какой заряд прошёл через источник?
- 3) Чему равна ёмкость данной системы конденсаторов?

*Примечание.* Если на систему конденсаторов подано напряжение  $U$  и при этом через источник прошёл заряд  $q$ , то ёмкостью системы конденсаторов называется величина  $C = q/U$ .

$$\tau C + \Gamma C = \mathcal{D} \quad (\varepsilon : \mathcal{D} (\tau C + \Gamma C) = b \quad (\tau : \mathcal{D} \tau C = \tau b \quad \mathcal{D} \Gamma C = \Gamma b \quad \Gamma)$$

ЗАДАЧА 3. Два конденсатора ёмкостями  $C_1$  и  $C_2$  соединены последовательно и подключены через ключ  $K$  к источнику постоянного тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  (см. рисунок). Вначале ключ разомкнут и конденсаторы не заряжены. Ключ замыкают.

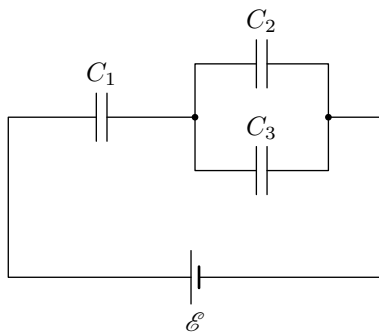


1) Какие заряды установились на конденсаторах после замыкания ключа?

- 2) Какой заряд  $q$  прошёл через источник?
- 3) Чему равна ёмкость данной системы конденсаторов?

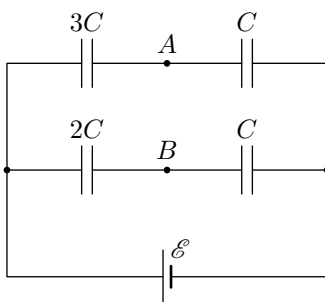
$$\frac{\tau C + \Gamma C}{\tau \Gamma C} = \mathcal{D} \quad (\mathcal{D} : \mathcal{D} \frac{\tau C + \Gamma C}{\tau \Gamma C} = b = \tau b = \Gamma b$$

ЗАДАЧА 4. Найдите заряд каждого из конденсаторов. Параметры схемы указаны на рисунке.



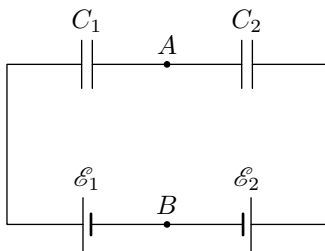
$$\frac{\varepsilon C_2 + \varepsilon C_3 + \varepsilon C_1}{\varepsilon C_1 C_2 C_3} = \varepsilon b ; \frac{\varepsilon C_2 + \varepsilon C_3 + \varepsilon C_1}{\varepsilon C_1 C_2} = \varepsilon b ; \frac{\varepsilon C_2 + \varepsilon C_3 + \varepsilon C_1}{(\varepsilon C_2 + \varepsilon C_3) C_1} = \varepsilon b$$

ЗАДАЧА 5. В схеме, изображённой на рисунке, найдите разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$ .



$$\frac{\varepsilon C}{\varepsilon} = \varphi_A - \varphi_B$$

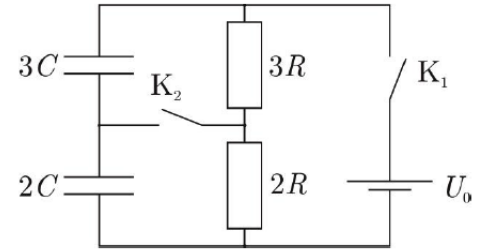
ЗАДАЧА 6. В схеме, изображённой на рисунке, найдите разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$ .



$$\frac{\varepsilon_2 C_2 + \varepsilon_1 C_1}{\varepsilon_1 \varepsilon_2 C_1 C_2} = \varphi_A - \varphi_B$$

# 1 Всероссийская олимпиада школьников по физике

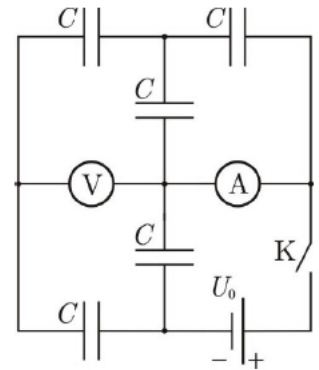
ЗАДАЧА 7. (Всеросс., 2016, ШЭ, 11) В цепи, схема которой показана на рисунке, в начальный момент времени конденсаторы не заряжены, а ключи разомкнуты. Сначала замыкают ключ  $K_1$ , а затем спустя некоторое время замыкают ключ  $K_2$ , после чего ждут достаточно долго. Определите, какой заряд в результате протёк через ключ  $K_2$ . Все параметры, указанные на схеме, известны. Источник напряжения идеальный.



$$q_{K_2} = b$$

ЗАДАЧА 8. (Всеросс., 2016, МЭ, 11) На рисунке изображена схема электрической цепи, состоящей из источника постоянного напряжения  $U_0$ , конденсаторов ёмкостью  $C$ , идеального вольтметра и идеального амперметра. В начальный момент времени ключ  $K$  разомкнут, а конденсаторы не заряжены. Ключ  $K$  замыкают и ждут до зарядки конденсаторов. Определите, чему будут равны следующие величины:

- 1) показания вольтметра  $U_V$ ;
- 2) заряд  $q$ , который протёк через амперметр;
- 3) суммарная энергия  $W$ , которая запасена во всех конденсаторах.

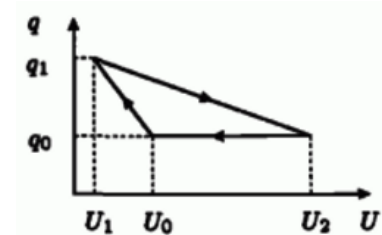
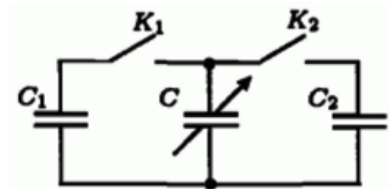


$$U_V = \frac{U_0}{2}, \quad q = \frac{C U_0}{2}, \quad W = \frac{C U_0^2}{4}$$

ЗАДАЧА 9. (Всеросс., 2003, ОЭ, 10) Из конденсатора переменной ёмкости  $C$  и конденсаторов постоянных ёмкостей  $C_1$  и  $C_2$  собрана цепь (рис. сверху). Производятся следующие действия:

- 1) Замыкают ключ  $K_1$  и изменяют ёмкость конденсатора  $C$ .
- 2) Размыкают ключ  $K_1$ , замыкают ключ  $K_2$  и изменяют ёмкость конденсатора  $C$ .
- 3) Размыкают ключ  $K_2$  и изменяют ёмкость конденсатора  $C$ .

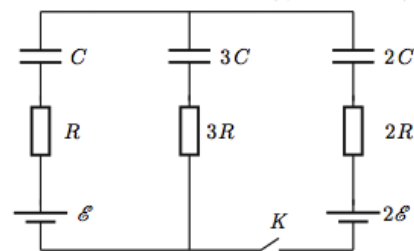
На графике (рис. снизу) изображена зависимость заряда  $q$  на конденсаторе  $C$  от разности потенциалов  $U$  на нём. Начальные заряд и разность потенциалов на этом конденсаторе  $q_0$  и  $U_0$ , промежуточные  $q_1$  и  $U_1$ ,  $q_2 = q_0$  и  $U_2$  известны. Найдите ёмкости конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ , начальные и конечные разности потенциалов на них, а также изменение энергии системы конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$  в описанном процессе.



$$C_1 = \frac{q_0}{U_1 - U_0}, \quad C_2 = \frac{q_0}{U_2 - U_0}, \quad \Delta W = \frac{C_1 U_0^2}{2} \left( \frac{U_1 - U_0}{U_1} - \frac{U_2 - U_0}{U_2} \right)$$

Задача 10. (Всеросс., 2014, РЭ, 11) Параметры электрической цепи указаны на схеме (см. рисунок). Вначале ключ  $K$  разомкнут.

- 1) Определите напряжение на конденсаторе ёмкостью  $C$ .
- 2) Определите силу тока, который потечёт через резистор сопротивлением  $3R$  сразу после замыкания ключа  $K$ .
- 3) Какое напряжение установится на конденсаторе ёмкостью  $C$  после того, как переходные процессы в цепи завершатся?



$$\mathcal{E} \frac{9}{1} = \Omega \quad (\varepsilon : \frac{4\sqrt{3}}{\mathcal{E}} = 0 \text{ I} \quad (\tau : \mathcal{E} \frac{1}{\varepsilon} = 0 \Omega \text{ I})$$

## 2 Московская олимпиада школьников по физике

Задача 11. (МОШ, 2014, 11) Школьник Вася проводит опыты с конденсаторами. Когда Вася подключил цепь из трёх последовательно соединённых конденсаторов к источнику напряжения, он обнаружил, что на первом конденсаторе напряжение составляет 2 В, на втором конденсаторе — 3 В, на третьем конденсаторе — 4 В.

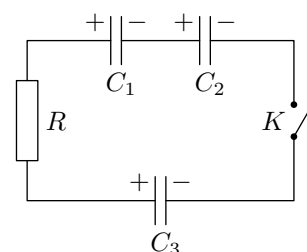
- А) Укажите номер конденсатора с наименьшей электрической ёмкостью.
- В) Школьник Вася разобрал электрическую цепь и подсоединил к батарейке цепь, состоящую из конденсаторов 1 и 2, соединённых последовательно. Каким будет напряжение на конденсаторе 1? Ответ выразите в вольтах и округлите до второй значащей цифры.
- С) Школьник Вася разобрал электрическую цепь и подсоединил к батарейке цепь, состоящую из конденсаторов 1 и 2, соединённых последовательно. Каким будет напряжение на конденсаторе 2? Ответ выразите в вольтах и округлите до второй значащей цифры.
- Д) Школьник Вася разобрал электрическую цепь и подсоединил к батарейке цепь, состоящую из конденсаторов 1 и 2, соединённых параллельно. Каким будет напряжение на конденсаторе 1? Ответ выразите в вольтах и округлите до второй значащей цифры.
- Е) Школьник Вася разобрал электрическую цепь и подсоединил к батарейке цепь, состоящую из конденсаторов 1 и 2, соединённых параллельно. Каким будет напряжение на конденсаторе 2? Ответ выразите в вольтах и округлите до второй значащей цифры.

$$\text{A) } 3; \text{ B) } 3,6; \text{ C) } 5,4; \text{ D) } 9; \text{ E) } 6$$

## 3 МФТИ и «Физтех»

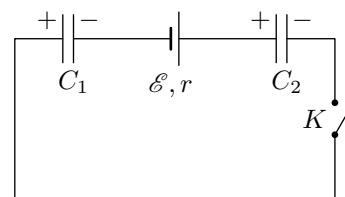
Задача 12. (МФТИ, 1994) Три конденсатора с ёмкостями  $C_1 = C_0$ ,  $C_2 = 2C_0$  и  $C_3 = 3C_0$ , каждый из которых заряжен от батареи с ЭДС  $\mathcal{E}$ , и резистор сопротивлением  $R$  включены в схему, изображённую на рисунке.

- 1) Чему равен ток в цепи сразу после замыкания ключа?
- 2) Какая разность потенциалов установится на конденсаторе  $C_3$ ?



$$\mathcal{E} \frac{11}{\varepsilon} = \varepsilon \Omega \quad (\tau : \frac{4}{\mathcal{E}} = I \text{ I})$$

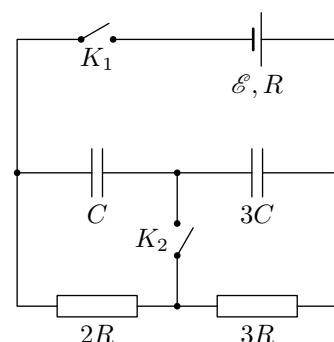
Задача 13. (МФТИ, 1994) В схеме, изображённой на рисунке, при разомкнутом ключе  $K$  конденсатор  $C_1$  ёмкостью  $2C_0$  заряжен до напряжения  $U_1 = 3\mathcal{E}$ , а конденсатор  $C_2$  ёмкостью  $3C_0$  — до напряжения  $U_2 = 4\mathcal{E}$ , где  $\mathcal{E}$  — ЭДС батареи, внутреннее сопротивление которой равно  $r$ .



- 1) Чему будет равен ток в цепи сразу после замыкания ключа  $K$ ?
- 2) Какая разность потенциалов установится на конденсаторе  $C_2$ ?

$$\mathcal{E} = \Omega \left( \tau : \frac{d}{\partial \Omega} = I \right)$$

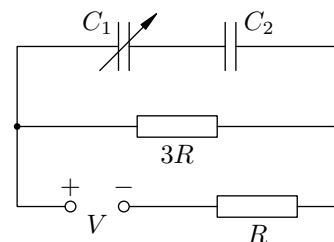
Задача 14. (МФТИ, 1995) В схеме, изображённой на рисунке, ключи  $K_1$  и  $K_2$  разомкнуты, а конденсаторы не заряжены. Ключ  $K_1$  замыкают, оставляя  $K_2$  разомкнутым. В результате на конденсаторе ёмкостью  $C$  устанавливается напряжение  $V_1 = 15$  В.



- 1) Найди ЭДС  $\mathcal{E}$  источника тока.
- 2) Каким станет установившееся напряжение  $V_2$  на конденсаторе ёмкостью  $C$  после замыкания ключа  $K_2$  при замкнутом  $K_1$ ?

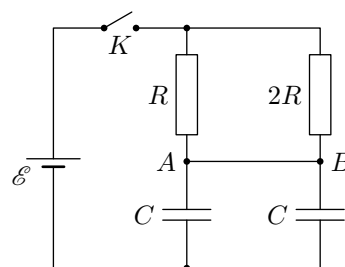
$$\mathcal{E} = 8 \text{ В} \quad V_1 = \frac{15}{8} \mathcal{E} = 8 \text{ В} \quad V_2 = 24 \text{ В} \quad \mathcal{E} = 8 \text{ В} \quad (1)$$

Задача 15. (МФТИ, 1996) На схему (см. рисунок) подано постоянное напряжение  $V = 36$  В. В каких пределах можно изменять напряжение на конденсаторе  $C_1$  при медленных изменениях ёмкости в пределах от  $C/2$  до  $8C$ ? Ёмкость конденсатора  $C_2$  постоянна и равна  $C$ .



$$\mathcal{E} = 18 \text{ В} \quad \mathcal{E} = 3 \text{ В} \quad \mathcal{E} = 18 \text{ В} \quad \mathcal{E} = 3 \text{ В} \quad (1)$$

Задача 16. (МФТИ, 2001) В схеме, изображённой на рисунке, в начальный момент ключ  $K$  разомкнут, а конденсаторы не заряжены. Какой заряд протечёт через перемычку  $AB$  после замыкания ключа  $K$ ? Сопротивлением перемычки пренебrecь. Параметры схемы указаны на рисунке.

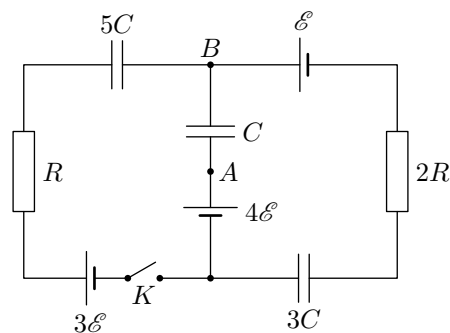


$$\mathcal{E} = b$$

Задача 17. (МФТИ, 2007) В электрической цепи, собранной из резисторов, батарей и первоначально незаряженных конденсаторов, все возникшие после соединения процессы перезарядки закончились. Все элементы можно считать идеальными, их параметры указаны на рисунке.

1) Найдите разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$  в установившемся режиме при разомкнутом ключе  $K$ .

2) Найдите (с указанием направления) ток через резистор с сопротивлением  $R$  сразу после замыкания ключа  $K$ .

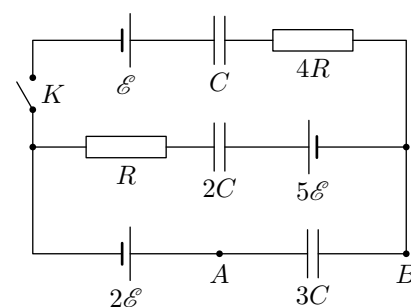


$$\left( \text{хдэая} \right) \frac{\mathcal{U}}{\mathcal{E}} = I \left( \tau : \mathcal{E} \frac{\mathcal{U}}{6} = \mathcal{A} \phi - \nu \phi \right) \text{ (I)}$$

Задача 18. (МФТИ, 2007) В электрической цепи, собранной из резисторов, батарей и первоначально незаряженных конденсаторов, все возникшие после соединения процессы перезарядки закончились. Все элементы можно считать идеальными, их параметры указаны на рисунке.

1) Найдите разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$  в установившемся режиме при разомкнутом ключе  $K$ .

2) Найдите (с указанием направления) ток через резистор с сопротивлением  $4R$  сразу после замыкания ключа  $K$ .

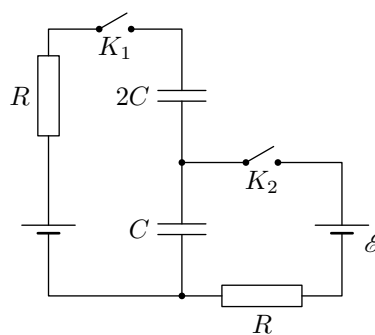


$$\left( \text{эина} \right) \frac{\mathcal{U}}{\mathcal{E}} = I \left( \tau : \mathcal{E} \frac{\mathcal{U}}{4} = \mathcal{A} \phi - \nu \phi \right) \text{ (I)}$$

Задача 19. («Физтех», 2009) В схеме, изображённой на рисунке, в начальный момент конденсаторы не заряжены. Параметры элементов указаны на рисунке. Сначала замыкают ключ  $K_1$  и ждут установившегося режима. Затем замыкают ключ  $K_2$ , причём ток через него сразу после этого оказался равным  $\mathcal{E}/R$  и направленным слева направо.

1) Найдите ЭДС левой батареи.

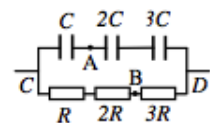
2) Найдите величину заряда, протекшего через ключ  $K_2$  после его замыкания, и укажите направление, в котором протёк заряд.



$$\left( \text{оаядан ааятс} \right) \mathcal{E} \mathcal{C} \left( \tau : \mathcal{E} \right) \text{ (I)}$$

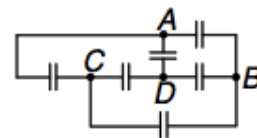
#### 4 «Росатом»

Задача 20. («Росатом», 2012, 11) В схеме, представленной на рисунке, найти разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$  между точками A и B. Разность потенциалов между точками C и D известна:  $\varphi_C - \varphi_D = \Delta\varphi$ , значения сопротивлений и ёмкостей приведены на рисунке.



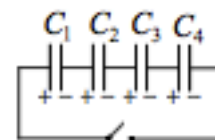
$$\phi \nabla \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{I}} - = \mathcal{A} \phi - \nu \phi$$

ЗАДАЧА 21. («Росатом», 2013, 11) Дана цепь, содержащая 6 конденсаторов. Пять из них одинаковы, а конденсатор между контактами  $C$  и  $D$  имеет вдвое меньшую ёмкость. К какой паре контактов ( $A-B$ ,  $A-C$ ,  $A-D$ ,  $B-C$ ,  $B-D$  или  $C-D$ ) нужно подключить источник напряжения, чтобы хотя бы один из конденсаторов схемы оказался незаряженным? Ответ обосновать.



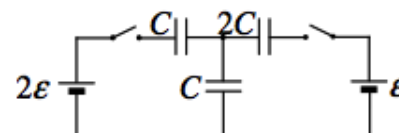
$A-B$  или  $B-D$

ЗАДАЧА 22. («Росатом», 2011, 11) Четыре плоских конденсаторов с ёмкостями  $C_1 = C$ ,  $C_2 = 2C$ ,  $C_3 = 3C$ ,  $C_4 = 4C$  ( $C = 1$  Ф) заряжают до одинакового напряжения  $U = 1$  В каждый. Затем все конденсаторы соединяют последовательно («+» одного с «-» соседнего) в замкнутую цепь так, как показано на рисунке. Чему равен заряд левой пластины конденсатора  $C_1$  после установления равновесия?



$q = 0,92 \frac{q_0}{23} = 1b$

ЗАДАЧА 23. («Росатом», 2012, 10–11) В схеме, изображённой на рисунке, проводят следующий процесс: замыкают правый ключ, а после установления равновесия его размыкают и замыкают левый ключ. Найти напряжение на «среднем» конденсаторе после этого. Чему будет равно напряжение на среднем конденсаторе через очень большое число переключений ключей? Изначально конденсаторы не заряжены. ЭДС источников и ёмкости конденсаторов приведены на рисунке.



$\varphi = \infty \cdot \frac{\varepsilon}{V} = 1\Omega$