

Электрическое поле

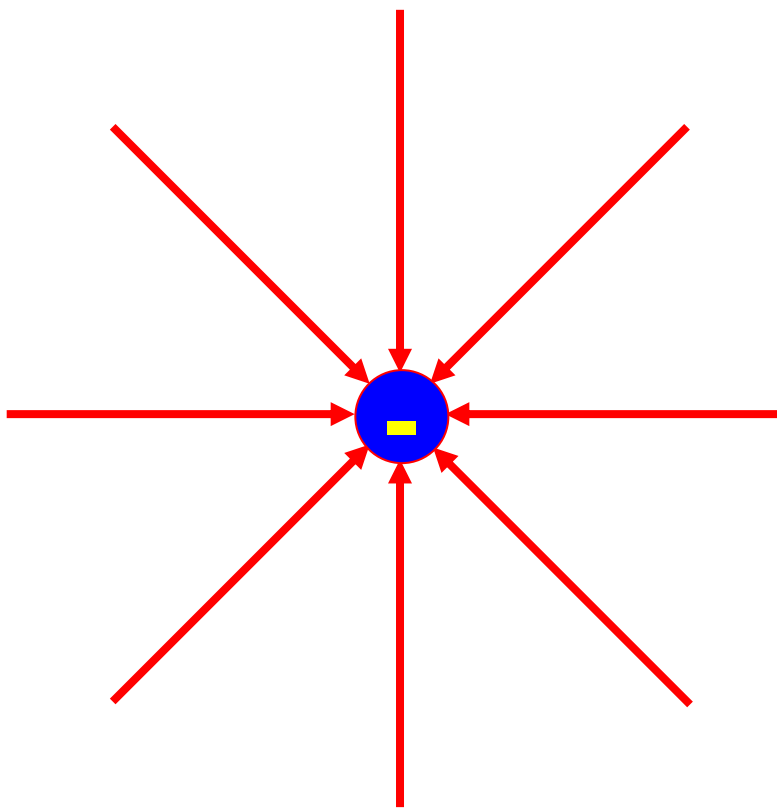
Конденсаторы

Расчет системы конденсаторов

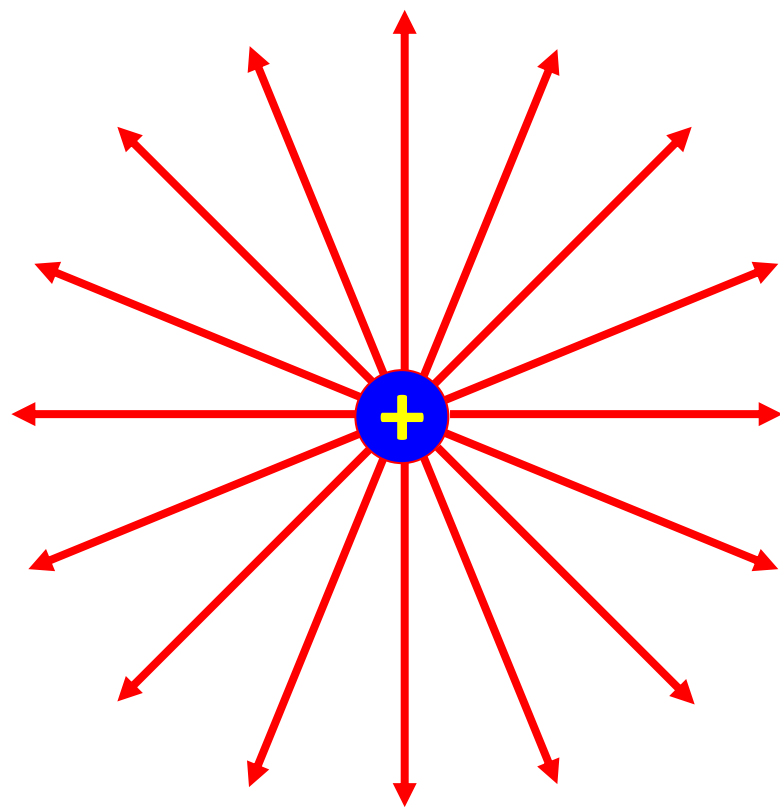
Практическое занятие разработано
Мамаевой Ириной Алексеевной,
Кострома.



-q

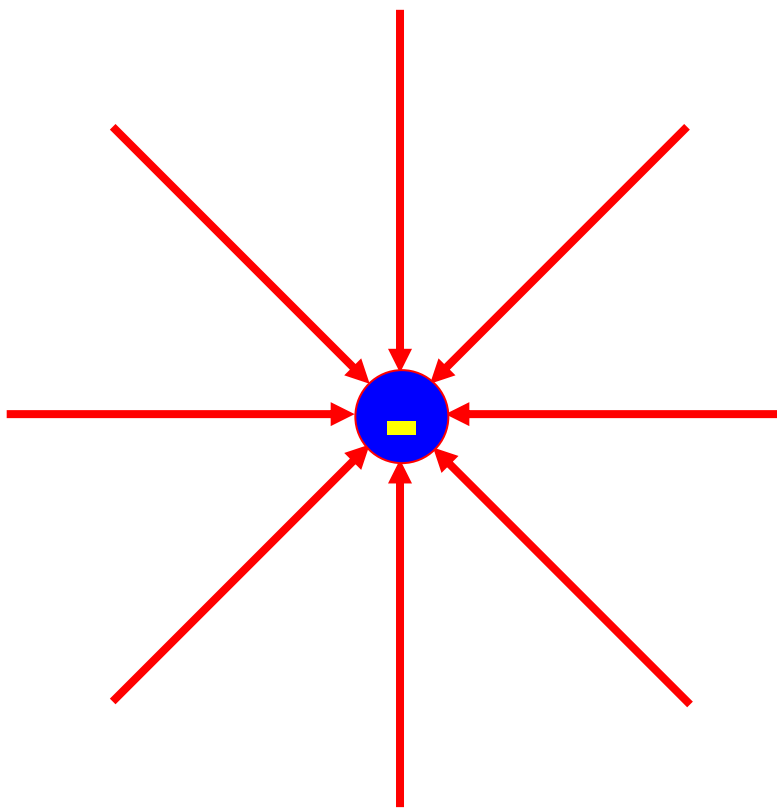


+2q

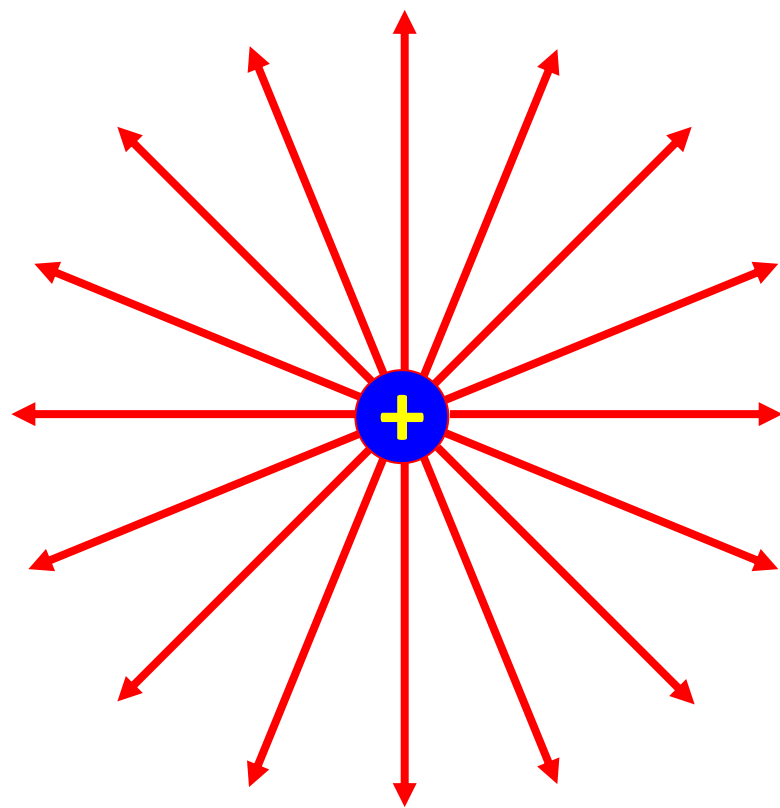


Напряженность электрического поля – первая основная характеристика ЭП в исследуемой точке

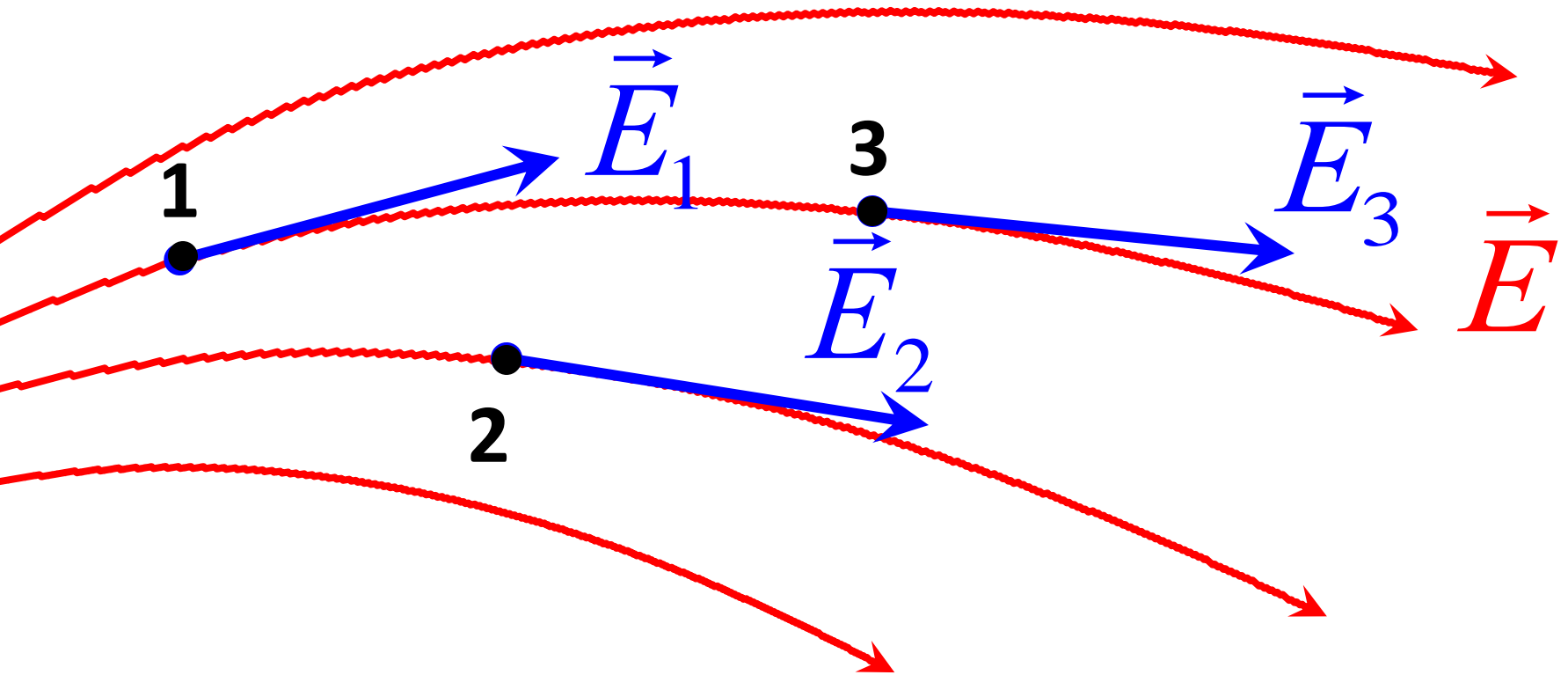
$-q$



$+2q$

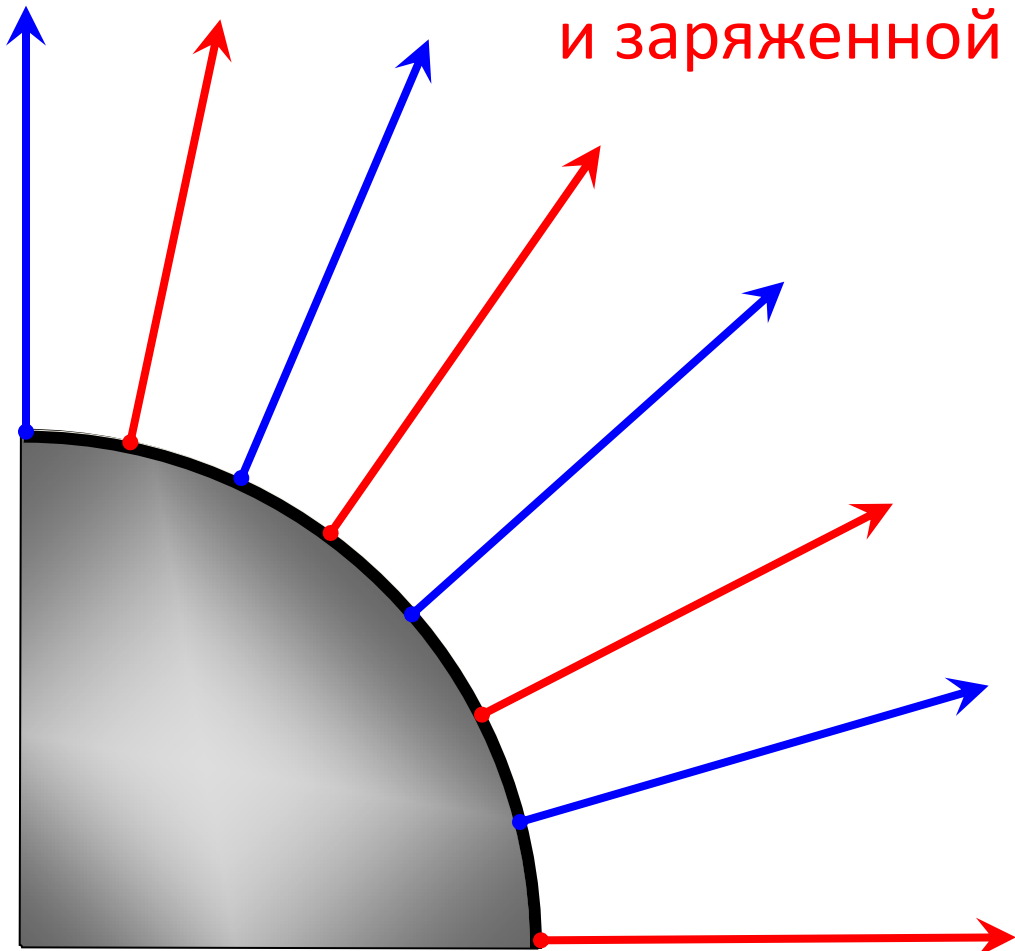


Линии напряженности - силовые линии
электрического поля

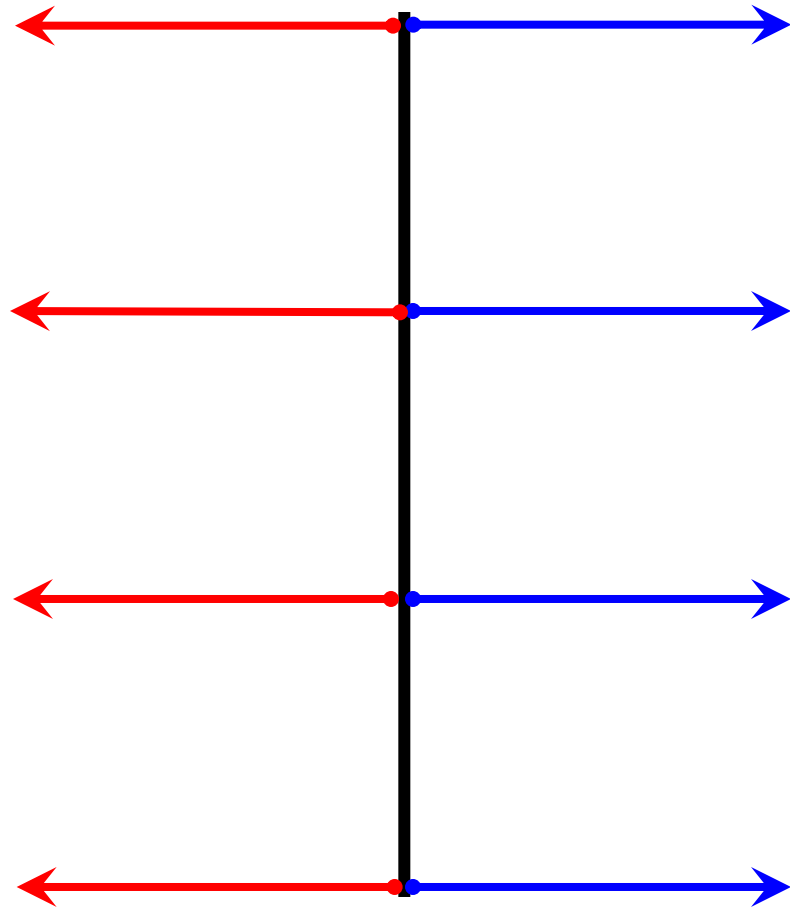


линии в каждой точке которых вектор напряженности направлен по касательной к ним.

Силловые линии электрического поля заряженной сферы и заряженной плоскости

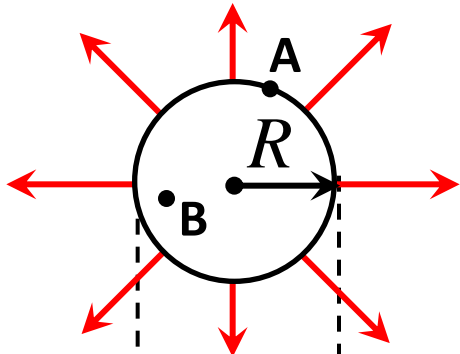


$$E_{\text{ш}} = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$$



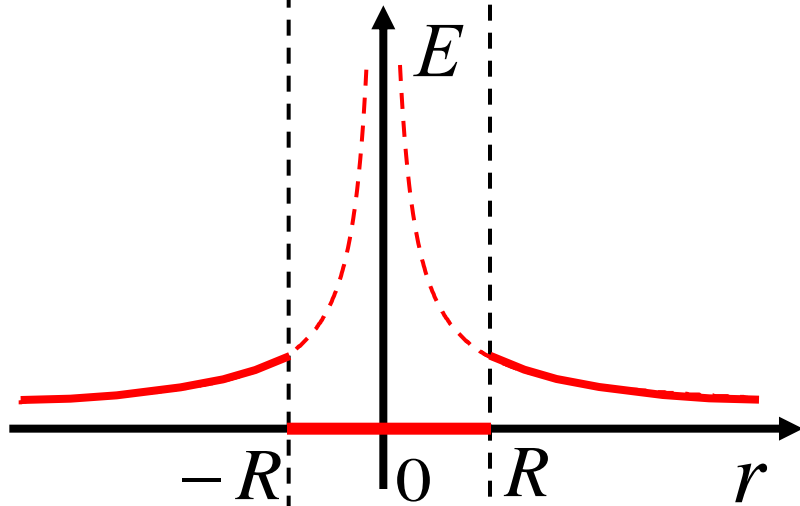
$$E_{\text{пл}} = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$$

Силловые линии электрического поля заряженной сферы и графики зависимости $E(r)$ и $\varphi(r)$



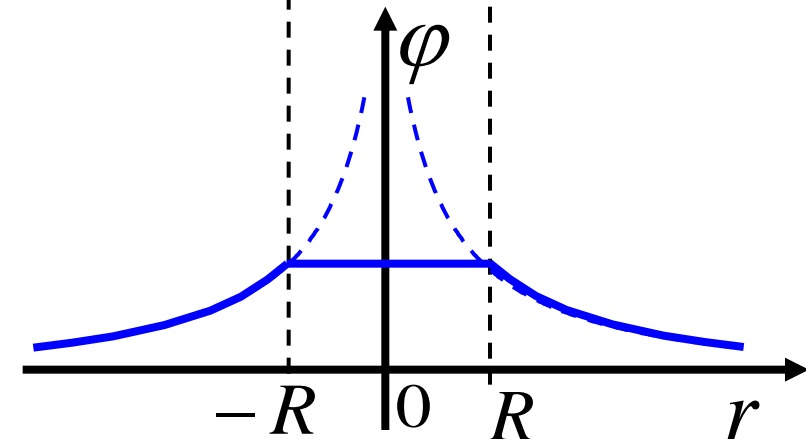
$$E = k \frac{q}{\epsilon r^2}, \text{ если } r \geq R$$

$$E = 0, \text{ если } r < R$$



$$\varphi = k \frac{q}{\epsilon r}, \text{ если } r \geq R$$

$$E_{AB} = 0 = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{|AB|} \Rightarrow \varphi_A = \varphi_B$$



$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$$

$$E_{\text{пл}} = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$$

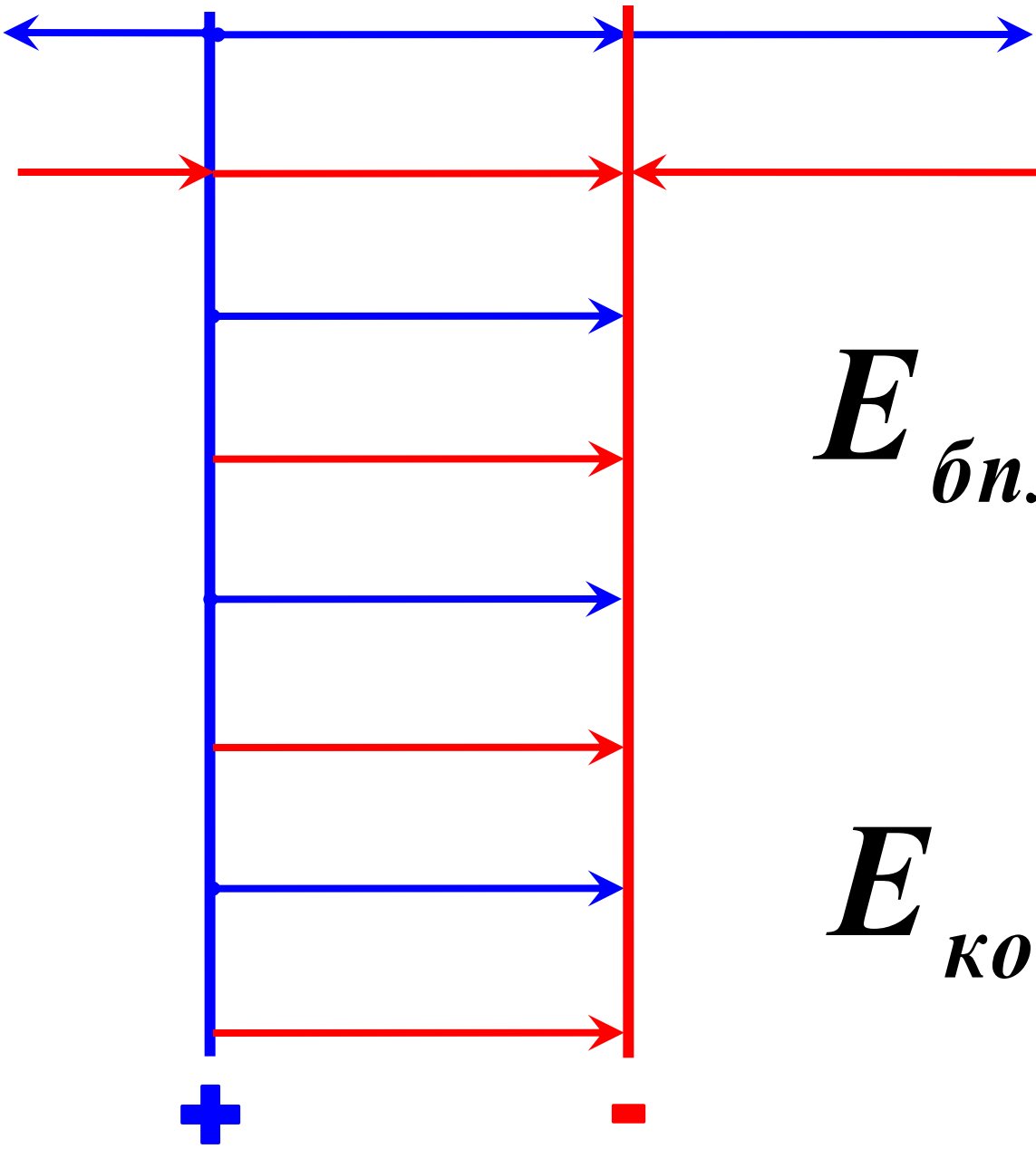
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$$

$$\varphi = \frac{W}{q}$$

$$\varphi = k \frac{q}{\epsilon r}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$

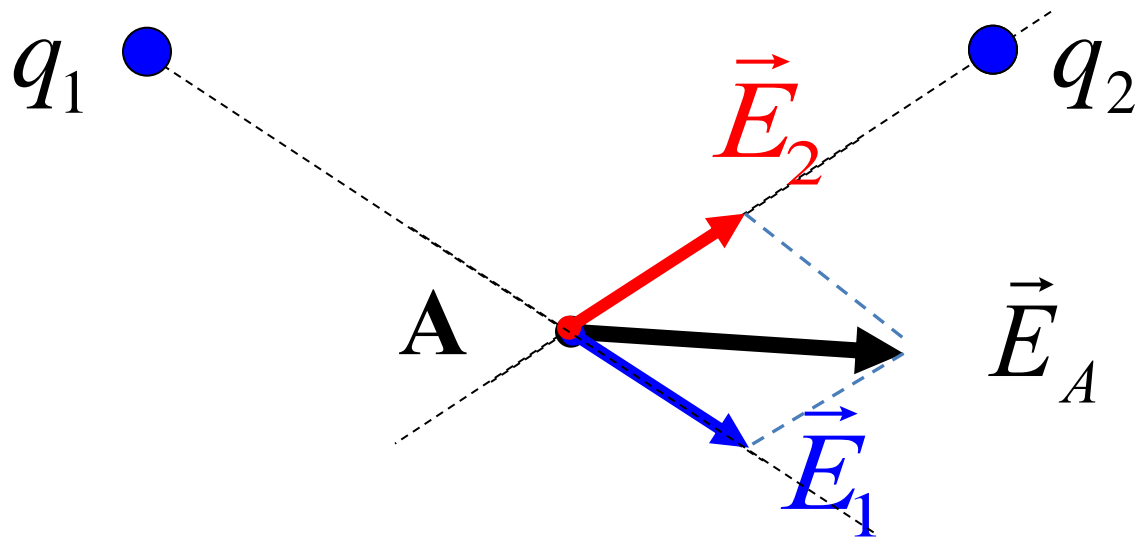
$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots$$



$$E_{\text{бпл}} = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$$

$$E_{\text{конд}} = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$$

Б) q_1 - положительный, q_2 - отрицательный.



Электрическое поле создается двумя одинаковыми по величине точечными зарядами q_1 и q_2 . Вектор напряженности электрического поля в точке A , равноудаленной от зарядов, направлен, как показано на рисунке. Каковы знаки зарядов?

А) q_1 - отрицательный, q_2 - отрицательный.

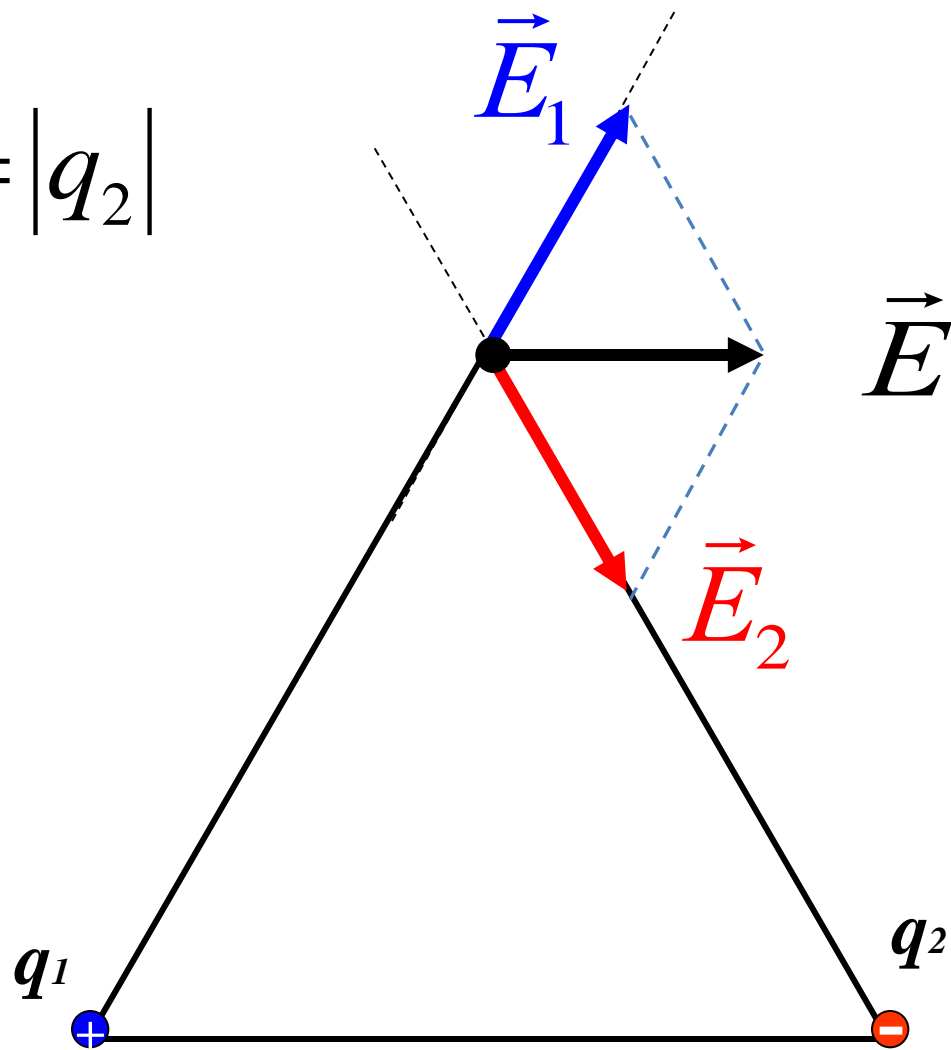
Б) q_1 - положительный, q_2 - отрицательный.

В) q_1 - отрицательный, q_2 - положительный.

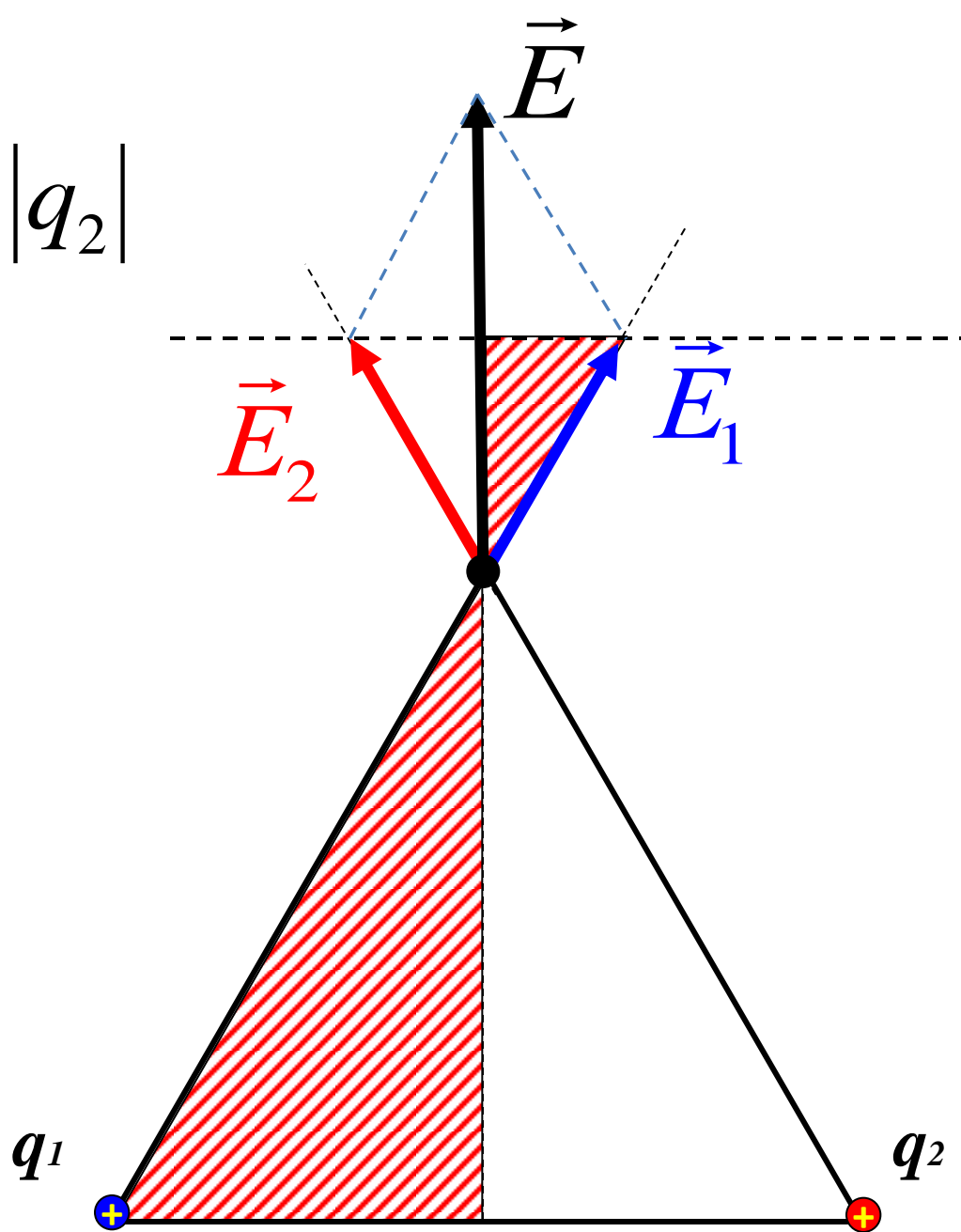
Г) q_1 - положительный, q_2 - положительный.

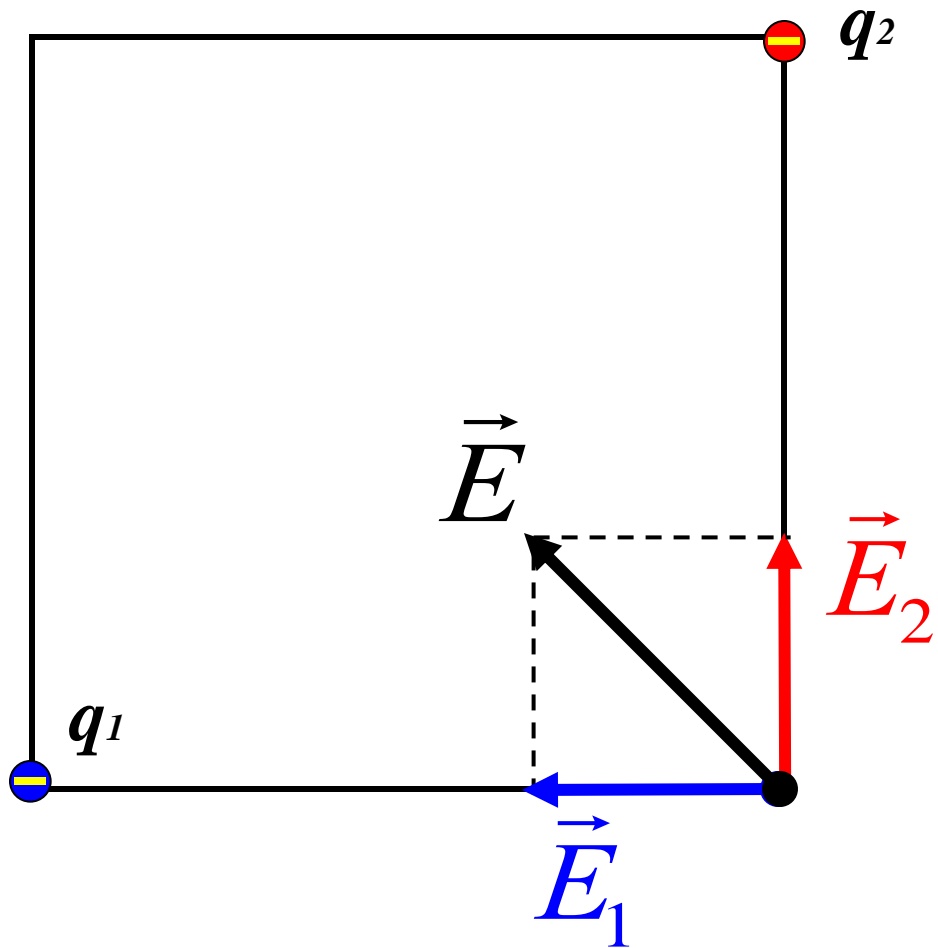
Д) Ответ не однозначен.

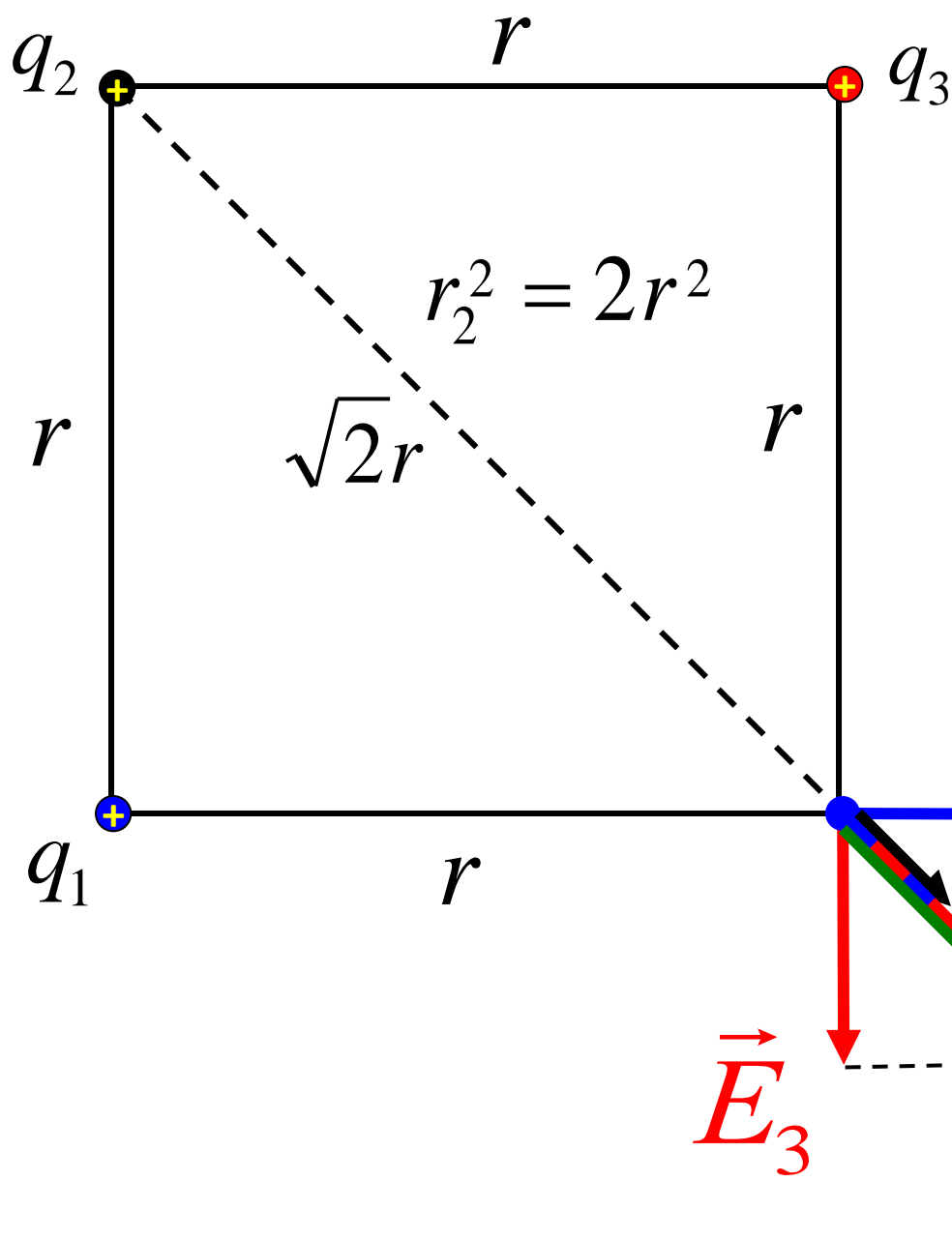
$$|q_1| = |q_2|$$



$$|q_1| = |q_2|$$







Решение:

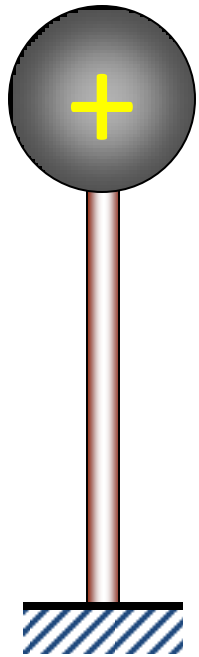
$$E_i = \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^2}, i = 1, 2, 3$$

$$\vec{E}_{13} = \vec{E}_1 + \vec{E}_3 \rightarrow E_{13} = \sqrt{E_1^2 + E_3^2}$$

$$\vec{E}_{123} = \vec{E}_{13} + \vec{E}_2 \rightarrow E_{123} = E_{13} + E_2$$

$$E_{123} = E_{PE3}$$

Потенциал электрического поля – вторая основная характеристика ЭП в исследуемой точке



Q заряд источника поля

B
 $+$
 q $W_B = q \cdot \varphi_B$

A
 $+$
 q $W_A = q \cdot \varphi_A$
пробный заряд

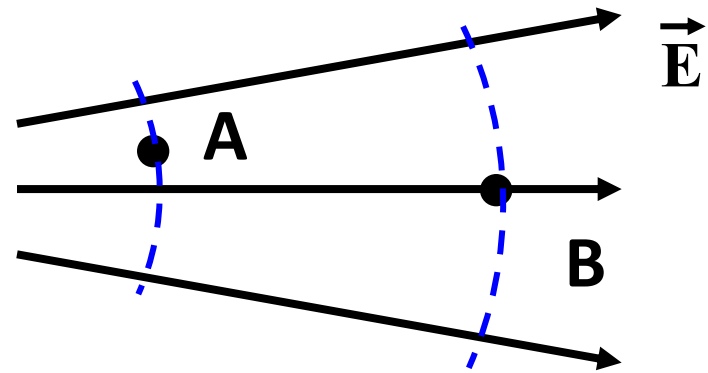
Будем изменять q в какое либо число раз. Опыт покажет:

$$\frac{W_1}{q_1} = \frac{W_2}{q_2} = \dots = \frac{W_n}{q_n} = \text{const} = \varphi$$

Связь между напряженностью
и разностью потенциалов (напряжением) ЭП

Потенциал точки А равен 100 В.

Потенциал точки В?



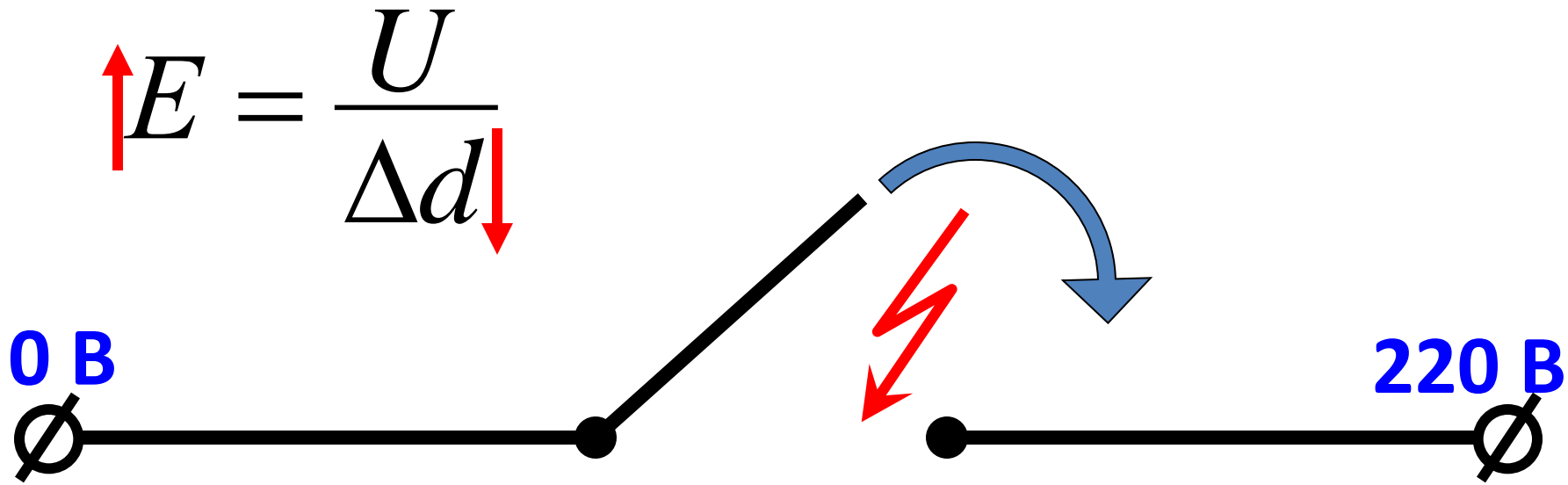
А. > 100 В

Б. < 100 В

В. 100 В

Г. 0 В

вектор \vec{E} направлен
в сторону убывания φ

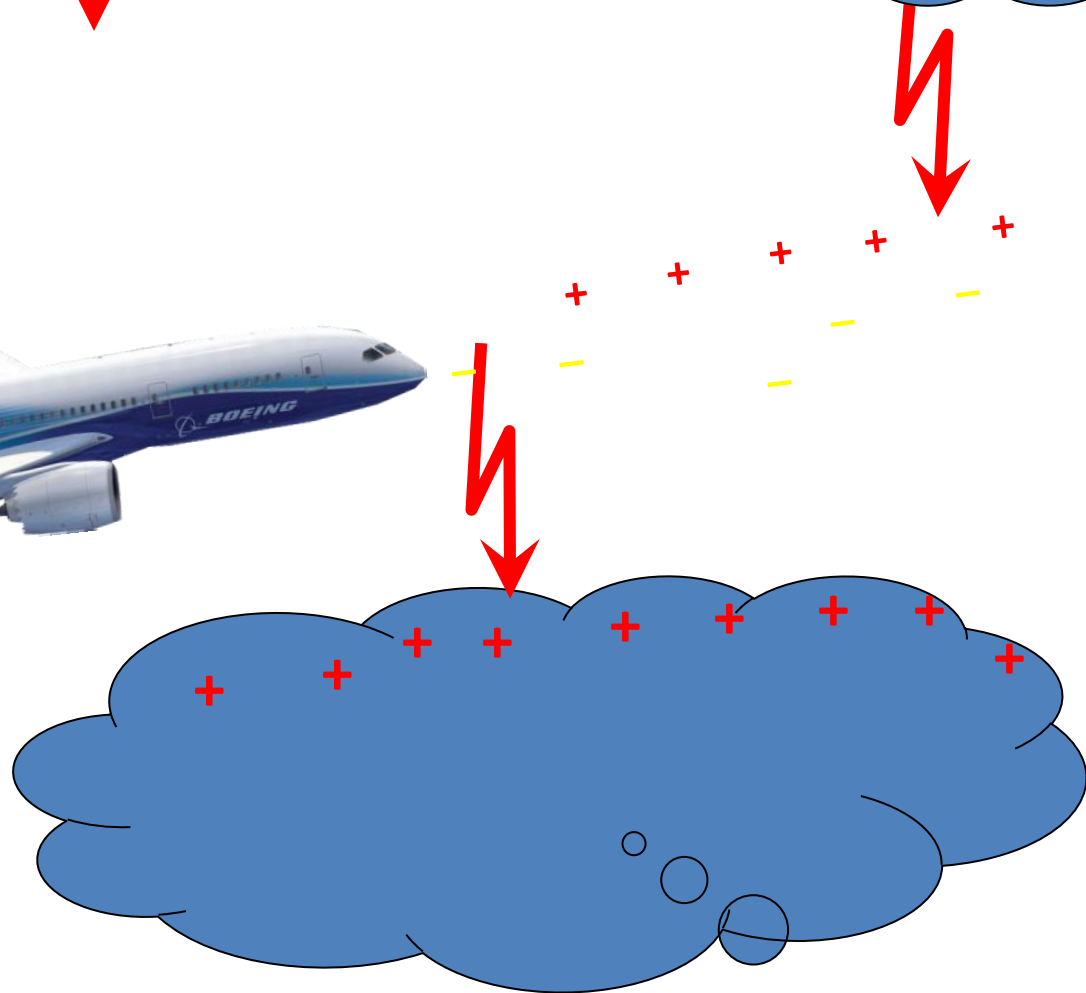
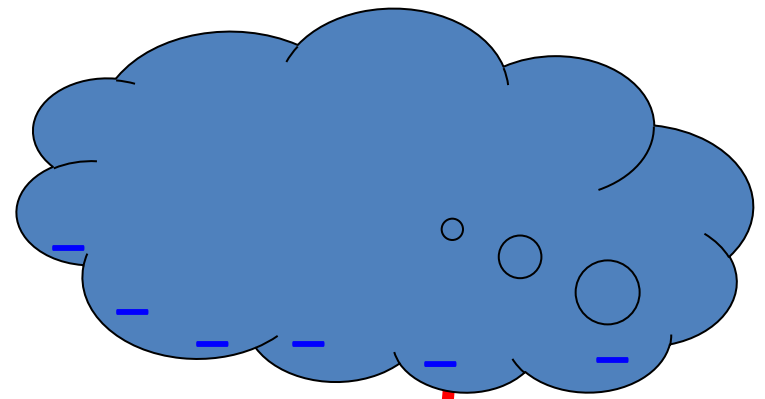
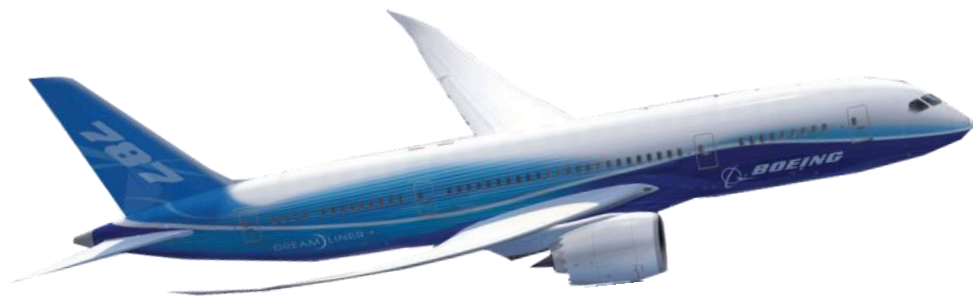


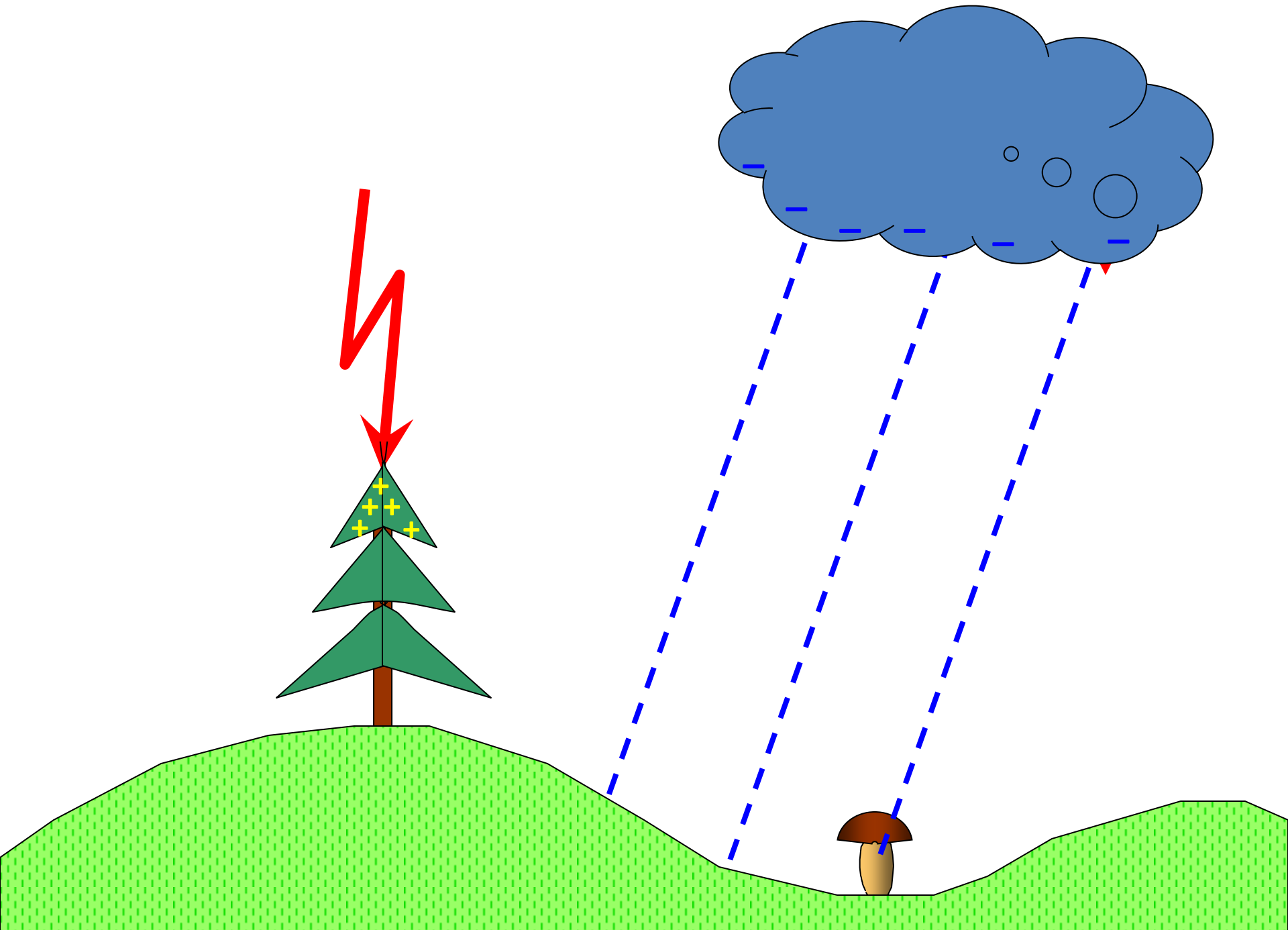
$E = 32 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$ - напряженность поля пробоя воздуха

1 метр воздуха пробивает **3,2МВ**

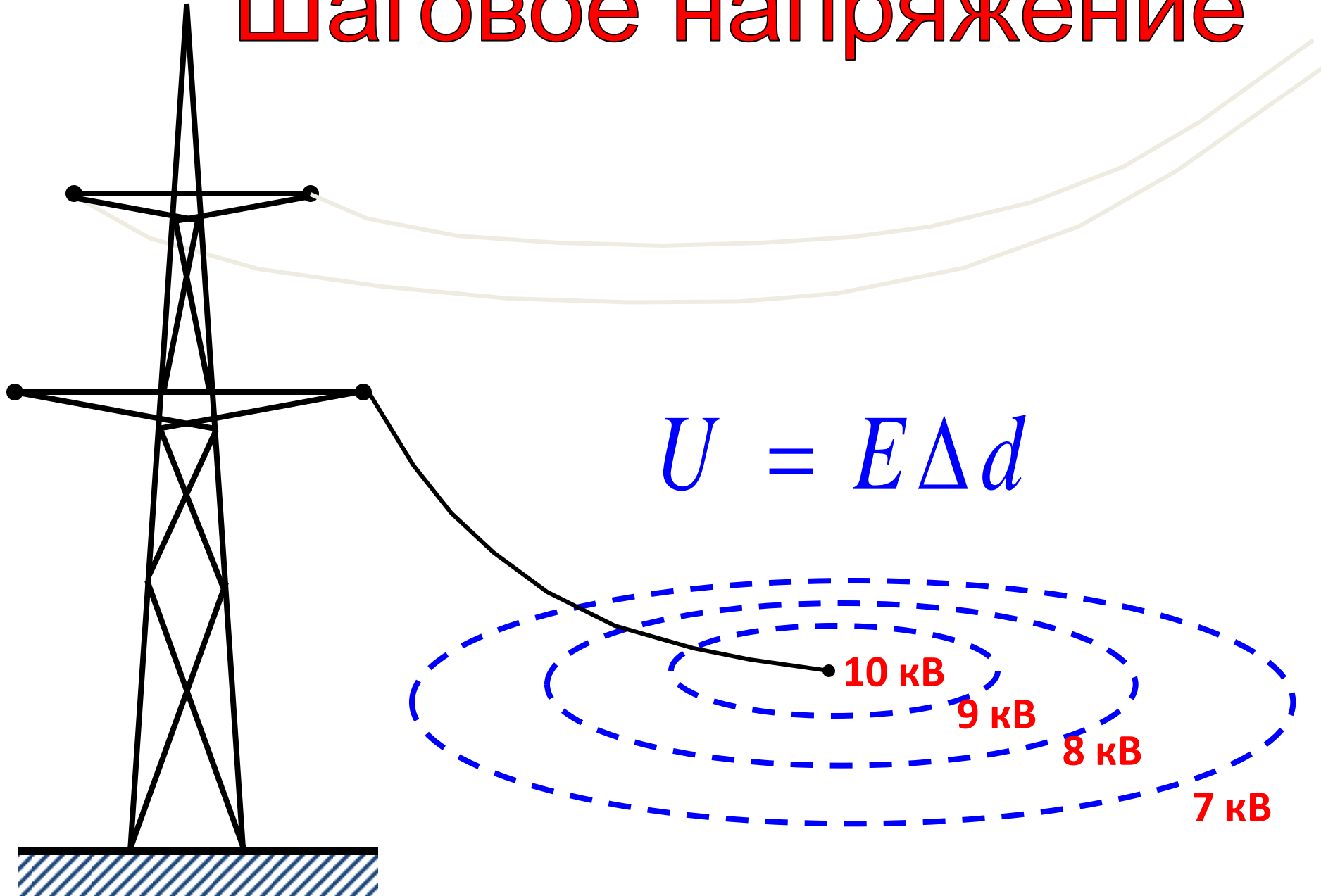
1 км воздуха пробивает **3,2ГВ**

$$\uparrow E = \frac{U}{\Delta d} \downarrow$$





Шаговое напряжение



Электрическое поле
не только может быть опасным,
оно верно служит человечеству много лет.

Первое изобретение человека, где он научился
использовать электрическое поле –
КОНДЕНСАТОР.

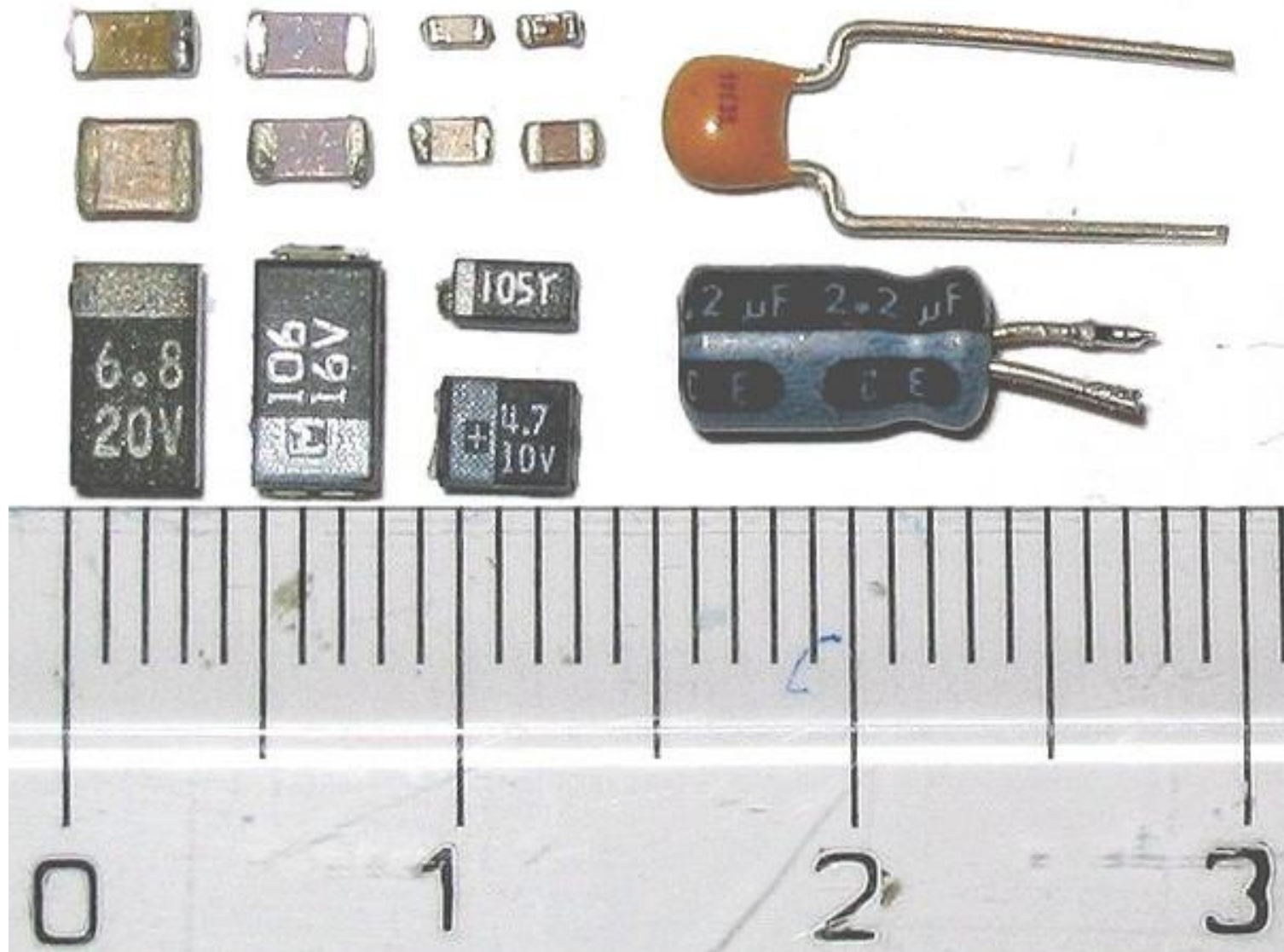
Конденсаторы



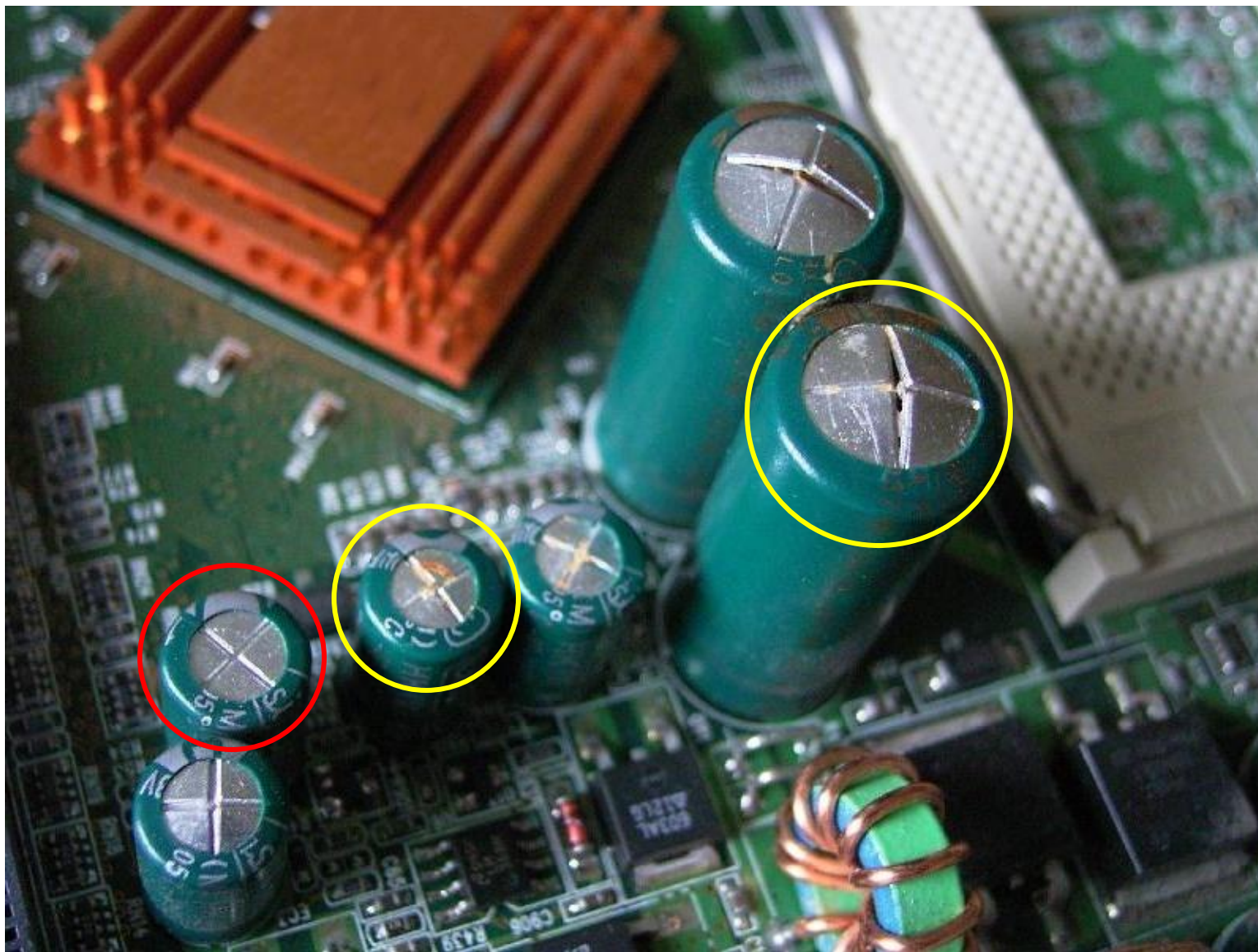
Конденсаторы



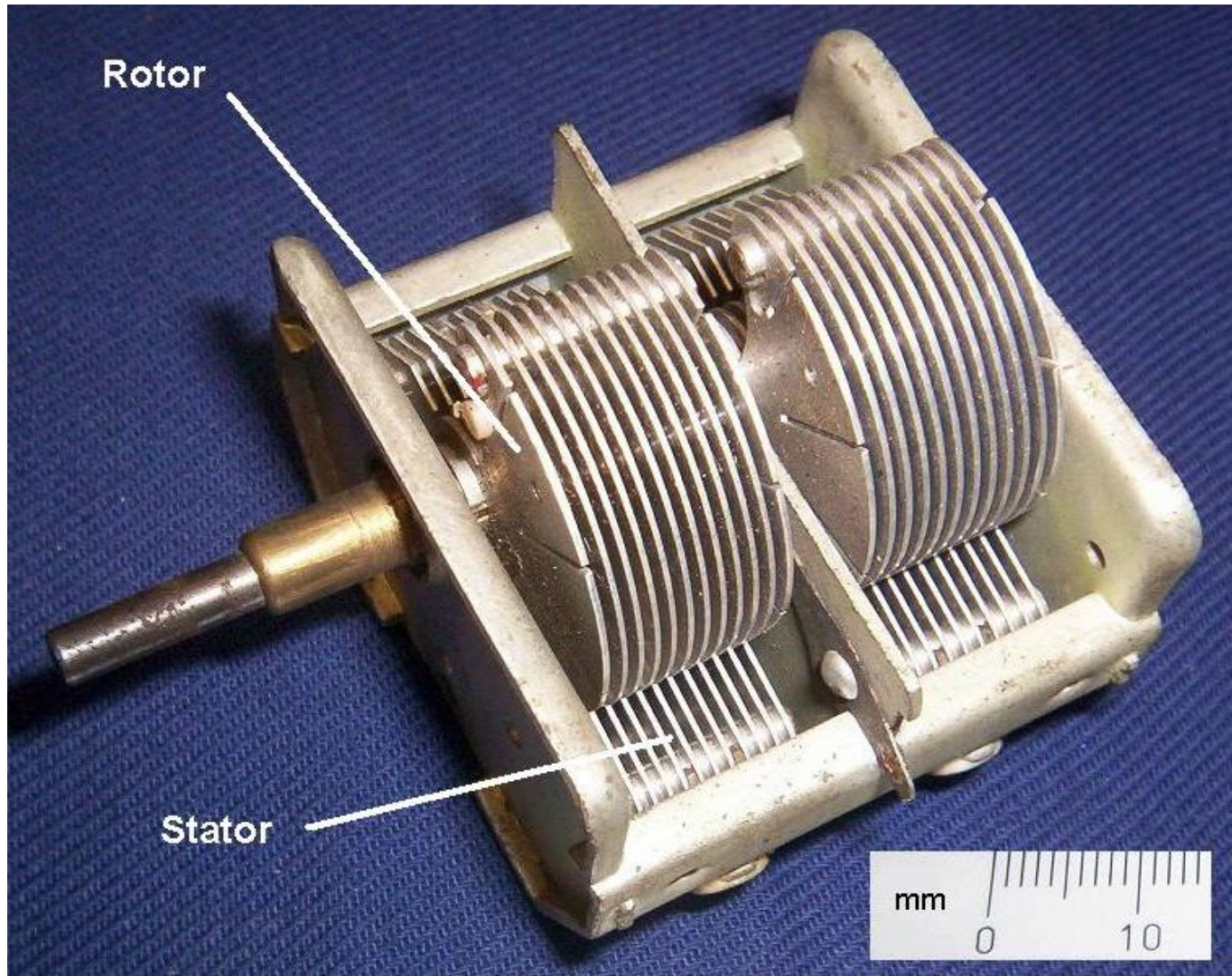
Конденсаторы



Конденсаторы



Конденсаторы



Конденсаторы



Виды конденсаторов

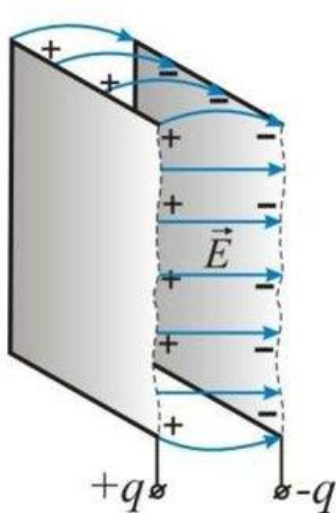
- Воздушный;
- Бумажный;
- Керамический;
- Слюдяной;
- Электролитический.



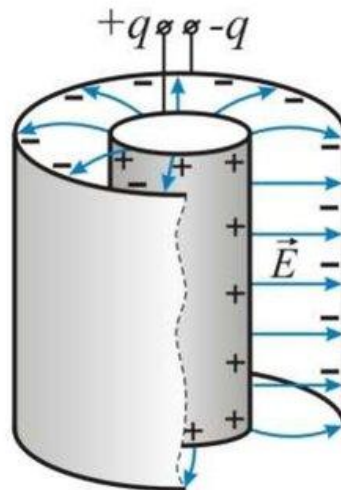
ЭЛЕКТРОЁМКОСТЬ КОНДЕНСАТОРОВ

Ёмкость конденсатора зависит от:

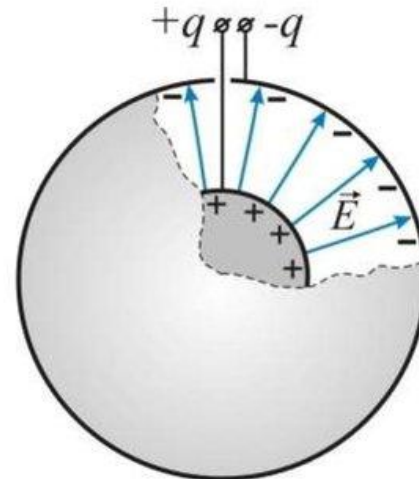
- формы и размеров обкладок,
- величины зазора между ними;
- диэлектрических свойств диэлектрика, между обкладками.



плоский

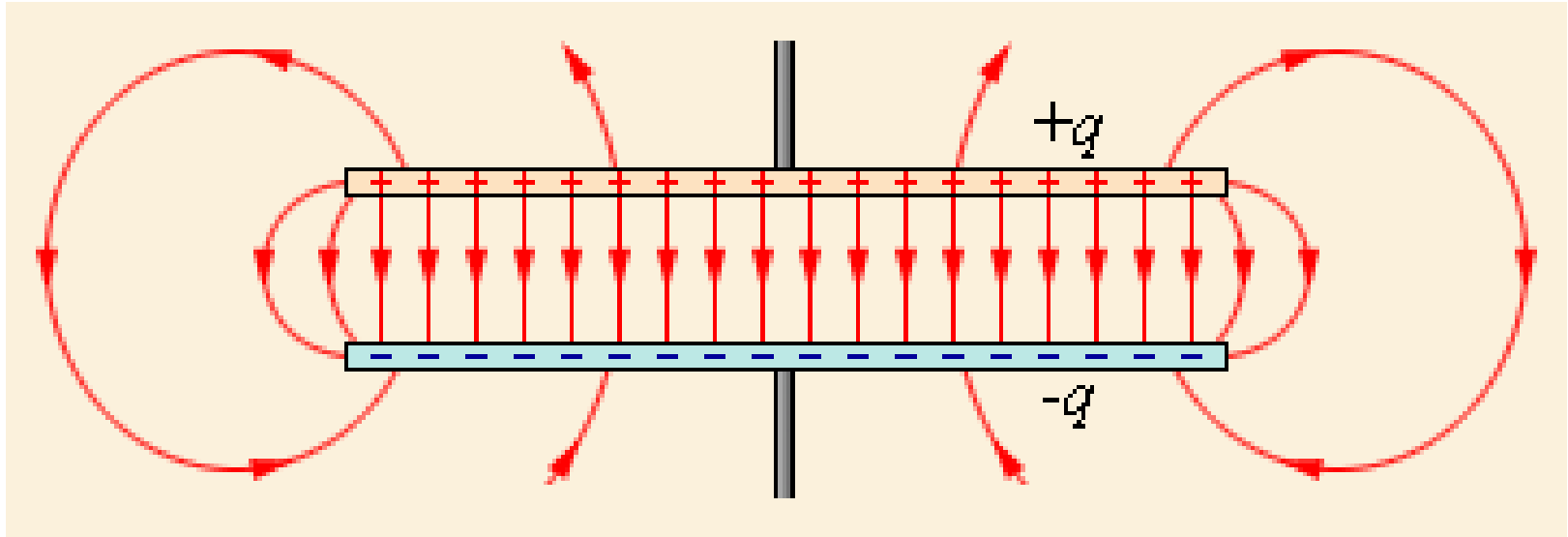


цилиндрический

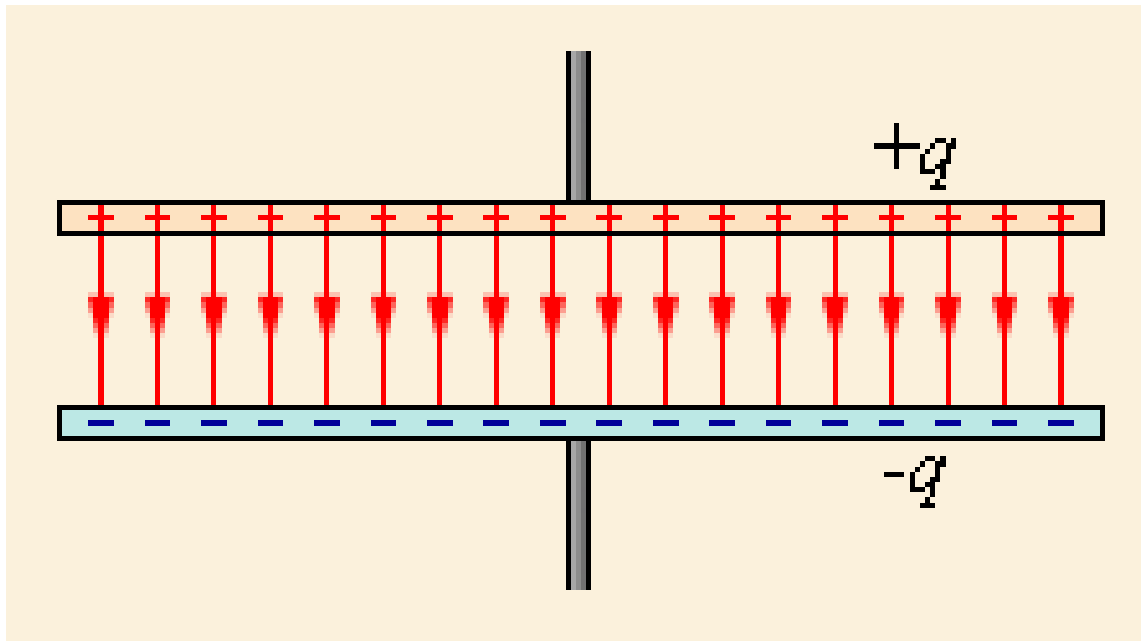


сферический

Поле плоского конденсатора:



Идеализированное представление поля плоского конденсатора:





Электрическая ёмкость

- Электроемкость – скалярная физ. величина, характеризующая способность проводника накапливать электрический заряд
- Отношение заряда проводника, q , к потенциалу, φ , создаваемому этим проводником в пространстве

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad 1\text{Ф} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}} \quad (\text{измеряется в Фарадах})$$

Потенциал – мера энергии эл. поля, создаваемого проводником:

$$\varphi = \frac{W}{q} \quad (\text{энергия на единицу заряда проводника})$$

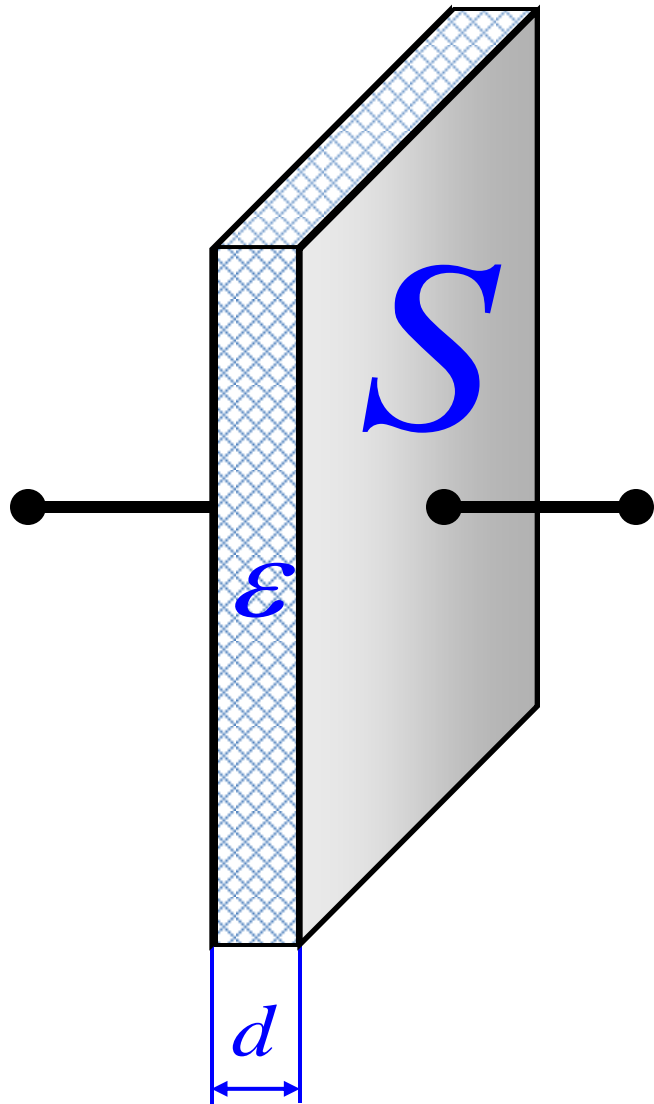


Электрическая ёмкость

- Чаще применяется к паре проводников, $+q$ и $-q$, разделённых диэлектриком
- Тогда ёмкость – это отношение заряда q одного из проводников к разности потенциалов $\Delta\varphi$ между ними)

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U} \quad 1\text{Ф} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$$

Ёмкость плоского конденсатора



$$C = \frac{q}{U} = \frac{\cancel{q} \epsilon \epsilon_0 S}{\cancel{q} d} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

$$U = Ed = \frac{qd}{\epsilon \epsilon_0 S}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0 S}$$

$$\sigma = \frac{q}{S}$$

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

$$E = \frac{U}{\Delta d}$$

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

Энергия заряженного конденсатора

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

W – энергия заряженного конденсатора
(энергия электрического поля), Дж

q - заряд пластины конденсатора, Кл

U - разность потенциалов, В

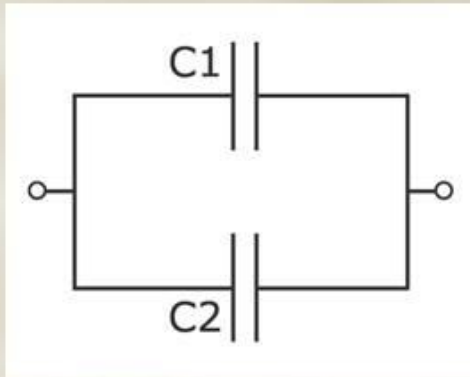
C – емкость конденсатора, Ф

Чему равен модуль напряженности однородного электрического поля внутри плоского конденсатора, если напряжение на его обкладках 10 В, а расстояние между обкладками 5 мм? Ответ: 2000 В/м.

$$E = \frac{U}{\Delta d}$$

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

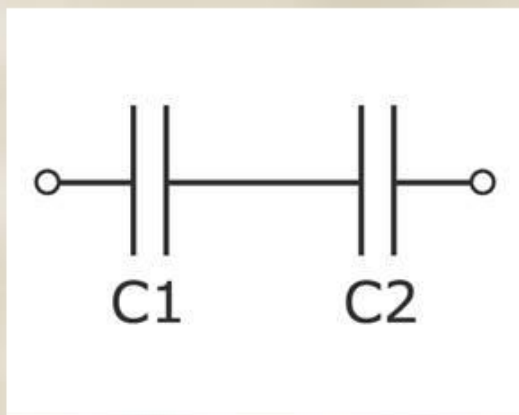
применяют если необходимо увеличить общую емкость конденсаторов



1. Соединенные параллельно конденсаторы находятся под одним и тем же напряжением, равным U
2. Каждый конденсатор получает заряд q_1, q_2, q_3 , и т. д. Следовательно,
$$q_{\text{общ}} = q_1 + q_2 + q_3 + \dots$$
3. Так как заряды
$$q_1 = C_1 U; q_2 = C_2 U; q_3 = C_3 U \dots$$
4. Общий заряд : $q_{\text{общ}} = C_{\text{общ}} U$
5. Получаем: $C_{\text{общ}} U = C_1 U + C_2 U + C_3 U$.
6. Разделив левую и правую части этого равенства на равную для всех конденсаторов величину U получаем
$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3$$

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

применяют тогда, когда рабочее напряжение установки превышает напряжение, на которое рассчитана цепь, общая емкость конденсаторов при таком соединении уменьшается



1. Общее напряжение на конденсаторах

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + U_3$$

2. Заряд $q_{\text{общ}} = q_1 = q_2 = q_3$

3. Учитывая, что общее напряжение

$$\frac{q_m}{C_m} = U_m$$

4. Получаем: $\frac{q_m}{C_m} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} + \frac{q_3}{C_3}$

5. Разделив левую и правую части этого равенства на равную для всех конденсаторов величину q получаем

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Электрическая емкость. Конденсатор

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U}$$

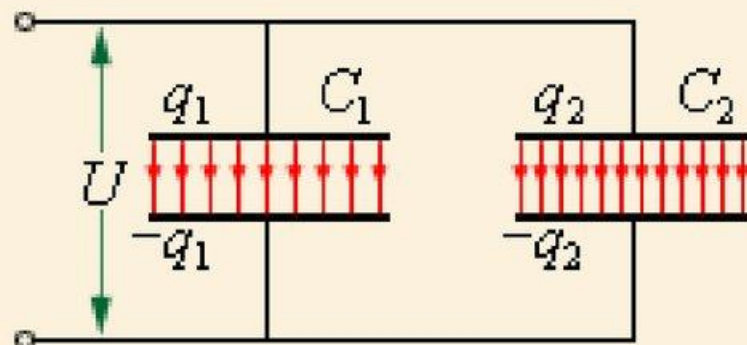
При **параллельном соединении** конденсаторов:

$$U_1 = U_2 = U$$

$$q_1 = C_1 U \text{ и } q_2 = C_2 U$$

$$q = q_1 + q_2$$

$$C = \frac{q_1 + q_2}{U} \text{ или } C = C_1 + C_2$$



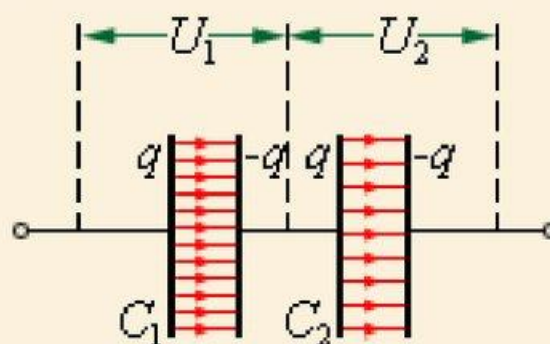
При **последовательном соединении** конденсаторов:

$$q_1 = q_2 = q$$


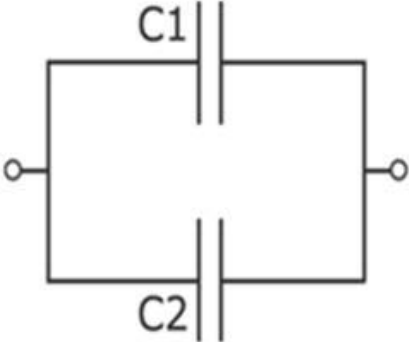
$$U_1 = \frac{q}{C_1} \quad U_2 = \frac{q}{C_2}$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$C = \frac{q}{U_1 + U_2} \text{ или } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



Особенности соединения конденсаторов

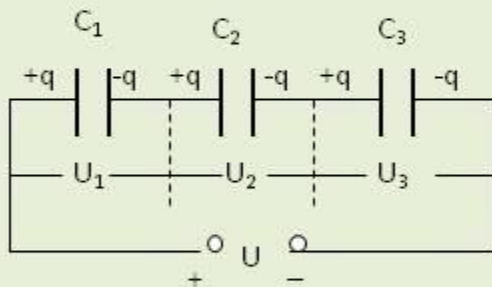
Вид соединения	Последовательное	Параллельное
<p>Схема соединения</p>		
<p>Напряжение</p>	$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2$	$U_{\text{общ}} = U_1 = U_2$
<p>Заряд</p>	$q_{\text{общ}} = q_1 = q_2$	$q_{\text{общ}} = q_1 + q_2$
<p>Эквивалентная емкость</p>	$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$	$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2$

Конденсаторы

Соединение конденсаторов

Последовательное соединение конденсаторов

Для предотвращения пробоя системы прибегают к последовательному соединению конденсаторов



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

- Общим является заряд q

$$U_1 = \frac{q}{C_1} \quad U_2 = \frac{q}{C_2} \quad U_3 = \frac{q}{C_3}$$

- суммарное напряжение U

$$U = \sum_i U_i = q \left(\sum_i \frac{1}{C_i} \right)$$

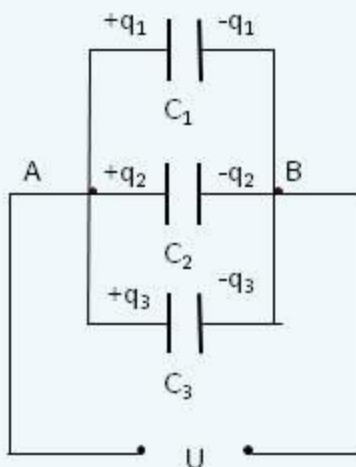
При последовательном соединении конденсаторов обратная величина емкости всей батареи равна сумме обратных величин емкостей, соединенных в батарею.

Конденсаторы

Соединение конденсаторов

Параллельное соединение конденсаторов

Для увеличения емкости конденсаторов без сильного увеличения их размеров конденсаторы соединяют параллельно в батарее.



$$C = \frac{q}{U} = \sum_i C_i$$

- Общим является напряжение U

$$q_1 = C_1 \cdot U \quad q_2 = C_2 \cdot U \quad q_3 = C_3 \cdot U$$

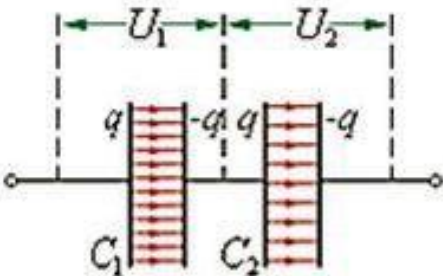
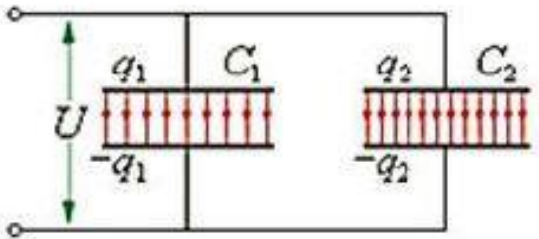
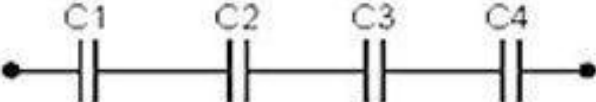
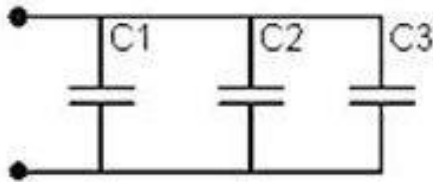
- Суммарный заряд батареи q

$$q = q_1 + q_2 + q_3 = U(C_1 + C_2 + C_3)$$

- Результирующая емкость C

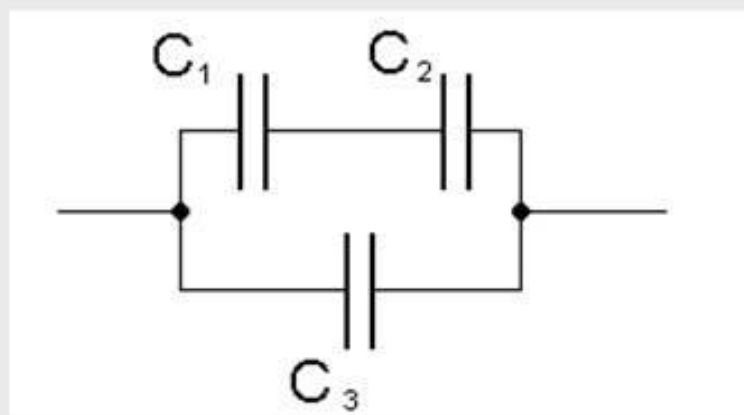
$$C = \frac{q}{U} = C_1 + C_2 + C_3$$

При параллельном соединении конденсаторов емкость батареи равна сумме емкостей включенных в батарею конденсаторов.

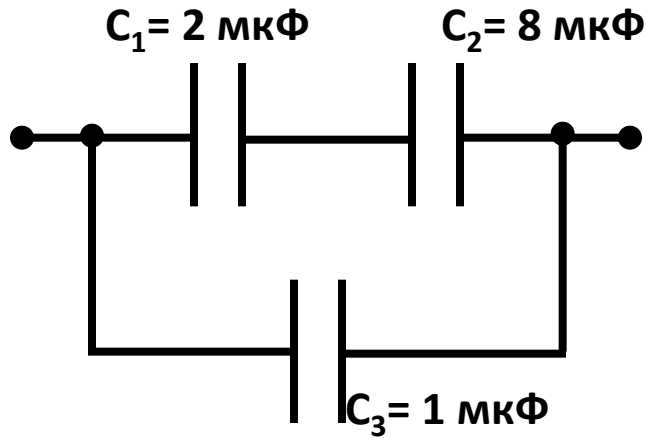
Последовательное соединение	Параллельное соединение
	
	
$U = U_1 + U_2 + \dots + U_i$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_i$
$q = q_1 = q_2 = \dots = q_i$	$q = q_1 + q_2 + \dots + q_i$
$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_i}$	$C = C_1 + C_2 + \dots + C_i$

Задача 4

Определить электроёмкость батареи конденсаторов, если $C_1=0,1$ мкФ, $C_2=0,4$ мкФ и $C_3=0,52$ мкФ



1. Найти емкость батареи конденсаторов

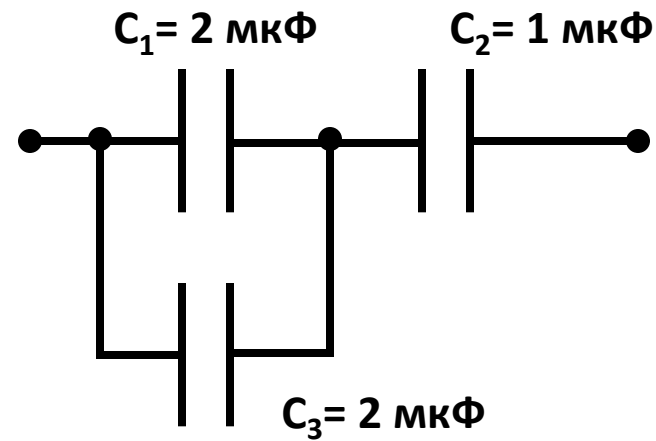


$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_{12} = \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} = 1,6 \text{ мкФ}$$

$$C = C_{12} + C_3 = (1,6 + 1) \text{ мкФ}$$

$$C = 2,6 \text{ мкФ}$$



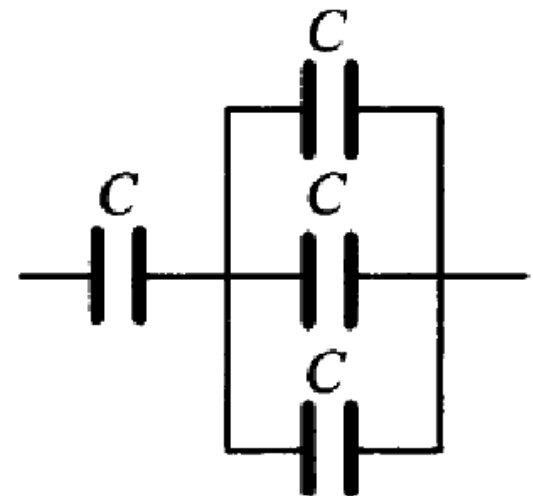
$$C_{13} = C_1 + C_3 = 4 \text{ мкФ}$$

$$C = \frac{C_{13} \cdot C_2}{C_{13} + C_2}$$

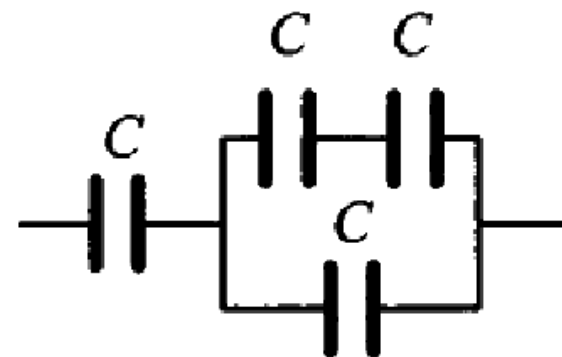
$$C = \frac{4 \cdot 1}{4 + 1} = 0,8 \text{ мкФ}$$

$$C = 0,8 \text{ мкФ}$$

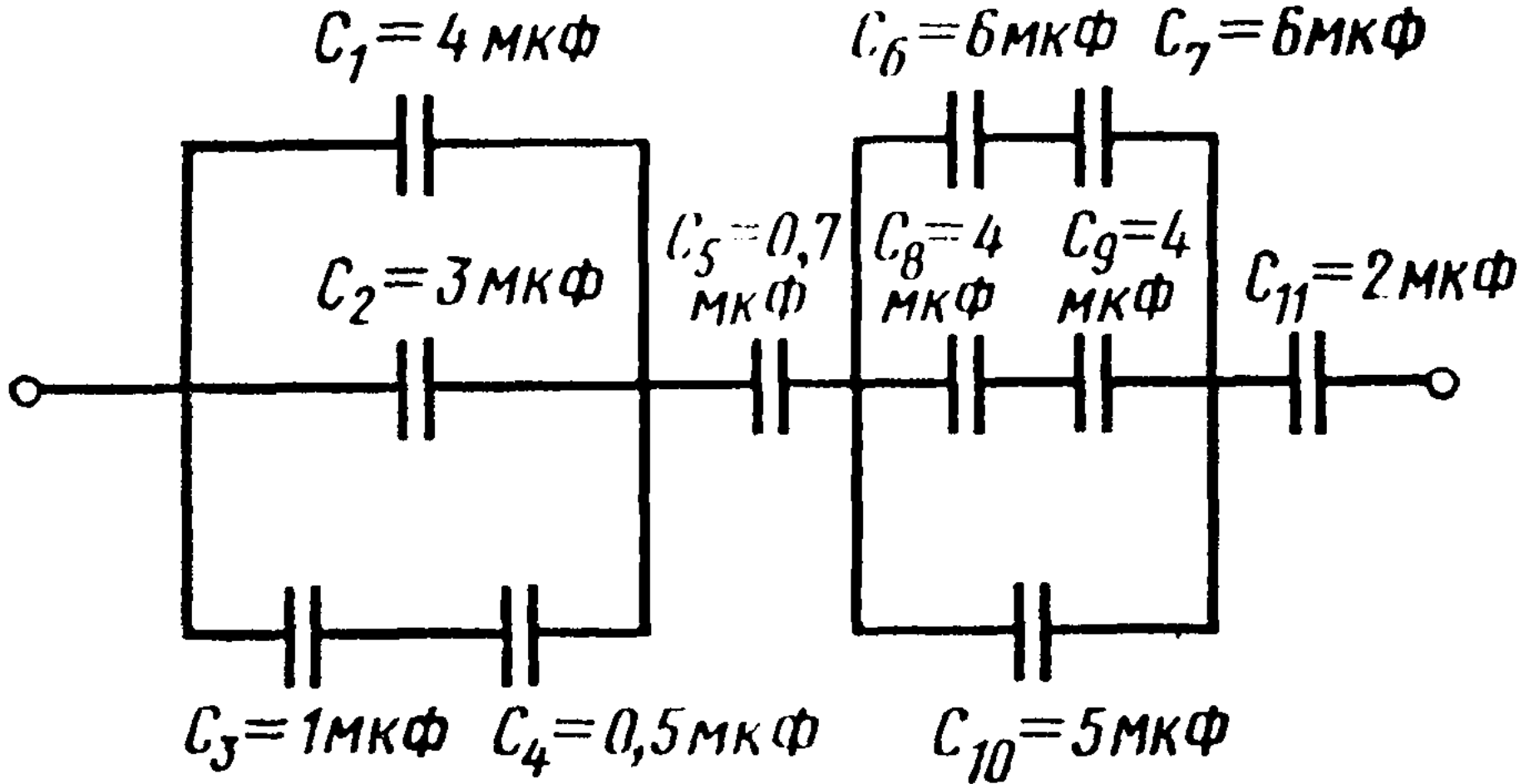
2. Определите электроёмкость батареи, состоящей из четырёх одинаковых конденсаторов; электроёмкость каждого конденсатора C .



3. Определите электроёмкость батареи, состоящей из четырёх одинаковых конденсаторов; электроёмкость каждого конденсатора C .



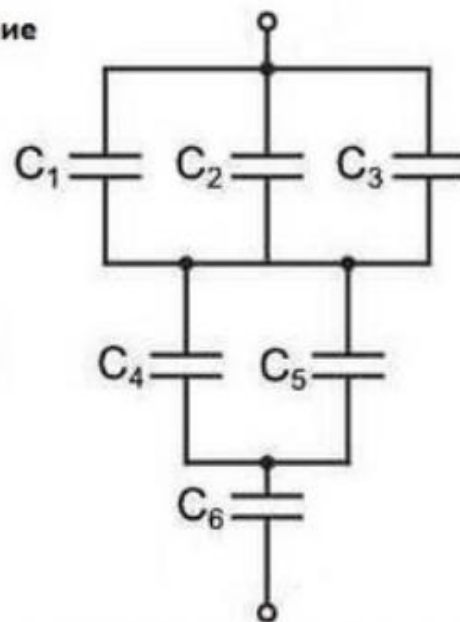
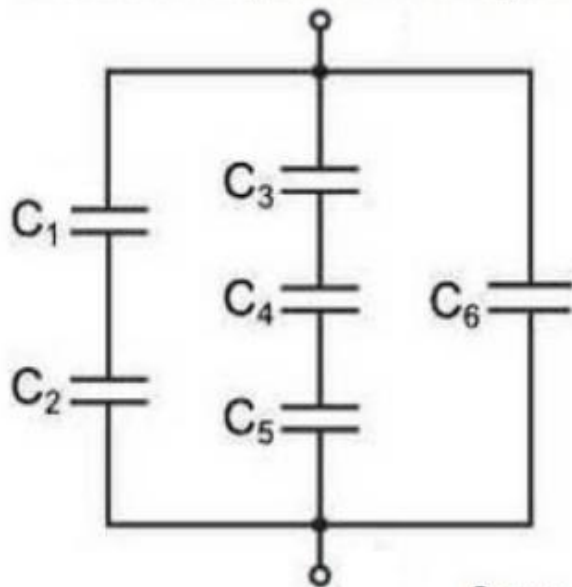
4. Найти емкость батареи конденсаторов



Задача

Определить емкость батареи конденсаторов, если емкость каждого C .

Смешанное параллельное соединение



Смешанное последовательное соединение

Спасибо за
работу
на занятии!

