

Электростатика

Электростатика

- **Электрический заряд**
- **Электрическое поле**
- **Конденсаторы**



Электрический заряд

- Эл. заряд и элементарные частицы
- Закон сохранения эл. заряда
- Закон Кулона






Электрическое поле

- Эл. поле
- Напряженность
- Силовые линии
- Проводники в эл. поле
- Диэлектрики в эл. поле
- Потенциал



Конденсаторы

- **Емкость конденсатора** 
- **Конденсаторы** 
- **Энергия заряженного конденсатора** 

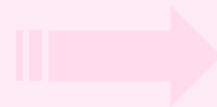


Электрический заряд

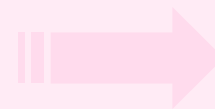
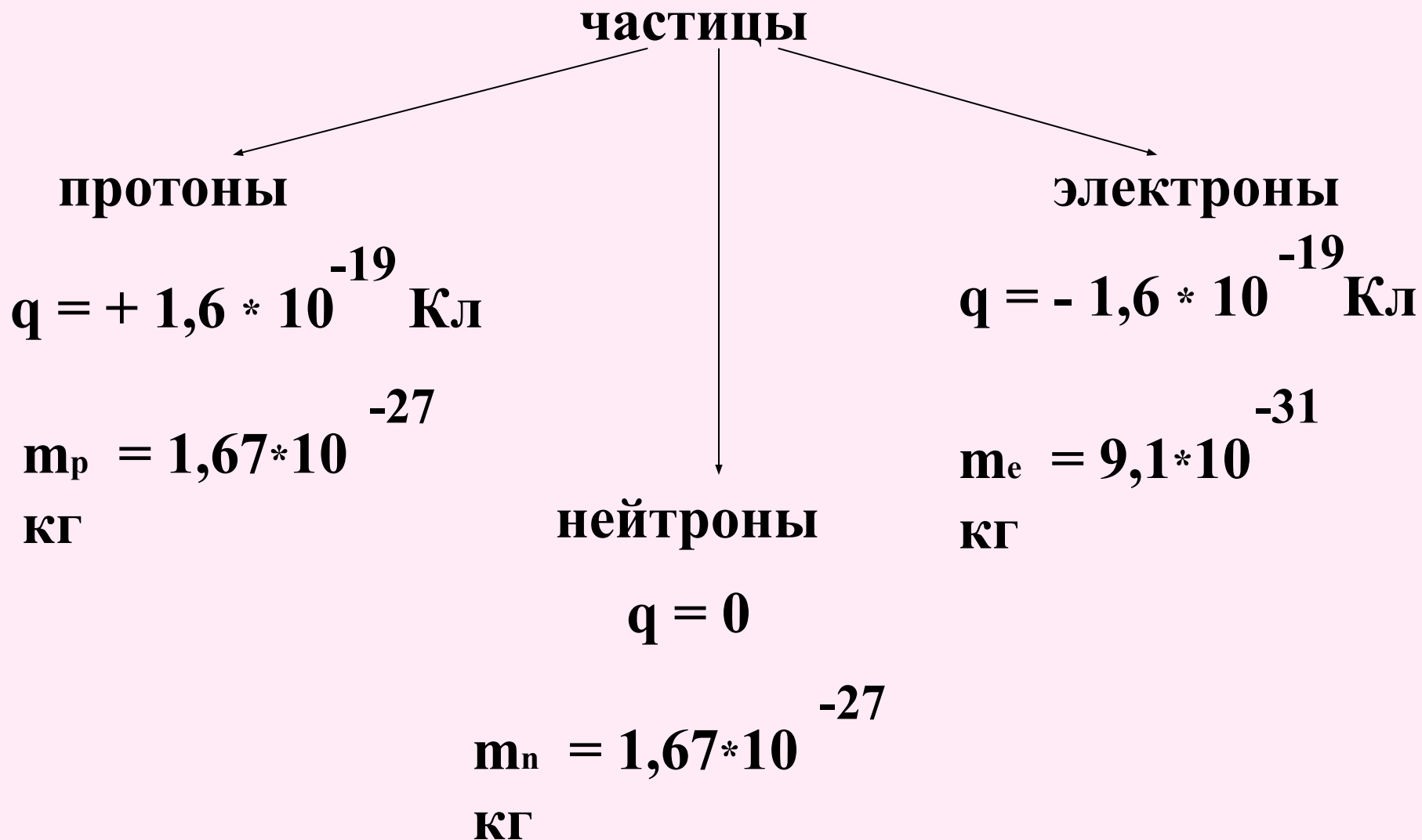
$$[q] = \text{Кл}$$

Один кулон (1 Кл) – это заряд, проходящий за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока 1А.

$q_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ - элементарный
электрический заряд.



Электрический заряд



Закон сохранения заряда

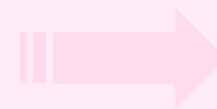
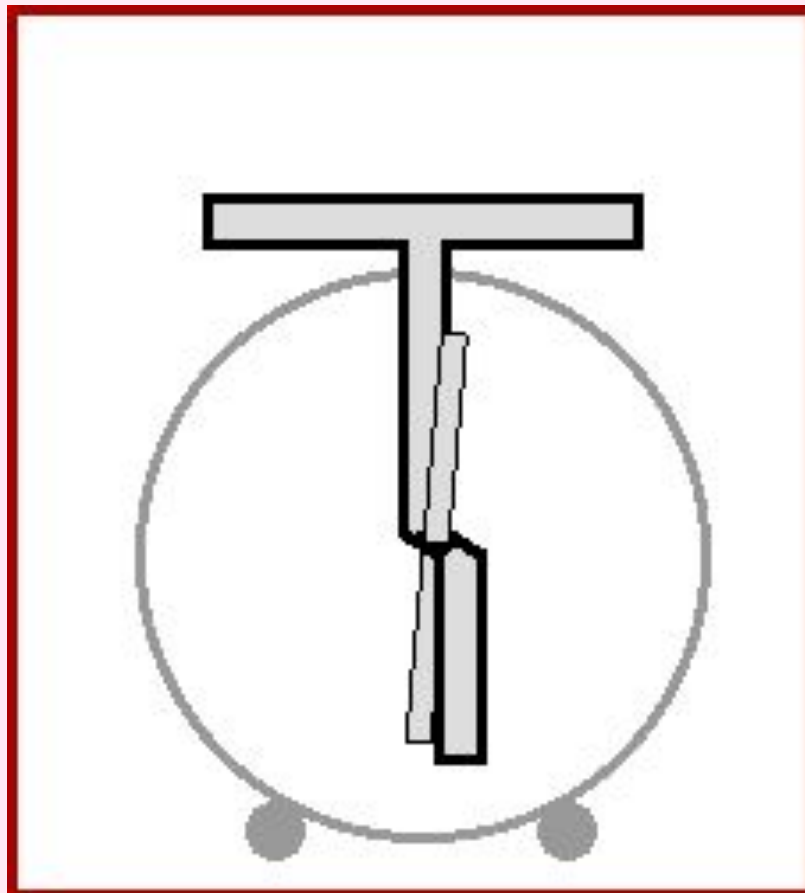
В замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц остается неизменной.

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$$

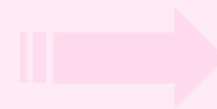
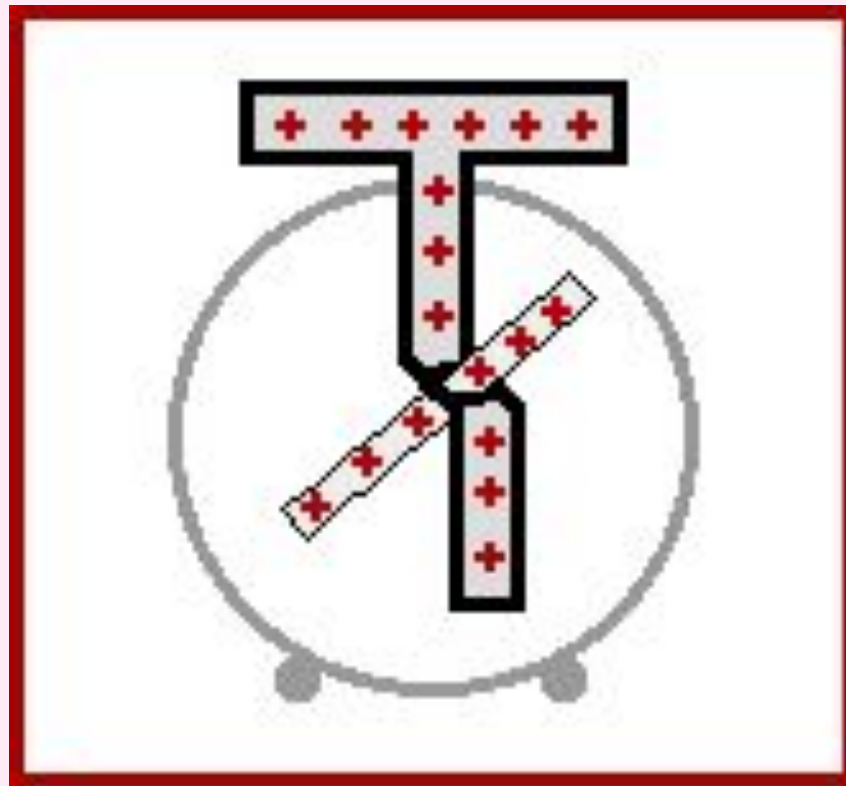
При электризации тел происходит перераспределение зарядов между телами.



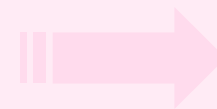
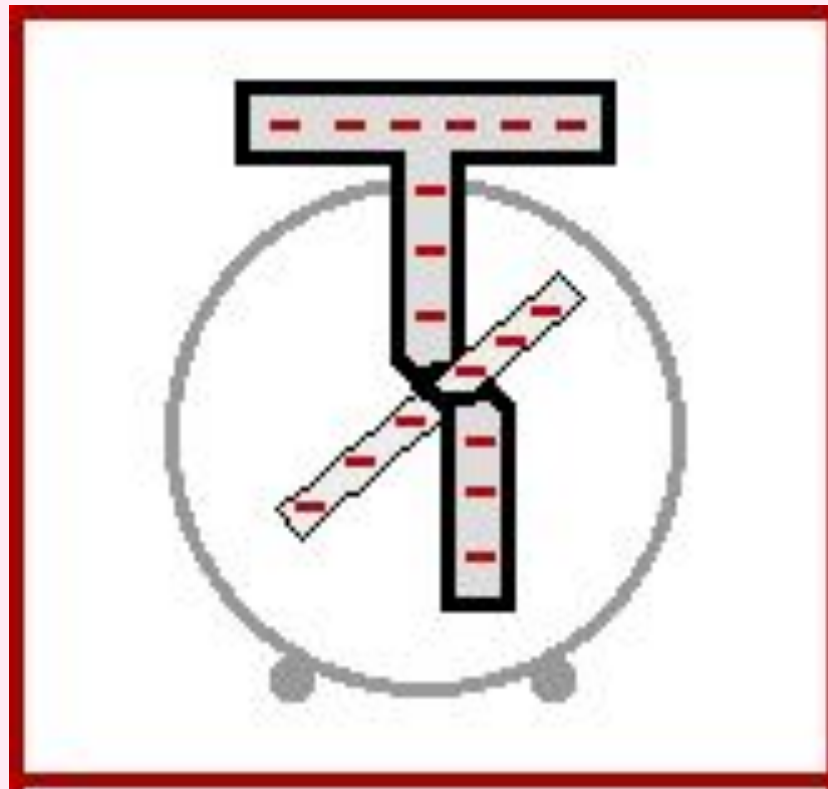
Электризация тел



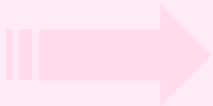
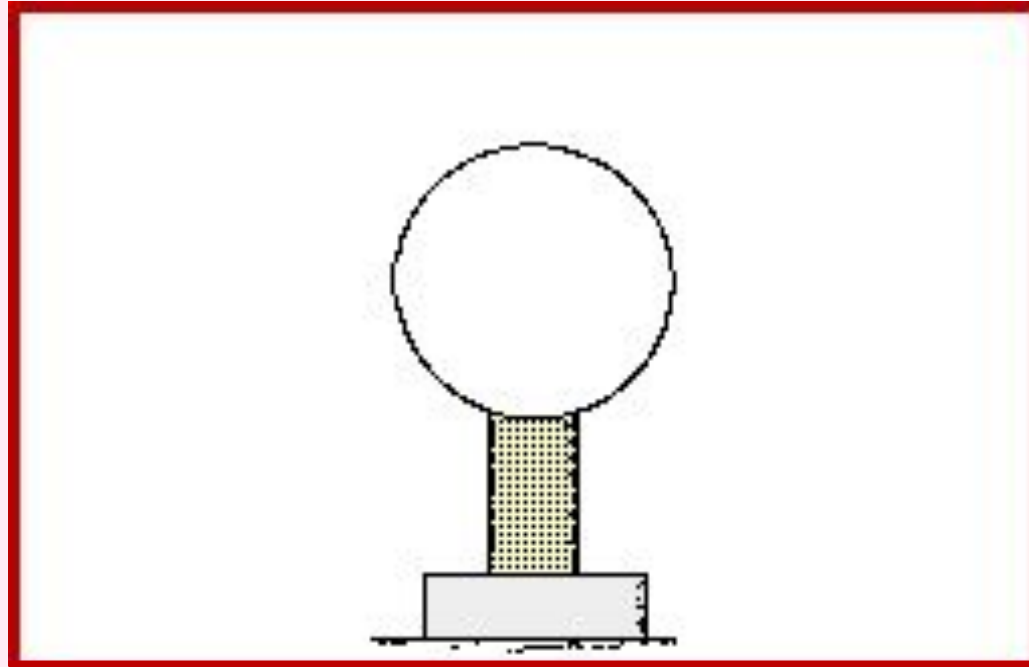
Электризация тел



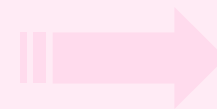
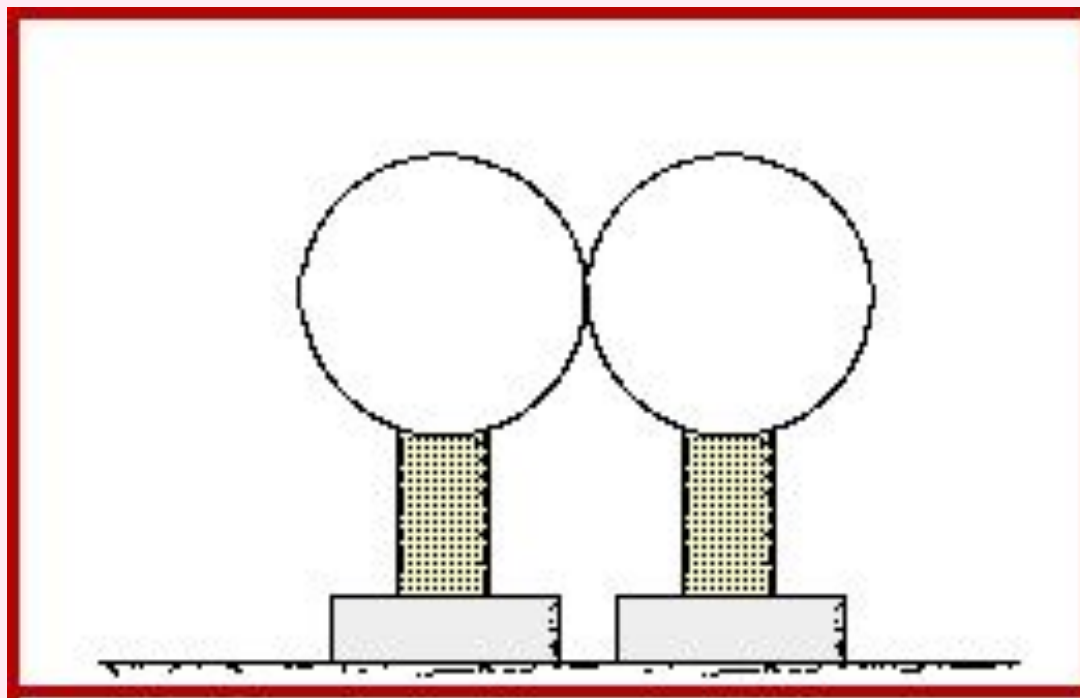
Электризация тел



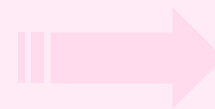
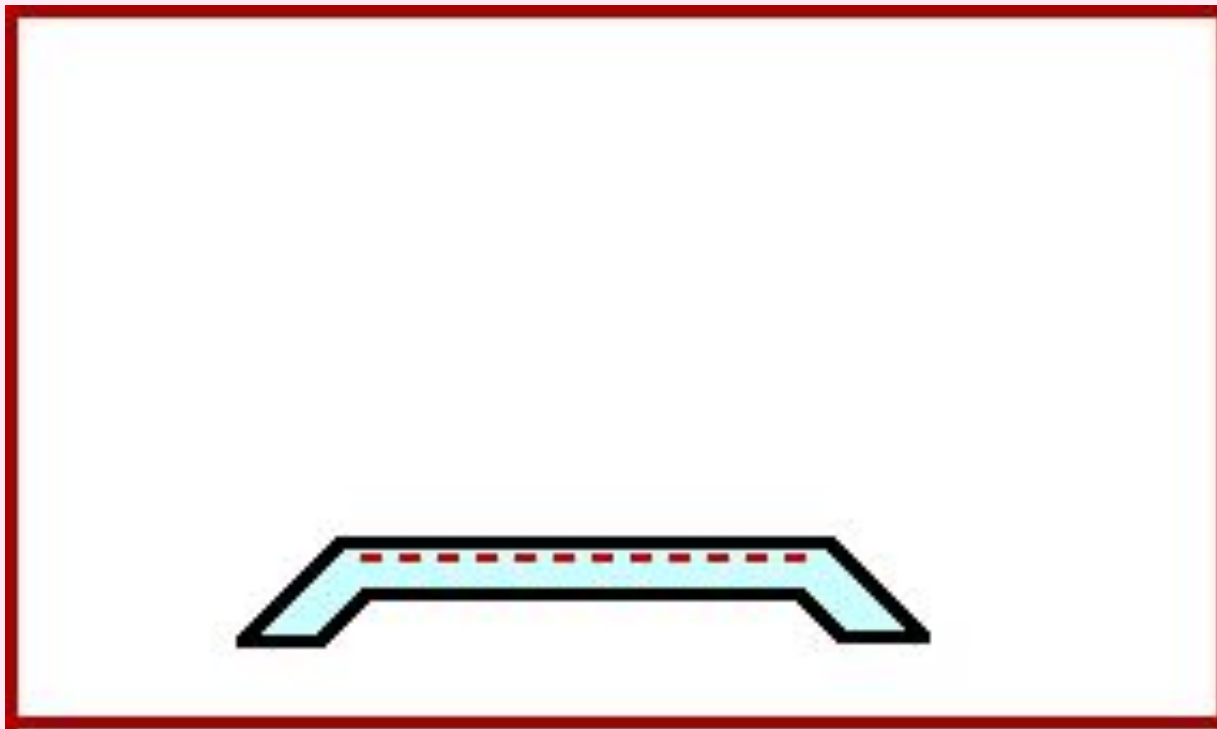
Электризация тел



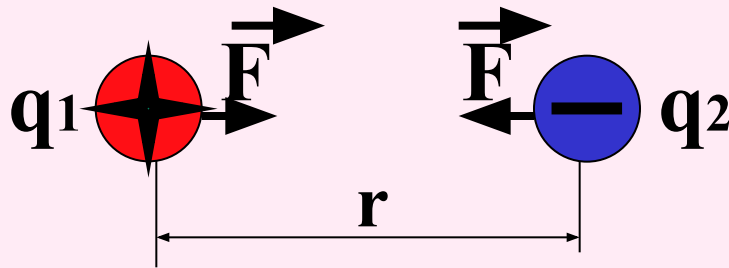
Электризация тел



Электризация тел



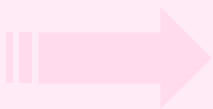
Взаимодействие зарядов



1785
г.

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} - \text{Закон Кулона.}$$

Сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.



Взаимодействие зарядов

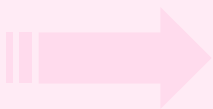
$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

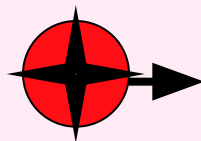
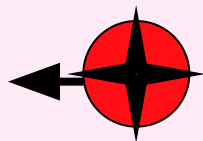
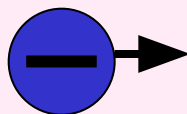
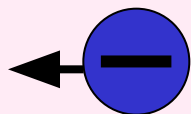
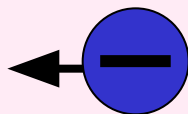
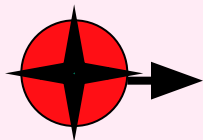
$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{Кл^2}{Н \cdot м^2}$$

к – коэффициент пропорциональности, численно равный силе взаимодействия двух точечных зарядов по 1 Кл, находящихся в вакууме на расстоянии 1 м.

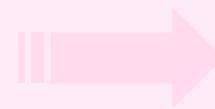
ϵ_0 - электрическая постоянная.



Взаимодействие зарядов

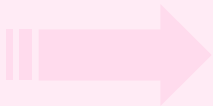
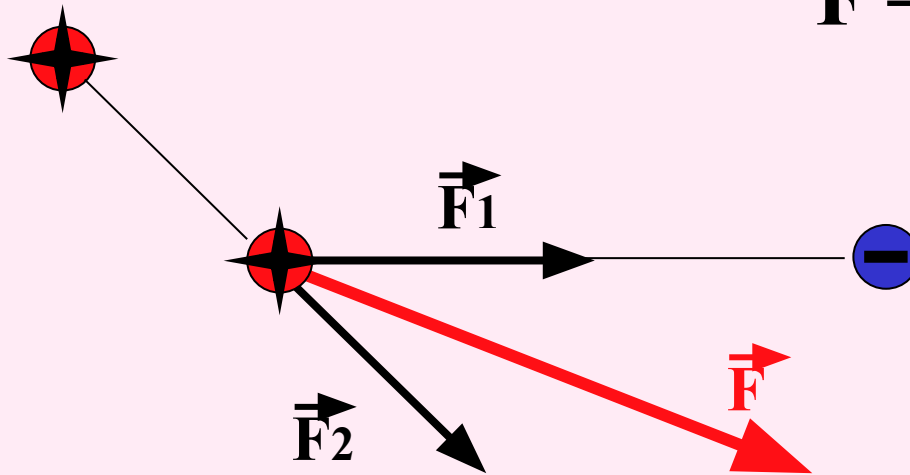


**Разноименные
заряды
притягиваются, а
одноименные
отталкиваются.**



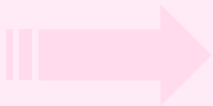
Взаимодействие зарядов

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$



Электрическое поле

- Согласно идее Фарадея электрические заряды не действуют друг на друга непосредственно.
- Каждый из них создает в окружающем пространстве **электрическое поле**.
- Поле одного заряда действует на другой заряд и наоборот.
- По мере удаления от заряда поле ослабевает.



Электрическое поле

- **Электрическое поле материально, оно существует независимо от нас и наших знаний о нем.**
- **Главное свойство электрического поля – действие его на электрические заряды с некоторой силой.**
- **Электрическое поле неподвижных зарядов называют **электростатическим**. Оно не меняется со временем.**



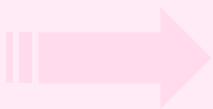
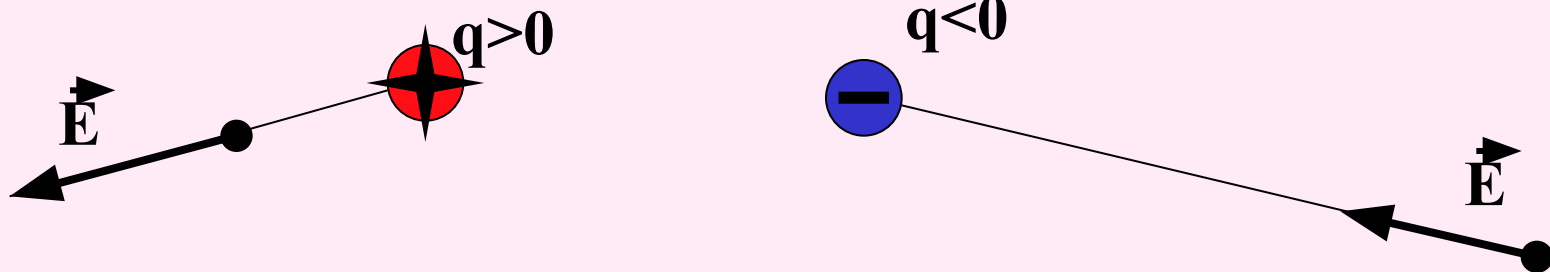
Напряженность электрического поля

Напряженность – силовая характеристика электрического поля – она определяет силу, с которой эл. поле действует на эл. заряд.

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

$$[E] = \frac{H}{Кл}$$

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

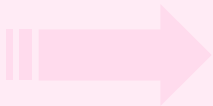
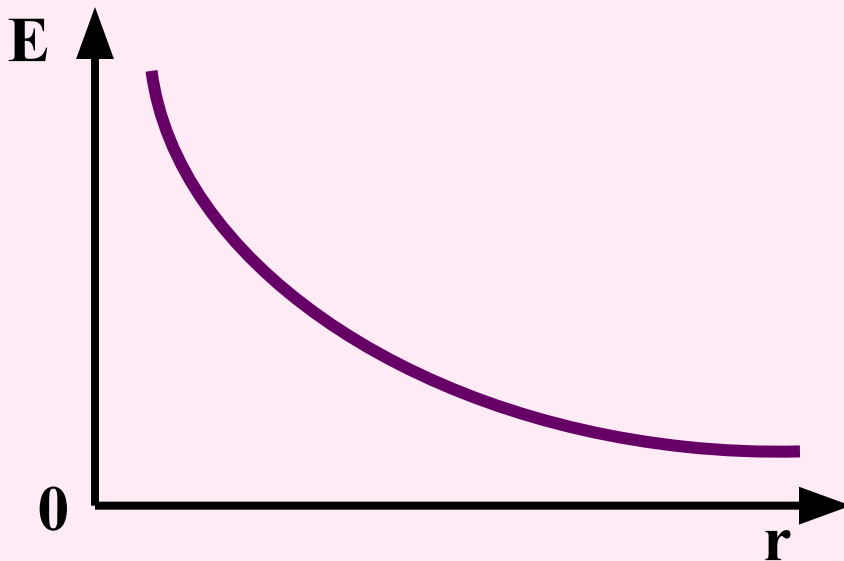


Напряженность электрического поля

ПОЛЯ

$$\vec{F} = \vec{E} \cdot q$$
$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$
$$E = k \frac{|q|}{r^2}$$

**Напряженность эл. поля
точечного заряда на
расстоянии r от него.**

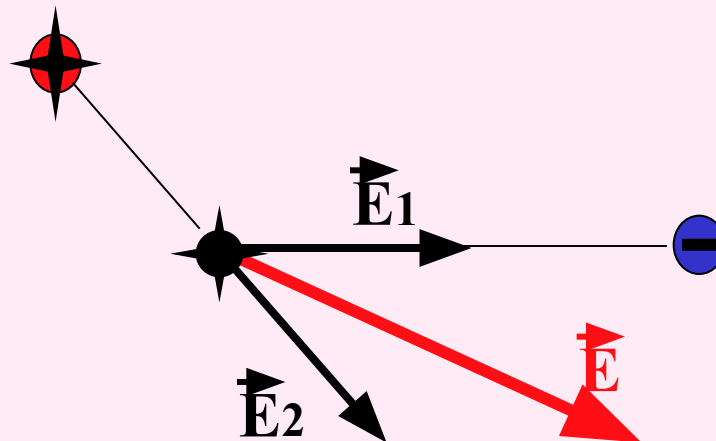


Напряженность электрического поля

ПОЛЯ

Принцип суперпозиции полей.

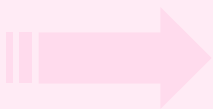
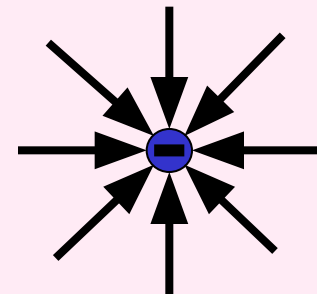
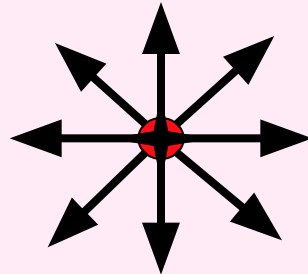
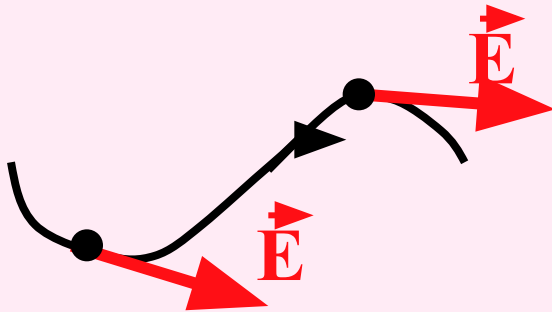
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$



Напряженность электрического поля

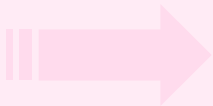
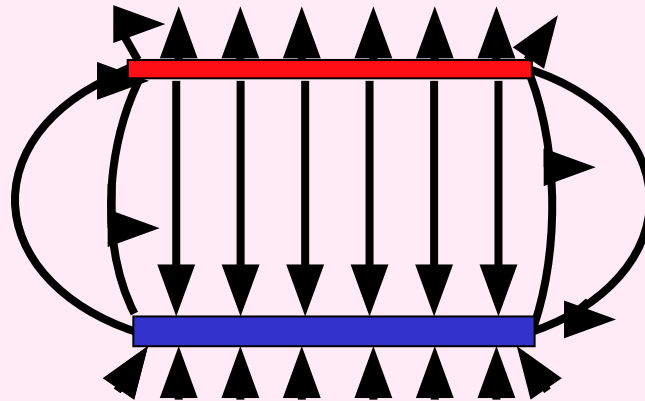
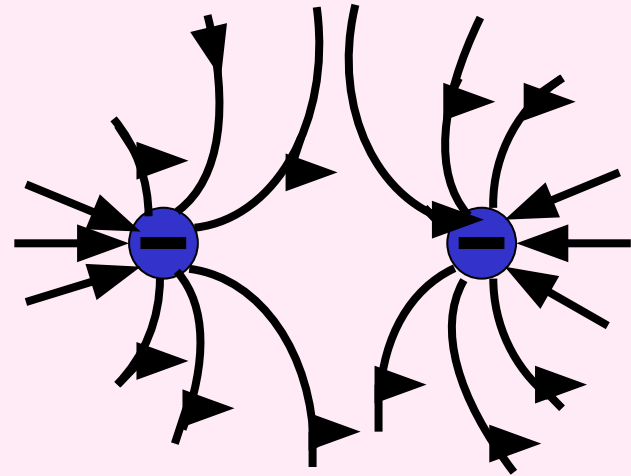
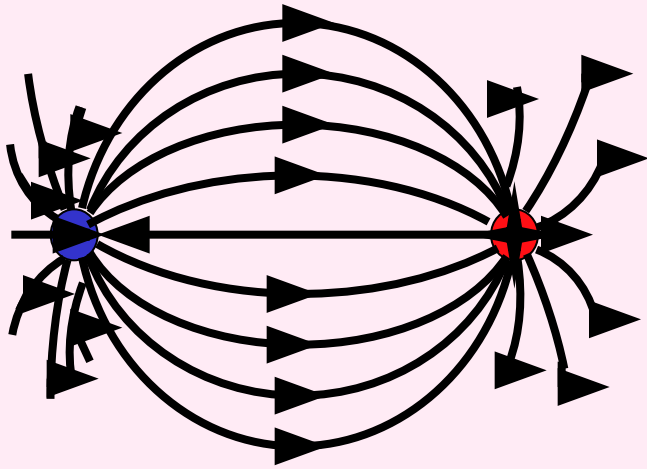
ПОЛЯ

Линии напряженности (или силовые линии электрического поля) – это непрерывные линии, касательные к которым в каждой точке, через которую они проходят, совпадают с векторами напряженности.



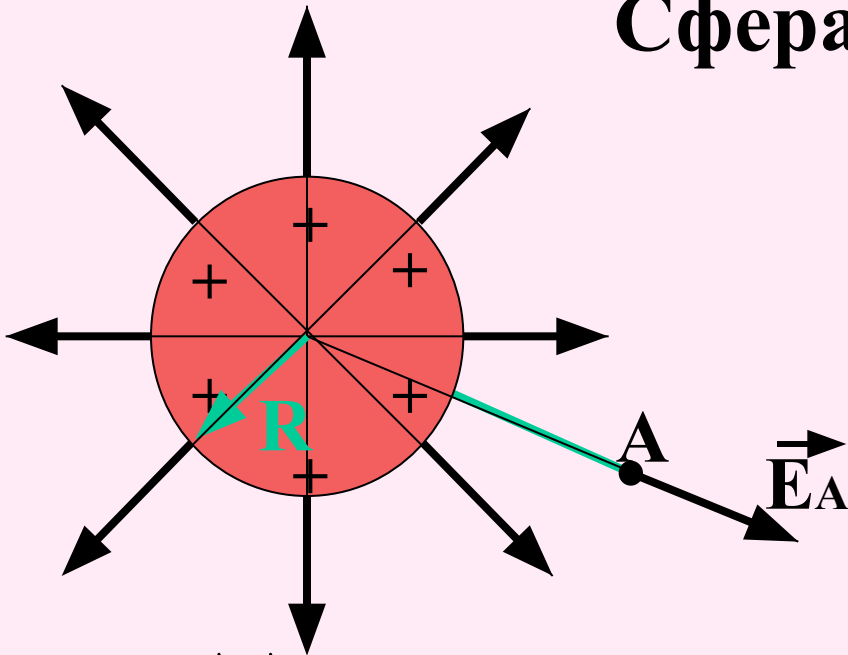
Напряженность электрического поля

ПОЛЯ



Напряженность электрического ПОЛЯ

Сфера.

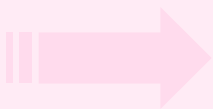
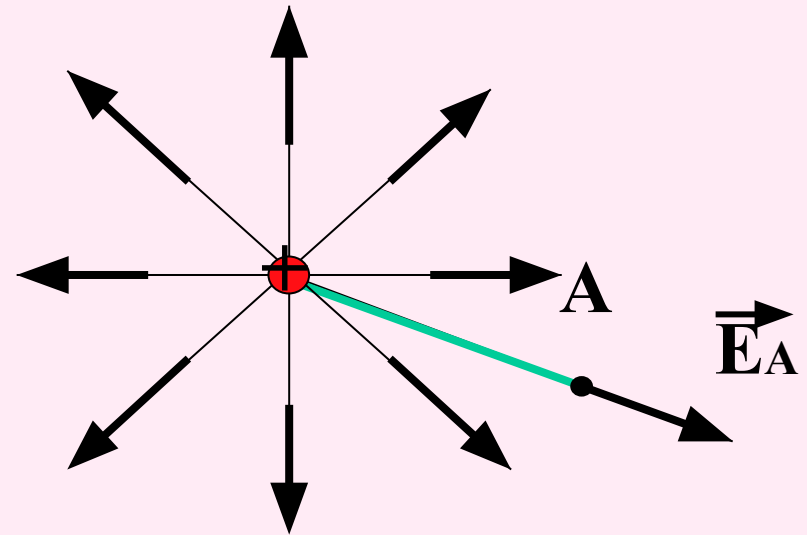


$$E = k \frac{|q|}{R^2}$$

Напряженность поля на
поверхности сферы.

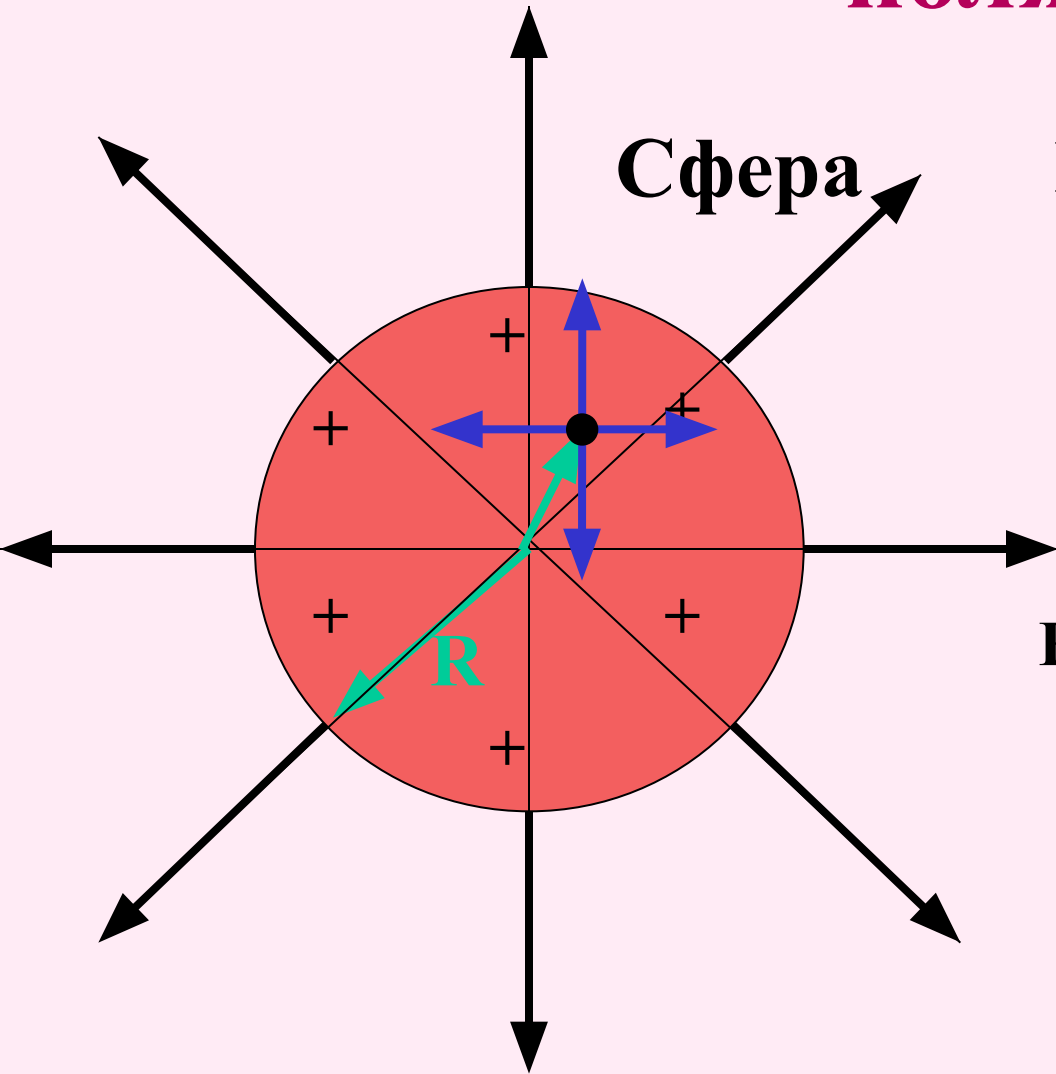
$$E = k \frac{|q|}{(R+r)^2}$$

Напряженность поля вне сферы.



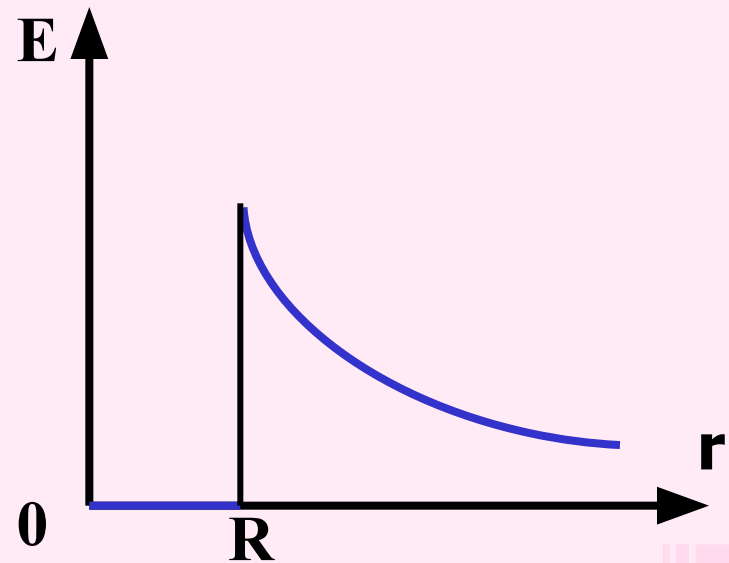
Напряженность электрического поля

ПОЛЯ



Напряженность поля
внутри проводящего
шара равна нулю.

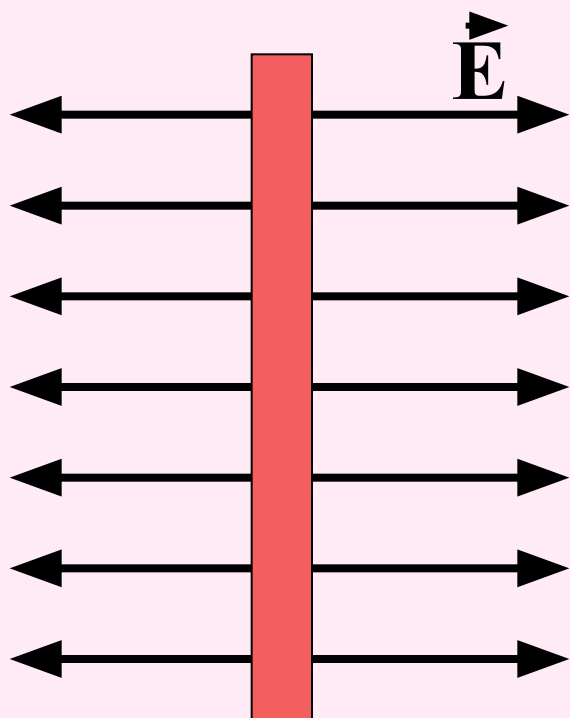
$$E_{\text{внутр}} = 0$$



Напряженность электрического поля

ПЛОЯ

Плоскость

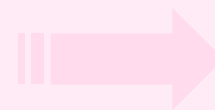


$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \quad \sigma = \frac{q}{S}$$

$$[\sigma] = \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \quad \text{поверхностная}$$

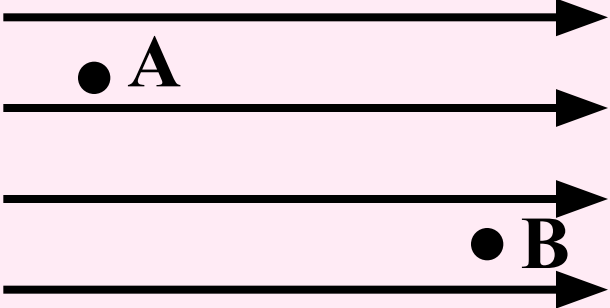
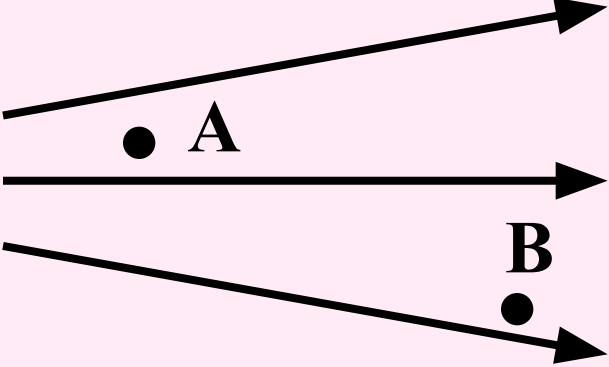
плотность
заряда

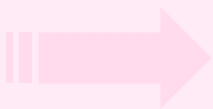
$$E = \frac{q}{2S\varepsilon_0}$$



Напряженность электрического поля

ПОЛЯ

Однородное электрическое поле.	Неоднородное электрическое поле.
	
$E_A = E_B$	$E_A < E_B$

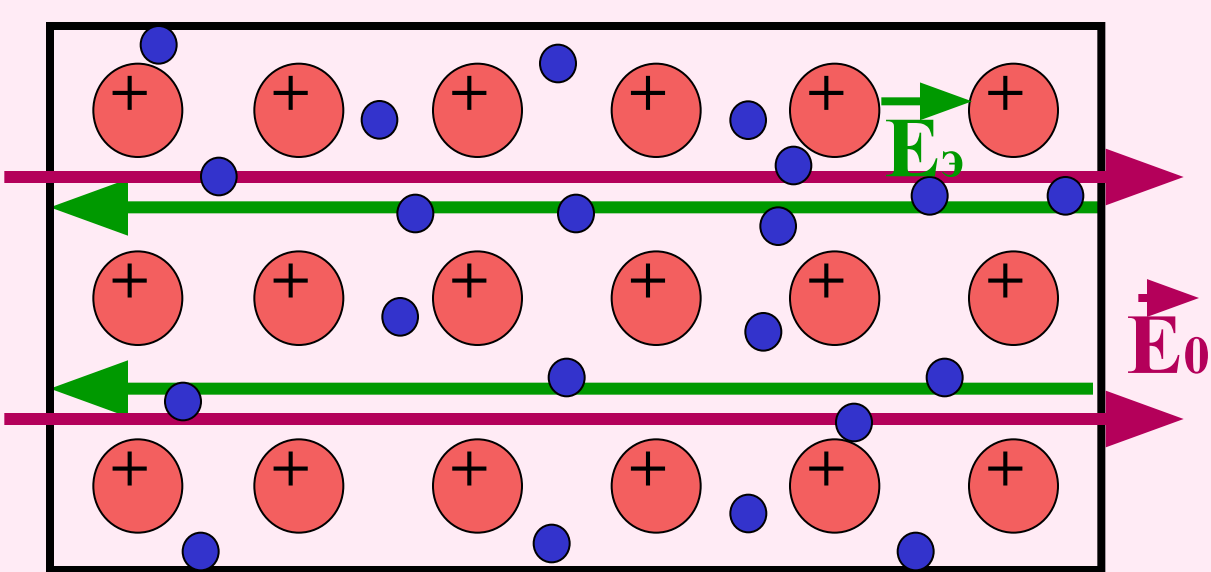


Проводники в электрическом поле

- **Проводники –это вещества с большой концентрацией свободных заряженных частиц.**
- **Проводниками являются металлы, электролиты.**



Проводники в электрическом поле

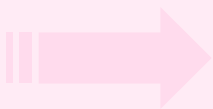


$$\vec{E}_{\text{итог}} = \vec{E}_0 + \vec{E}_3$$

$$E_0 = E_3$$

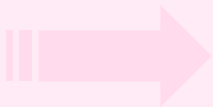
$$E_{\text{итог}} = 0$$

- Электростатического поля внутри проводника нет.
- Весь статический заряд проводника сосредоточен на его поверхности.



Диэлектрики в электрическом поле

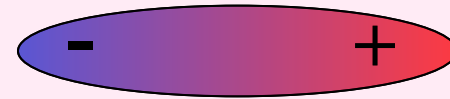
- Диэлектрики (изоляторы) – это вещества, с малой концентрацией свободных заряженных частиц.
- Диэлектриками являются такие вещества как резина, дерево, фарфор.



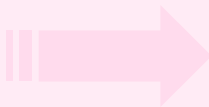
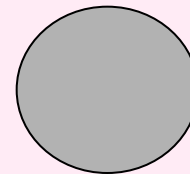
Диэлектрики в электрическом поле

Виды диэлектриков:

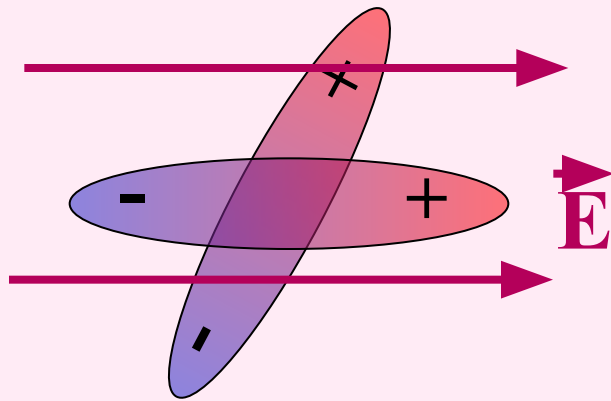
- **Полярные**, состоящие из таких молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов не совпадают. (спирты, вода, поваренная соль).



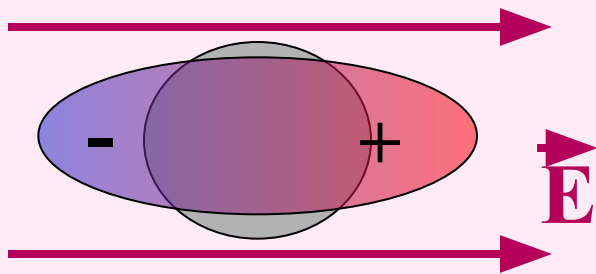
- **Неполярные**, состоящие из атомов или молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов совпадают. (инертные газы, кислород, полиэтилен).



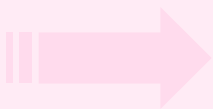
Диэлектрики в электрическом поле



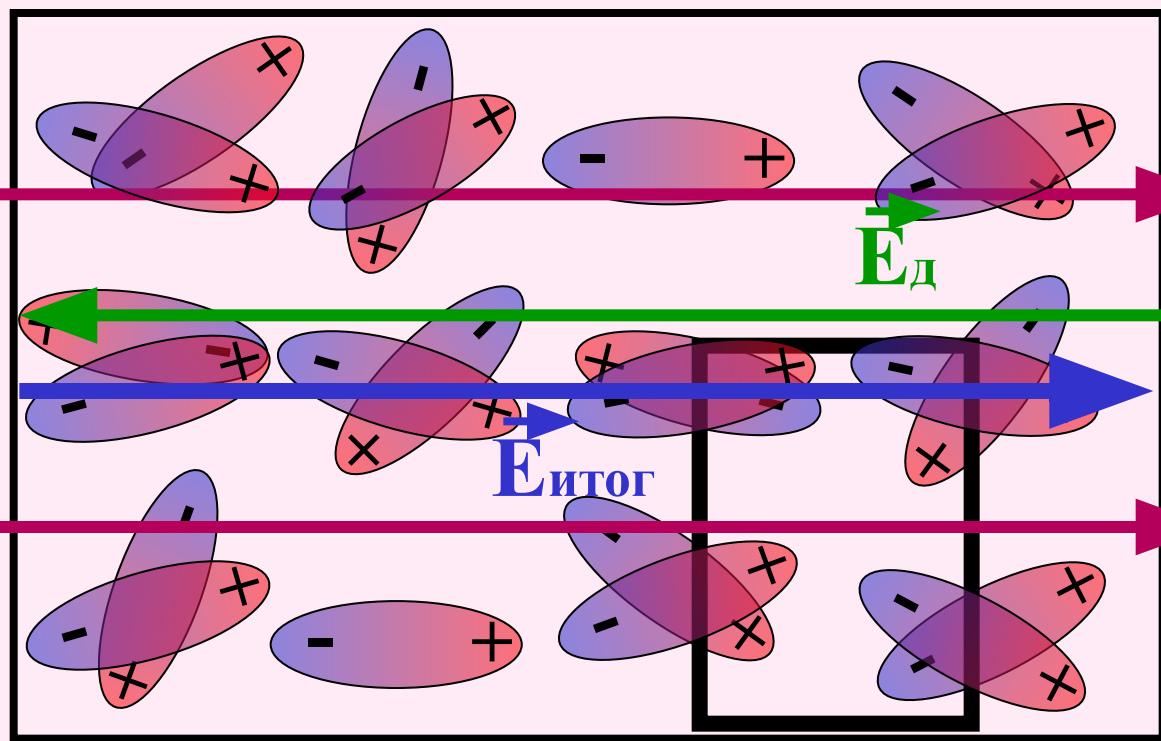
Смещение положительных и отрицательных связанных зарядов диэлектрика в противоположные стороны называют **поляризацией**.



Неполярные диэлектрики в электрическом поле тоже поляризуются.



Диэлектрики в электрическом поле



$$\vec{E}_{итог} = \vec{E}_0 + \vec{E}_d$$

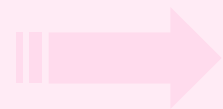
$$E_{итог} = E_0 - E_d$$

$$E_{итог} < E_0$$

$$\vec{E}_0$$

$$E_{итог} = \frac{E_0}{\epsilon}$$

ϵ - диэлектрическая проницаемость вещества



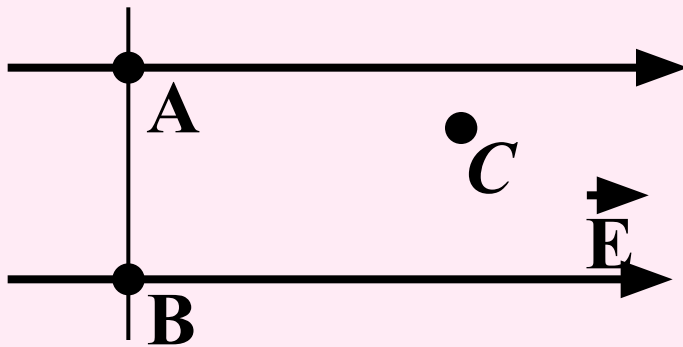
Потенциал

Потенциал – Энергетическая характеристика электрического поля – она определяет энергию, которую приобретает заряженная частица в электрическом поле.

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

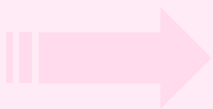
$$[\varphi] = B \quad (\text{вольт})$$

$$1B = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$$



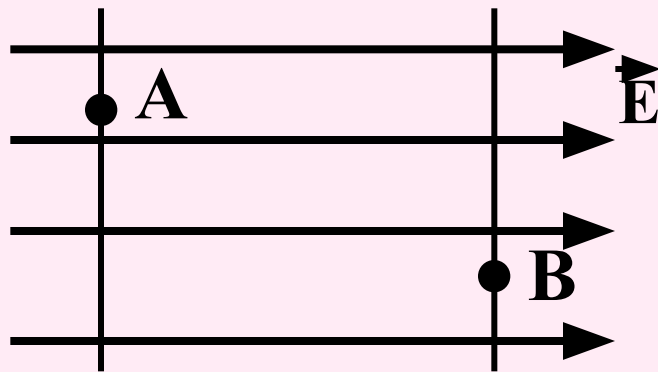
$$\varphi_A = \varphi_B$$

$$\varphi_C < \varphi_A$$

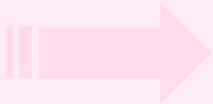
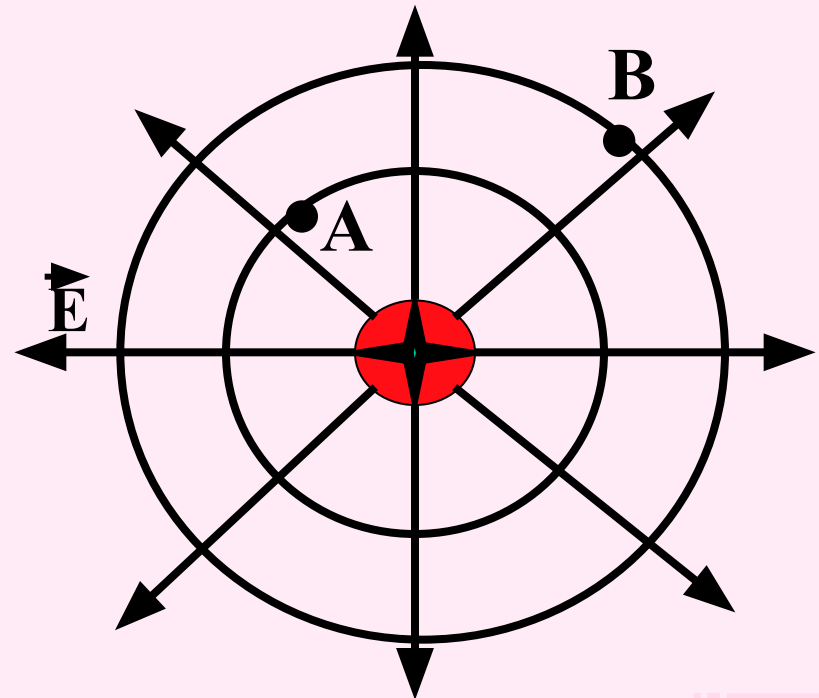


Потенциал

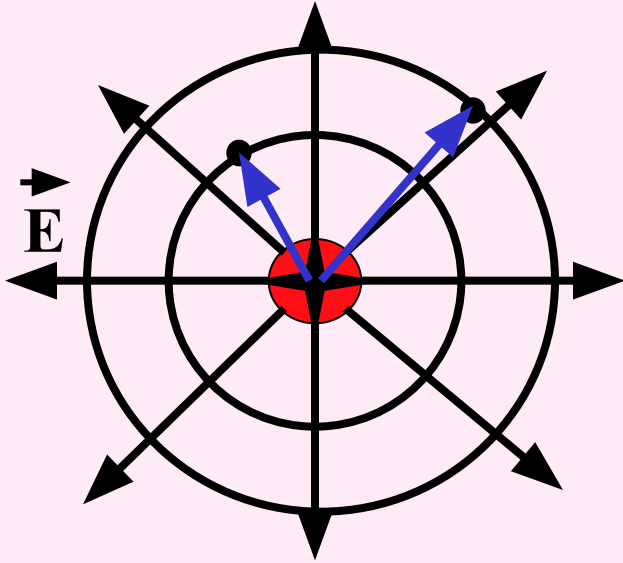
- Поверхности равного потенциала называют **эквипотенциальными поверхностями**.
- Эквипотенциальные поверхности перпендикулярны линиям напряженности.



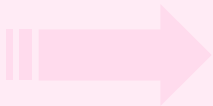
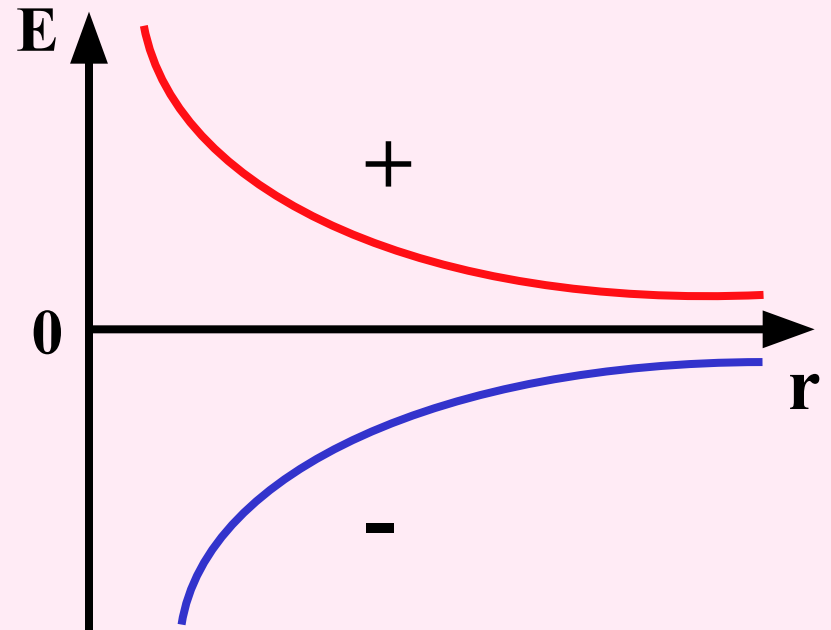
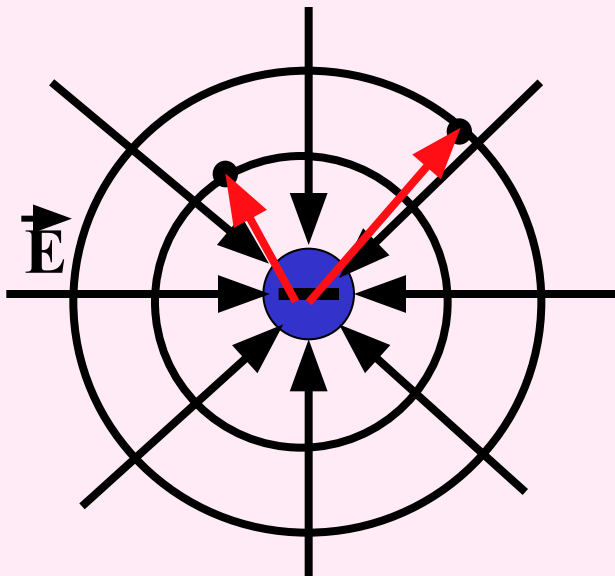
$$\varphi_A > \varphi_B$$



Потенциал



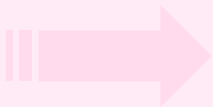
$$\varphi = k \frac{q_0}{r}$$



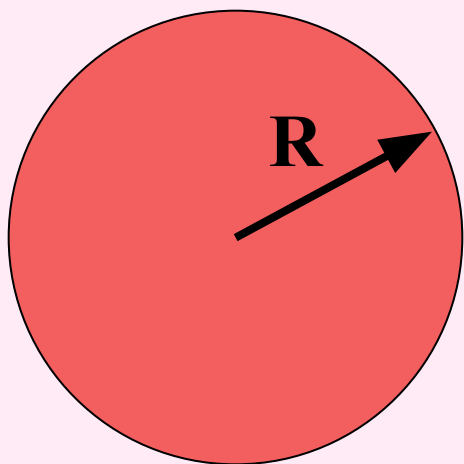
Потенциал

Если поле создано не одним, а несколькими источниками, то потенциал точки равен алгебраической сумме потенциалов исходных полей.

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



Потенциал

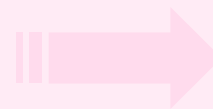
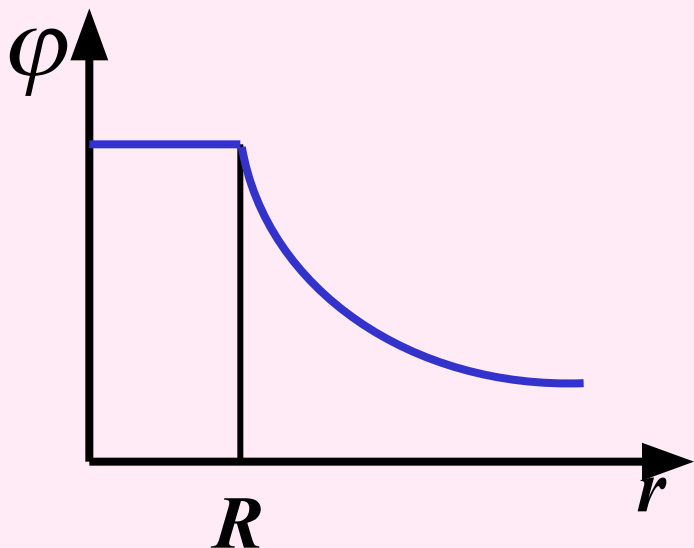


$$\varphi = k \frac{q}{R}$$

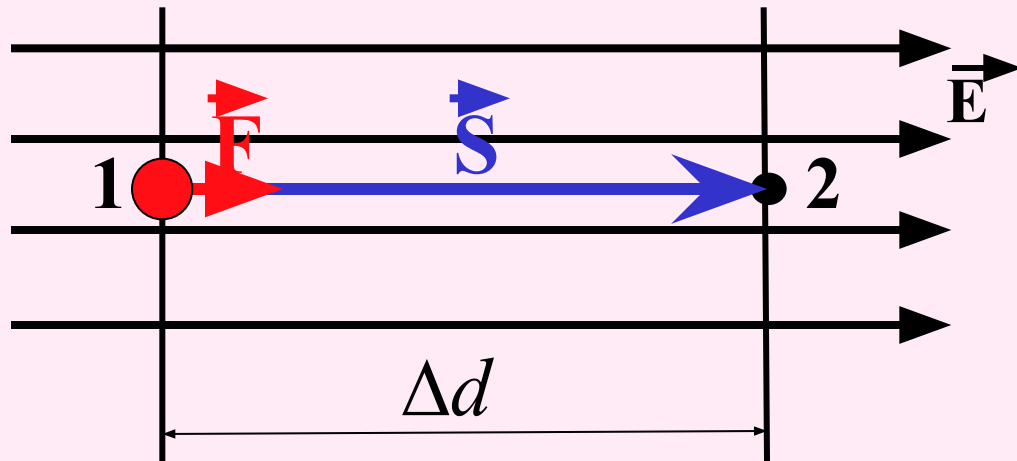
**потенциал внутри и
на поверхности
заряженной сферы**

$$\varphi = k \frac{q}{R + r}$$

**потенциал вне
заряженной сферы**



Работа эл. поля по перемещению эл. заряда



$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$$

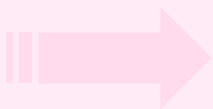
$$F = E \cdot q$$

$$S = \Delta d$$

$$\cos \alpha = 0$$

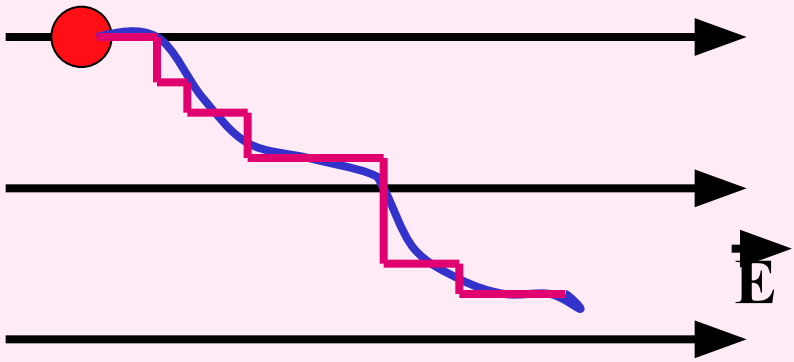
$$A = Eq\Delta d$$

**Работа однородного
электростатического поля по
перемещению электрического
заряда.**



Работа эл. поля по перемещению эл. заряда

Работа эл. поля не зависит от траектории движения заряда, а только от начального и конечного положения заряда.



$$A = A_{\text{гор}} + A_{\text{верт}}$$

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$$

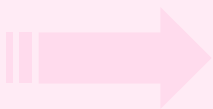
$$A_{\text{верт}} = Eqh \cdot 0$$

$$A_{\text{верт}} = 0$$

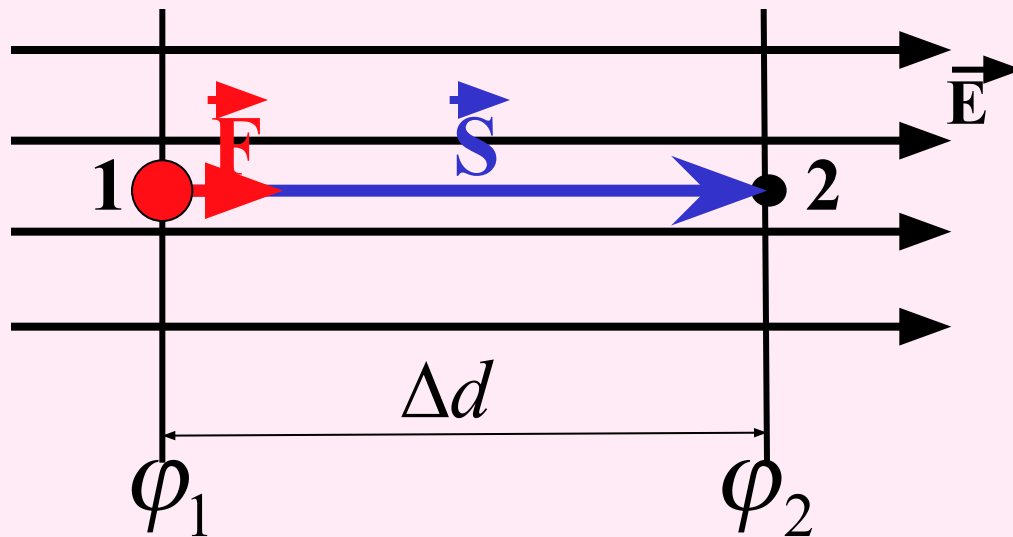
$$A_{\text{гор}} = Eq \cdot (d_1 + d_2 + \dots + d_n) \cdot 1$$

$$A = Eq\Delta d$$

$$A_{\text{гор}} = Eq\Delta d \quad \Delta d = d_1 + d_2 + \dots + d_n$$



Работа эл. поля по перемещению эл. заряда



$$\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi = U$$

$[U] = \text{В}$ - напряжение

$$A = qU$$

$$A = Eq\Delta d$$

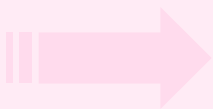
$$A = -\Delta W_E = -(W_{E2} - W_{E1})$$

$$W_E = q\varphi$$

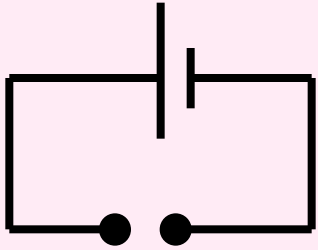
$$A = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

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

$$[E] = \frac{\text{В}}{\text{м}}$$



Электроемкость



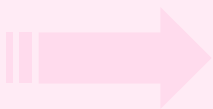
Электроемкость – физическая величина, характеризующая способность проводника накапливать электрический заряд.

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

$$[C] = \Phi \quad (\text{фарад})$$

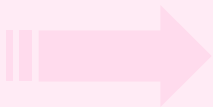
$$1\Phi = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$$

Электроемкость двух проводников равна 1 Ф, если при сообщении им зарядов +1 Кл и -1Кл между ними возникает разность потенциалов 1В.

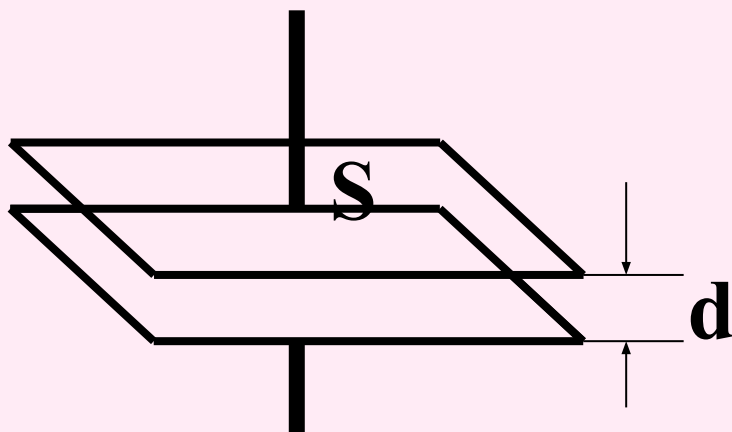


Конденсаторы

- **Емкость** определяется геометрическими размерами проводников, их формой и взаимным расположением, а так же электрическими свойствами окружающей среды.
- Большой емкостью обладают системы из двух проводников, называемые **конденсаторами**.
- Конденсатор представляет собой два проводника, разделенные слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводника.
- Проводники в этом случае называют **обкладками** конденсатора.
- Под зарядом конденсатора понимают абсолютное значение заряда одной из обкладок.

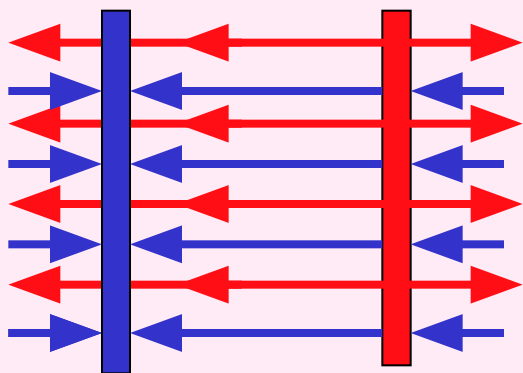


Конденсаторы



Емкость плоского конденсатора.

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



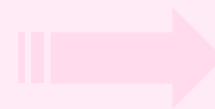
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$

$$E = E_1 + E_2$$

$$E = \frac{q}{2S\epsilon_0}$$

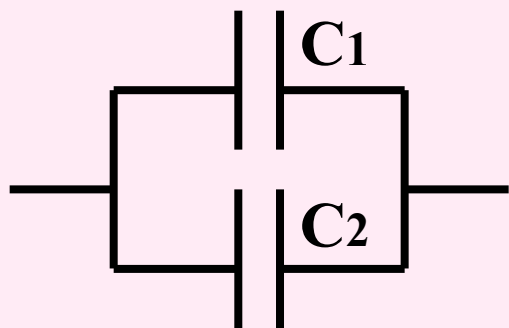
$$E_{\text{умог}} = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S}$$

$$C = \frac{q}{U} \quad U = E \cdot d$$



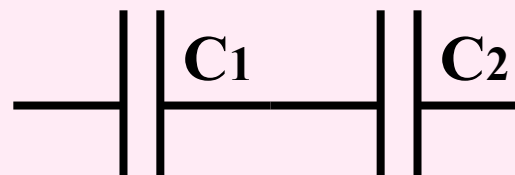
Конденсаторы

**Параллельное
соединение
конденсаторов.**

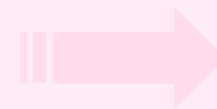


$$C = C_1 + C_2 + \dots$$

**Последовательное
соединение
конденсаторов.**

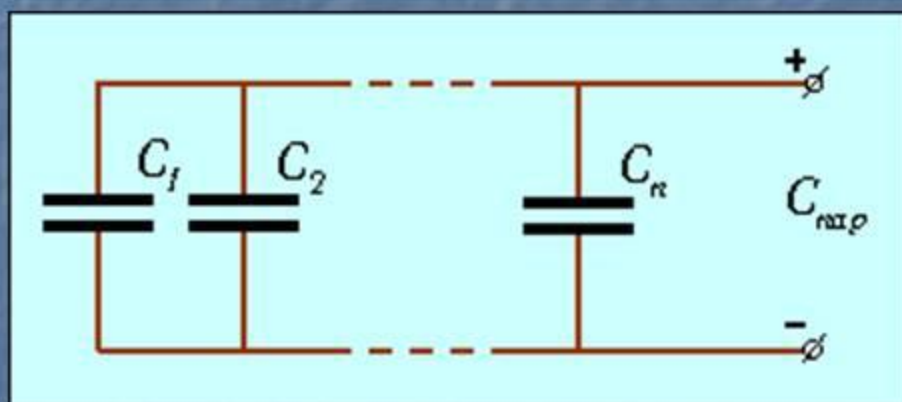


$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$



Параллельное соединение конденсаторов

Параллельное соединение конденсаторов – это такое соединение конденсаторов, при котором все отрицательно заряженные обкладки конденсаторов присоединяются к одному проводу, а все положительно заряженные обкладки – к другому.

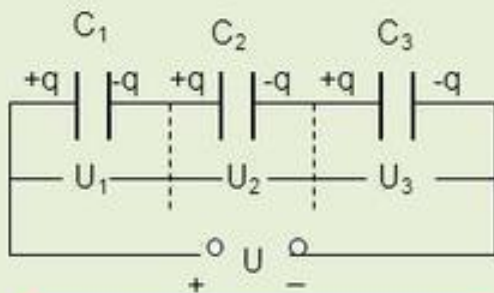


Конденсаторы

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

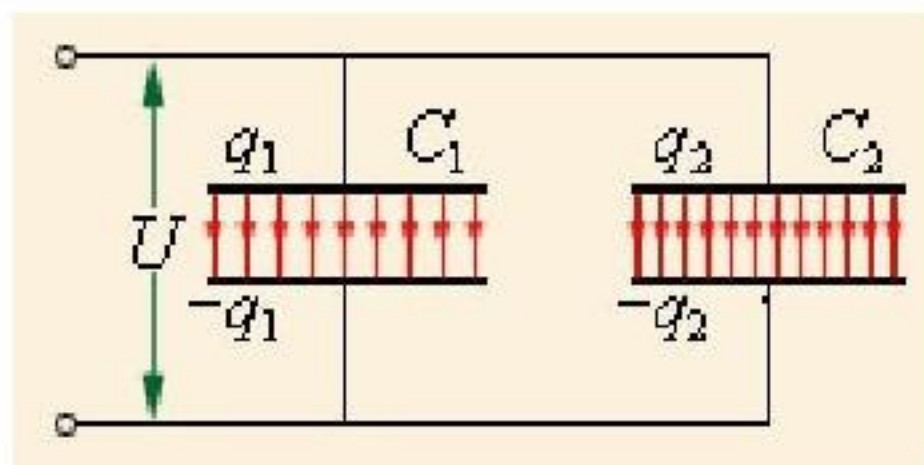
$$U_1 = \frac{q}{C_1} \quad U_2 = \frac{q}{C_2} \quad U_3 = \frac{q}{C_3}$$

- суммарное напряжение U

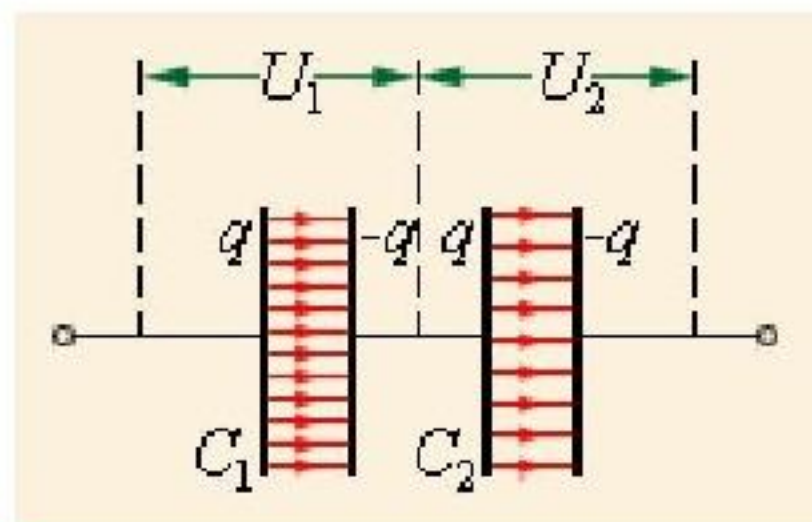
$$U = \sum_i U_i = q \left(\sum_i \frac{1}{C_i} \right)$$

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

Формулы для параллельного и последовательного соединения остаются справедливыми при любом числе конденсаторов, соединенных в батарею.



Параллельное соединение конденсаторов. $C = C_1 + C_2$.




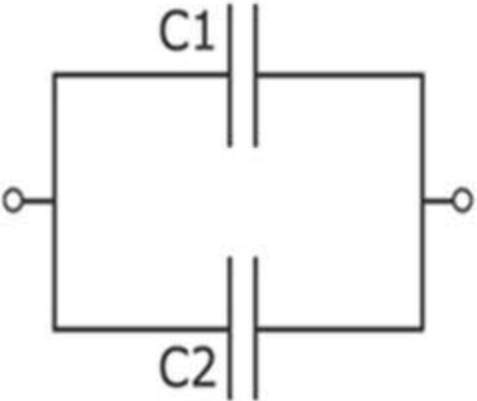
Последовательное соединение конденсаторов. $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$.

В случае соединения n одинаковых конденсаторов

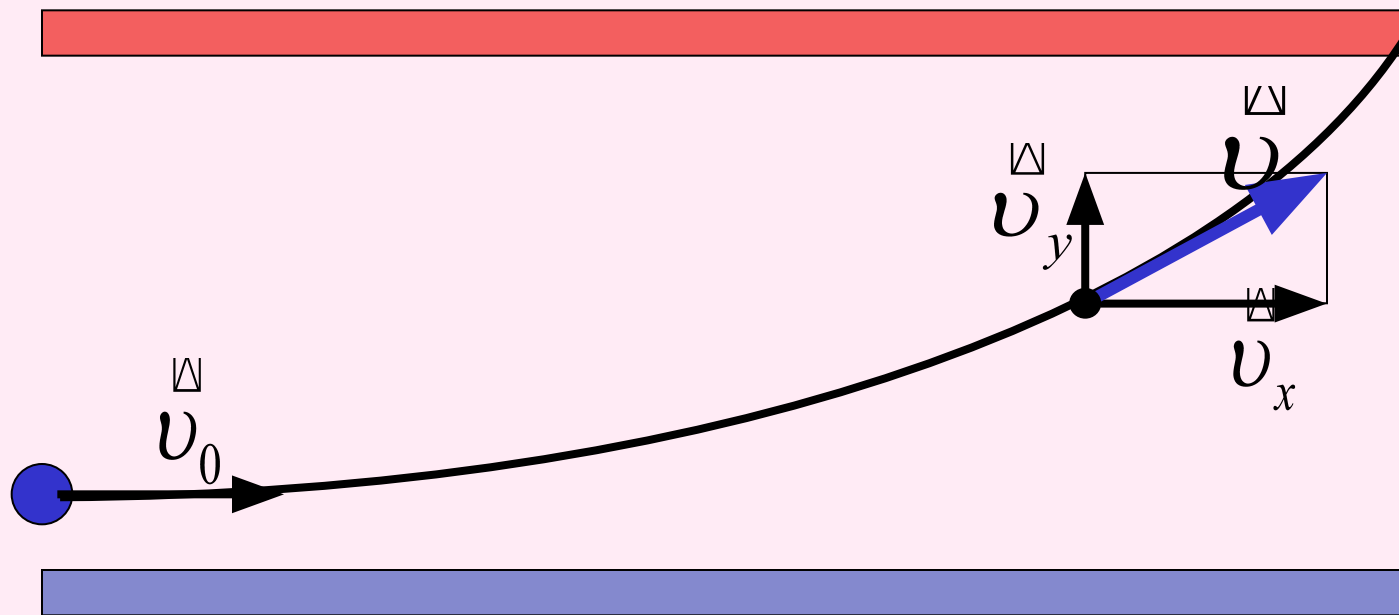
$$C = n \cdot C$$

$$C = \frac{C}{n}$$

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

Конденсатор



$$\vec{u} = \vec{u}_x + \vec{u}_y$$

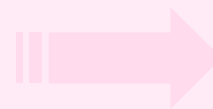
$$u_x = u_{0x} = \text{const}$$

$$u_{0y} = 0$$

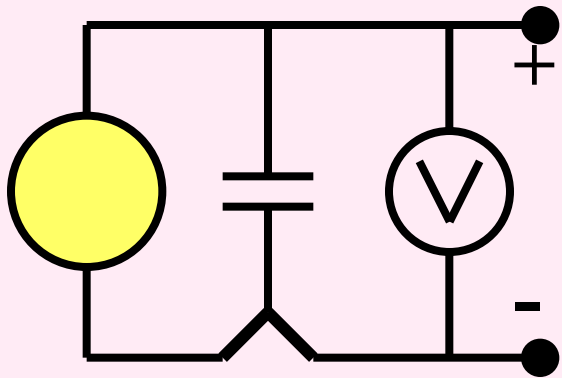
$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$$

$$u_y = u_{0y} + at$$

$$a = \frac{Eq_{\text{част}}}{m_{\text{част}}}$$



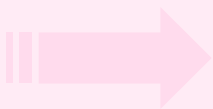
Энергия заряженного конденсатора



$$W_E = q \frac{E}{2} d$$

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

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



Энергия заряженного конденсатора

Плоский конденсатор.

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} \\ U &= E \cdot d \\ W_E &= \frac{CU^2}{2} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} W_E &= \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 Sd \\ w_E &= \frac{W}{V} = \frac{W}{Sd} \end{aligned} \quad [w_E] = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$$

$$w_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 \quad \text{- плотность энергии эл. поля.}$$

