

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение  
«Новороссийский казачий кадетский корпус» Краснодарского края

## Мастер-класс

**Тема:** Конденсаторы. Энергия электрического поля. Особенности характеристик заряженного конденсатора. Перезарядка конденсаторов. Движение зарядов в электрическом поле. Закон превращения энергии в R-C-цепочках. Пробой конденсатора.

Учитель физики высшей категории  
ГБОУ НККК Жукова Л. Н.

**Цель:** показать систему работы, оптимизирующей процесс усвоения темы «Конденсаторы», обратить внимание на большое число заданий на соответствие, выбор двух верных утверждений из пяти и высокого уровня по этой теме в КИМах ЕГЭ последних лет.

### **Задачи:**

Систематизировать знания по темам:

- расчёт ёмкости смешанного соединения конденсаторов;
- особенности заряда, разности потенциалов, напряженности электрического поля, энергии заряженного конденсатора, если он заряжен и отключен от источника тока или конденсатор подключен к источнику тока;
- перезарядка конденсатора как результат перемещения заряда в электрических цепях, не содержащих источников ЭДС (под действием кулоновских сил или внутренних сил системы);
- превращение энергии при перезарядке конденсаторов с включением в цепь источника тока (учет работы сторонних сил).

В этом случае

$$A = \Delta W + Q,$$

где  $A = \int \epsilon \Delta q$  – работа сторонних сил,  $\Delta W = W_2 - W_1$  – изменение энергии заряженного конденсатора,  $Q$  – количество теплоты, выделившееся в цепи при перезарядке конденсатора.

Познакомить педагогов с разнообразными видами задач по теме с учетом открытого банка заданий ФИПИ, типовых экзаменационных вариантов под редакцией М. Ю. Демидовой 2019 года (10 вариантов, 30 вариантов и пр.)

Показать практическую значимость применения уровневых заданий по теме для овладения учащимися следующими компетентностями:

**математической** (умение работать с числом, числовой информацией, владение математическими умениями), **коммуникативной** (умение вступать в коммуникацию, быть понятым, непринужденно общаться), **информационной** (владение информационными технологиями, работа со всеми видами информации), **автономизационной** (способностью к саморазвитию, способностью к самоопределению, самообразованию, конкурентоспособности),

Осуществлять дифференцированный подход, **индивидуализацию** обучения (подготовку учащихся к осознанному и ответственному выбору сферы будущей профессиональной деятельности).

Стимулировать творческую активность педагогов.

## Ход мастер-класса:

**Вводная часть.** Изученную в 10 классе тему «Конденсаторы» повторяю на первом уроке физики в 11 классе, систематизируя знания по теме в ходе заполнения следующей таблицы, это ключ к рассуждениям при решении серии задач, приведенных ниже.

### Особенности зарядки конденсатора

Основные величины	Конденсатор подключен к источнику тока	Конденсатор зарядили и отключили от источника тока
Постоянные	 Напряжение постоянно $U = const$	Заряд обкладок постоянен $q = const$
Энергия электрического поля	$W = \frac{CU^2}{2}$	$W = \frac{q^2}{2C}$
Ёмкость конденсатора	$C = \frac{q}{U}$	
Ёмкость плоского конденсатора	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$	
Напряжённость электрического поля	$E = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S}$	
Связь напряжения и напряжённости электрического поля конденсатора	$U = Ed$	

На дом предлагаю заполнить таблицу «Виды и особенности соединения конденсаторов и резисторов» и блок заданий по этим темам.

Систематически предлагаю вниманию учащихся открытые (решённые мною с подробным описанием последовательности решения) задачи по данной теме с целью научить правильно оформлять задачи высокого уровня и увеличения количества задач по данной теме, с решением которых ребята могут справиться дома.

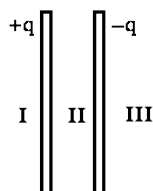
### Основная часть (подборка уровневых тематических заданий):

- Особенности заряда, разности потенциалов, напряженности электрического поля, энергии заряженного конденсатора, если он заряжен и отключен от источника тока или конденсатор подключен к источнику тока.

**а) уровневые тестовые задания** из учебного пособия для подготовки к ЕГЭ по физике (базовый и повышенный уровень) краснодарских авторов Шапошниковой Т. Л., Пивня В. А., Бурцевой Е. Н., Терновой Л. Н. – стр. 78 – 80;

**из открытого банка ФИПИ:**

1) Две очень большие квадратные металлические пластины заряжены до зарядов  $+q$  и  $-q$  (см. рис.). В каких областях пространства напряженность электрического поля, созданного пластинами, равна нулю?



- 1) только в I
- 2) только в II
- 3) только в III
- 4) в I и III

2) Если заряд каждой из обкладок конденсатора увеличить в  $n$  раз, то его емкость

- 1) увеличится в  $n$  раз
- 2) уменьшится в  $n$  раз
- 3) не изменится
- 4) увеличится в  $n^2$  раз

**б) задачи на соответствие** из учебного пособия для подготовки к ЕГЭ по физике (базовый и повышенный уровень) краснодарских авторов Шапошниковой Т. Л., Пивня В. А., Бурцевой Е. Н., Терновой Л. Н. – стр. 167 (№ 1. 2);

**задачи на соответствие из открытого банка ФИПИ:**

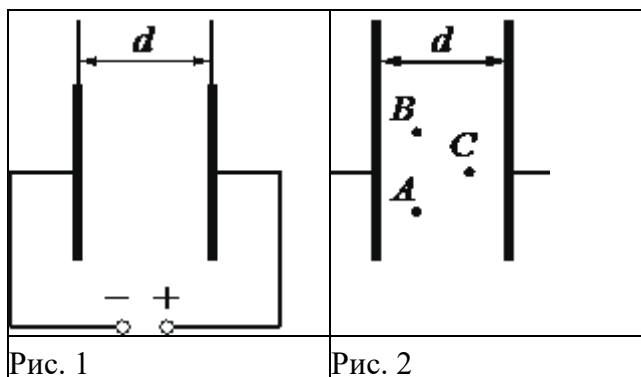
3) Плоский конденсатор с воздушным зазором между обкладками подключён к источнику постоянного напряжения. Как изменятся при увеличении зазора между обкладками конденсатора его емкость и разность потенциалов между ними? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1)	увеличится
2)	уменьшится
3)	не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Ёмкость конденсатора	Разность потенциалов между обкладками конденсатора	Энергия электрического поля заряженного конденсатора

4) Две параллельные металлические пластины больших размеров расположены на расстоянии  $d$  друг от друга и подключены к источнику постоянного напряжения (см. рисунок 1). Пластины закрепили на изолирующих подставках и спустя длительное время отключили от источника (рисунок 2).



Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения.

- 1) Напряжённость электрического поля в точке  $A$  больше, чем в точке  $B$ .
- 2) Потенциал электрического поля в точке  $A$  больше, чем в точке  $C$ .
- 3) Если увеличить расстояние между пластинами  $d$ , то напряжённость электрического поля в точке  $C$  не изменится.
- 4) Если уменьшить расстояние между пластинами  $d$ , то заряд правой пластины не изменится.
- 5) Если пластины полностью погрузить в керосин, то энергия электрического поля конденсатора останется неизменной.

5) В воздушный зазор между пластинами плоского заряженного конденсатора, отключённого от источника напряжения, медленно вдвигают диэлектрическую пластинку. Как изменяются с течением времени ёмкость конденсатора и разность потенциалов между его пластинами? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1)	увеличивается
2)	уменьшается
3)	не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

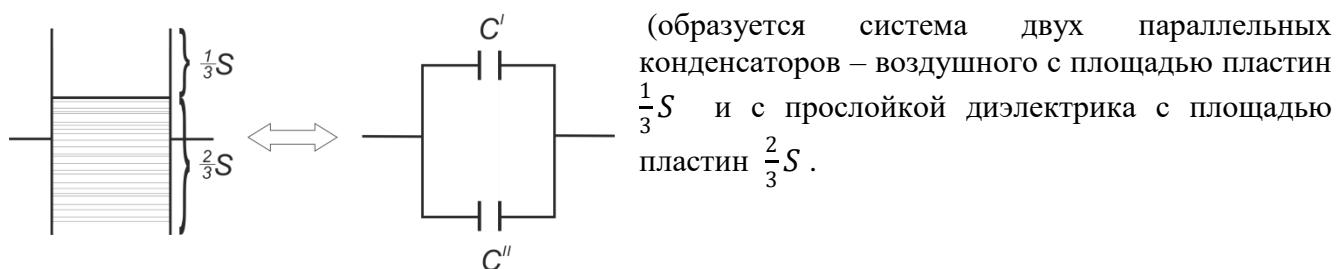
Ёмкость конденсатора	Разность потенциалов между пластинами конденсатора
----------------------	--

**в) задачи высокого уровня (№ 31)**

**1) вариант 4, №31 (10 типовых экзаменационных вариантов, Демидова, 2019)**

Плоский воздушный конденсатор ёмкостью  $C$ , пластины которого расположены вертикально, подключили к источнику с постоянным напряжением  $U$ . Через продолжительное время конденсатор отключили от источника. Во сколько раз изменится энергия, запасённая в конденсаторе, если опустить его пластины на две трети в жидкий диэлектрик с диэлектрической проницаемостью 4?

<p>Дано:</p> <p><math>C_1 = C</math></p> <p><math>U_1 = U</math></p> <p><math>q = const</math></p> <p><math>\varepsilon = 4</math></p> <hr/> <p><math>\frac{W_2}{W_1} = ?</math></p>	<p>Решение:</p> <p>1) Начальная энергия, запасённая конденсатором:</p> $W_1 = \frac{CU^2}{2}; C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}; q = CU$ <p>2) Т.к. <u>конденсатор отключили</u> от источника тока, а потом поместили пластины в жидкий диэлектрик, то при изменении его ёмкости <u>заряд пластин не меняется: <math>q = const</math></u></p>
--	---



$$C_2 = C' + C'' \text{ -общая ёмкость; } C' = \frac{\varepsilon_0 S}{3d}; C'' = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon 2S}{3d}$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{3d} + \frac{2\varepsilon_0 \varepsilon S}{3d} = \frac{\varepsilon_0 S}{d} * \frac{(1 + 2\varepsilon)}{3} = C \frac{1 + 2\varepsilon}{3} = 3C$$

$$q = CU \text{ (заряд не меняется);}$$

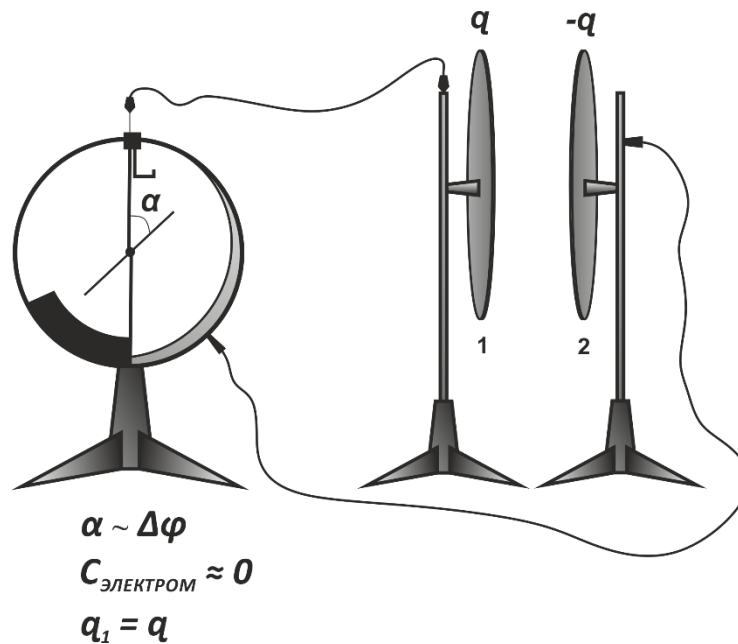
$$W_2 = \frac{q^2}{2C_2} = \frac{(CU)^2}{2 \cdot 3C} = \frac{C^2 U^2}{6C} = \frac{CU^2}{6} \text{ – энергия конденсатора при помещении в диэлектрик}$$

$$3) \frac{W_2}{W_1} = \frac{CU^2}{6} : \frac{CU^2}{2} = \frac{1}{3}.$$

Ответ: уменьшится в 3 раза.

3) Две плоские пластины конденсатора, закреплённые на изолирующих штативах, расположили на небольшом расстоянии друг от друга и соединили одну пластину с заземлённым корпусом, а другую со стержнем электрометра (см. рисунок). Затем пластину, соединённую со стержнем электрометра, зарядили. Объясните, опираясь на известные Вам законы, как изменяются показания электрометра при внесении между пластинами диэлектрической пластины. Отклонение стрелки электрометра пропорционально разности потенциалов между пластинами.

Решение:



1. Так как ёмкость конденсатора равна 0, то весь заряд, сообщённый пластине 1, находится на ней.
2. На заземлённом корпусе электрометра и соединённой с ним пластине 2 индуцируются заряды противоположного знака, при этом заряд пластины 2:  $q_2 = -q$
3. Система "электрометр – пластина 1" – электроизолированная, поэтому заряд пластины 1 и индуцированный на пластине 2 не меняются:  $q = \text{const}$ .
4. Разность потенциалов между пластинами:  
 $\Delta\varphi = u = \frac{q}{c}$ , где  $c = \frac{\epsilon_0 S}{d}$  – ёмкость плоского воздушного конденсатора  
 $\uparrow \Delta\varphi = \frac{q}{\downarrow c}$ ;  $\downarrow c = \frac{\epsilon_0 S}{\uparrow d}$ , т.е. при увеличении расстояния между пластинами ёмкость уменьшается, а разность потенциалов увеличивается, соответственно, увеличивается угол отклонения стрелки электрометра

- превращение энергии при перезарядке конденсаторов с включением в цепь источника тока (учет работы сторонних сил).

В этом случае

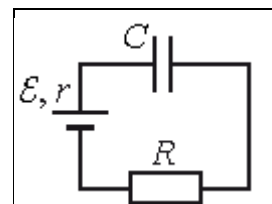
$$\underline{A = \Delta W + Q,}$$

где  $A = \int \mathcal{E} dq$  – работа сторонних сил,  $\Delta W = W_2 - W_1$  – изменение энергии заряженного конденсатора,  $Q$  – количество теплоты, выделившееся в цепи при перезарядке конденсатора.

1) **Задача уровня № 17, 1 часть КИМов ЕГЭ**

**(последовательность рассуждений при решении задач по зарядке конденсатора приведена ниже условия задачи)**

В момент времени  $t = 0$  незаряженный конденсатор подключают к источнику тока последовательно с резистором  $R = 20$  кОм (см. рисунок). Значения напряжения между обкладками конденсатора, измеренные в последовательные моменты времени с точностью 0,1 В, представлены в таблице.



$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6	7
$U, \text{ В}$	0	3,8	5,2	5,7	5,9	6,0	6,0	6,0

Выберите **два** верных утверждения о процессах, происходящих в цепи. Сопротивлением проводов и внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

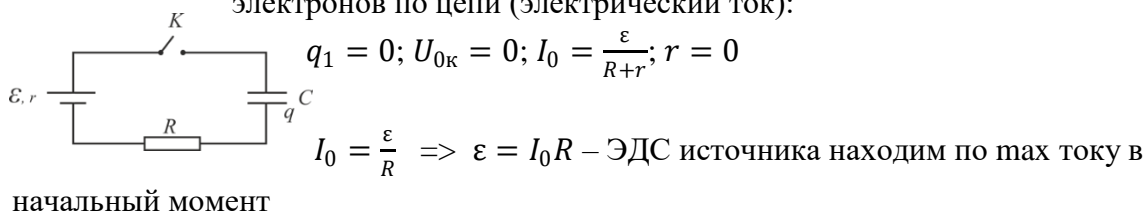
- 1) Падение напряжения на резисторе максимально в момент времени  $t = 7$  с.
- 2) Сила тока в цепи минимальна в момент времени  $t = 0$  с.
- 3) Сила тока в цепи в момент времени  $t = 2$  с равна 40 мкА.
- 4) ЭДС источника тока равна 6 В.
- 5) Падение напряжения на резисторе в момент времени  $t = 2$  с равно 5,2 В.

---

**Принципы подхода к решению типовых задач:**



- 1) В момент замыкания ключа начинается зарядка конденсатора и перемещение электронов по цепи (электрический ток):



- 2) По мере накопления заряда на обкладках конденсатора увеличивается напряжение на нём и уменьшение тока на резисторе:  $U_p = IR$  :

$$\varepsilon = IR + U_{\text{конд}}$$

Когда конденсатор зарядится до  $U_{\text{конд}} = \varepsilon$ , сила тока через резистор:  $I_p = 0$ .

$W_{\text{эл}} = \frac{C\varepsilon^2}{2}$  – энергия электрического поля конденсатора;  $q_2 = C\varepsilon$ .

- 2) При зарядке конденсатора источник тока совершает работу:  $\varepsilon = \frac{A_{\text{стор}}}{q} \Rightarrow$

$A_{\text{стор}} = \Delta q\varepsilon$ , где  $\Delta q = q_2 - q_1$  – изменение заряда конденсатора

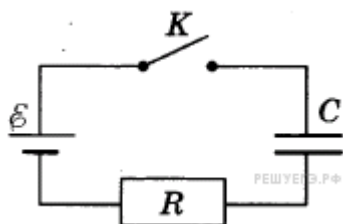
$$\Delta q = C\varepsilon$$

Эта работа сторонних сил электрического поля источника тока приводит к изменению энергии конденсатора и выделению тепла на резисторе:

$$A_{\text{стор}} = Q + \Delta W_{\text{эл}}$$

(закон сохранения энергии при перезарядке конденсатора в цепи резистор – конденсатор)

### **2) задание из РЕШУ ЕГЭ:**



Конденсатор подключен к источнику тока последовательно с резистором  $R = 20$  кОм (см. рисунок). В момент времени  $t = 0$  ключ замыкают. В этот момент конденсатор полностью разряжен. Результаты измерений силы тока в цепи, выполненных с точностью  $\pm 1$  мкА, представлены в таблице

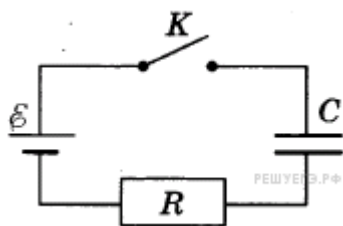
t, с	0	1	2	3	4	5	6
I, мкА	300	110	40	15	5	2	1

Выберите два верных утверждения о процессах, наблюдаемых в опыте.

- 1) Ток через резистор в процессе наблюдения увеличивается.
- 2) Через 6 с после замыкания ключа конденсатор полностью зарядился.
- 3) ЭДС источника тока составляет 6 В.
- 4) В момент времени  $t = 3$  с напряжение на резисторе равно 0,6 В.

5) В момент времени  $t = 3$  с напряжение на конденсаторе равно 5,7 В.

### 3) Задание из РЕШУ ЕГЭ



Конденсатор подключен к источнику тока последовательно с резистором  $R = 20$  кОм (см. рисунок). В момент времени  $t = 0$  ключ замыкают. В этот момент конденсатор полностью разряжен. Результаты измерений силы тока в цепи, выполненных с точностью  $\pm 1$  мкА, представлены в таблице

$t, \text{с}$	0	1	2	3	4	5	6
$I, \text{мкА}$	300	110	40	15	5	2	1

Выберите два верных утверждения о процессах, наблюдаемых в опыте.

- 1) Ток через резистор в процессе наблюдения уменьшается.
- 2) Через 3 с после замыкания ключа конденсатор полностью зарядился.
- 3) ЭДС источника тока составляет 4 В.
- 4) В момент времени  $t = 3$  с напряжение на резисторе равно 0,3 В.
- 5) В момент времени  $t = 3$  с напряжение на конденсаторе равно 5,1 В.

### 4) задача уровня № 31, СТАТГРАД, 2018.

Плоский конденсатор, заполненный диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 7$ , имеет ёмкость  $C = 2800$  пФ и присоединён к источнику постоянного напряжения  $U$ . Диэлектрическую пластину медленно извлекают из конденсатора, не отсоединяя его от источника и совершая при этом работу  $A = 1,5$  мкДж. Чему равно  $U$ ? Потерями на трение при удалении пластины из конденсатора можно пренебречь.

#### Возможное решение

1. При медленном извлечении диэлектрической пластины из плоского конденсатора в условиях постоянного напряжения на нём заряд с пластин стекает, ток в цепи очень мал, и потерями на выделение теплоты по закону Джоуля-Ленца в проводах можно пренебречь, как и потерями на трение.

2. Согласно уравнению для связи заряда и напряжения на конденсаторе  $q = CU$ , так что заряд, стекающий с пластин конденсатора при постоянном напряжении, равен  $\Delta q = \Delta C \cdot U$ .

3. Ёмкость конденсатора с диэлектриком в  $\varepsilon$  раз больше, чем без него, поэтому  $\Delta C = \frac{C}{\varepsilon} - C = \frac{-C(\varepsilon - 1)}{\varepsilon}$ .

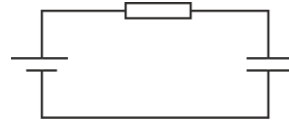
4. Согласно закону сохранения энергии, работа источника напряжения  $U\Delta q = U^2 \Delta C$  расходуется на изменение энергии конденсатора  $\Delta\left(C \cdot \frac{U^2}{2}\right) = \Delta C \cdot \frac{U^2}{2}$  и совершение механической работы  $A_{\text{п}}$  силами электрического поля. Поскольку  $\Delta C < 0$ , работа сил поля  $A_{\text{п}}$  отрицательна и равна  $-A$ .

5. Таким образом,  $U^2 = \frac{-2A}{\Delta C} = \frac{2A\varepsilon}{(\varepsilon-1)C}$ , и

$$U = \sqrt{\frac{2A\varepsilon}{(\varepsilon-1)C}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 7}{6 \cdot 2,8 \cdot 10^{-9}}} \approx 35,4 \text{ В.}$$

Ответ:  $U = \sqrt{\frac{2A\varepsilon}{(\varepsilon-1)C}} \approx 35,4 \text{ В.}$

Источник постоянного напряжения с ЭДС 100 В подключён через резистор к конденсатору, расстояние между пластинами которого можно изменять (см. рисунок). Пластины раздвинули, совершив при этом работу 90 мкДж против сил притяжения пластин. На какую величину изменилась ёмкость конденсатора, если за время движения пластин на резисторе выделилось количество теплоты 40 мкДж? Потерями на излучение пренебречь.



Дано:

$$\varepsilon = 100 \text{ В}$$

$$A = 90 \text{ мкДж} =$$

$$= 90 * 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$Q = 40 * 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$\Delta C = ?$$

Решение:

1) Конденсатор подключен к источнику тока, поэтому напряжение на его обкладках равно ЭДС источника:

$$U_{\text{конд}} = \varepsilon$$

2) До изменения ёмкости:

$$q_1 = C_1 \varepsilon; W_1 = \frac{C_1 \varepsilon^2}{2} \text{ — заряд и энергия конденсатора}$$

3) После раздвижения пластин:

$$q_2 = C_2 \varepsilon; W_2 = \frac{C_2 \varepsilon^2}{2} \text{ — заряд и энергия конденсатора уменьшаются,}$$

т.к. ёмкость уменьшится.  $\Delta C = C_2 - C_1$  - изменение ёмкости.

4) Изменение заряда и энергии конденсатора:

$$\Delta q = q_2 - q_1 = C_2 \varepsilon - C_1 \varepsilon = \Delta C \varepsilon$$

$$\Delta W = W_2 - W_1 = \frac{C_2 \varepsilon^2}{2} - \frac{C_1 \varepsilon^2}{2} = \frac{\varepsilon^2 \Delta C}{2}$$

происходят за счёт работы сторонних сил источника  $A_{\text{стор}} = \Delta q \varepsilon = \Delta C \varepsilon^2$  при изменении ёмкости за счёт работы внешней силы, при этом изменилась энергия электрического поля конденсатора, и выделилось тепло на резисторе:

$$A + A_{\text{стор}} = Q + \Delta W$$

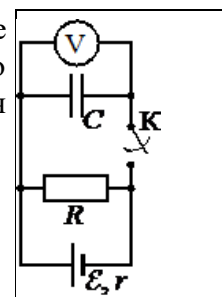
$$A + \Delta C \varepsilon^2 = Q + \frac{\Delta C \varepsilon^2}{2}$$

$$A + \frac{\Delta C \varepsilon^2}{2} = Q; \frac{\Delta C \varepsilon^2}{2} = Q - A; \Delta C = \frac{(Q-A)2}{\varepsilon^2} \text{ — изменение ёмкости}$$

$$\Delta C = \frac{2(40 - 90) * 10^{-6}}{10^4} = \frac{-100 * 10^{-6}}{10^4} = -10^{-8} \text{ Ф}$$

(“-“ указывает на уменьшение ёмкости конденсатора)

**Задача № 28, ЕГЭ – 2018.** Опираясь на законы физики, найдите показание идеального вольтметра в схеме, представленной на рисунке, до замыкания ключа К и опишите изменения его показаний после замыкания ключа К. Первоначально конденсатор не заряжен.



**(задание из 30 типовых экзаменационных вариантов, Демидова, 2018)**

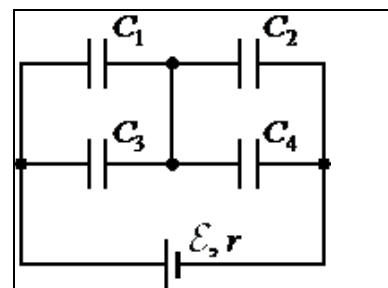
**В варианте 8, № 28 (10 типовых экзаменационных вариантов, Демидова, 2019)**

аналогичная задача, но первоначально конденсатор заряжен до напряжения, равного эдс источника.

**Последние задачи уровня № 32 ЕГЭ-2018 и ЕГЭ – 2016 , предложенные вашему вниманию ниже, объединяет тема короткого замыкания и отсутствие напряжения на участке цепи с нулевым сопротивлением.**

В задаче №1 при пробое конденсатора  $C_3$  он превращается в проводник с нулевым сопротивлением, напряжение на концах которого  $= 0$ , поэтому подключенный к нему конденсатор  $C_1$  не заряжается. Эквивалентная схема состоит из двух параллельных конденсаторов  $C_2$  и  $C_4$

1) Батарея из четырёх конденсаторов электроёмкостью  $C_1 = 2C$ ,  $C_2 = C$ ,  $C_3 = 4C$  и  $C_4 = 2C$  подключена к источнику постоянного напряжения с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  (см. рисунок). На сколько и как изменится общая энергия, запасённая в батарее, если в конденсаторе  $C_3$  возникнет пробой?



В задаче №2 при замкнутом ключе через катушку идёт ток короткого замыкания, т. к. ее сопротивление равно нулю, поэтому соединенный с ней параллельно конденсатор не заряжается, и в момент размыкания ключа в катушке запасена энергия магнитного поля, а энергия электрического поля конденсатора и напряжение на его обкладках равны нулю. Получаем колебательный контур, в котором напряжение на конденсаторе меняется по закону синуса, поэтому напряжение достигнет  $\max$  через четверть периода.

