

# 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**
- **Конденсаторы**
- **Энергия заряженного конденсатора**

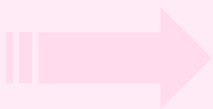


# Электрический заряд

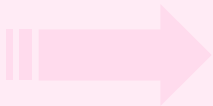
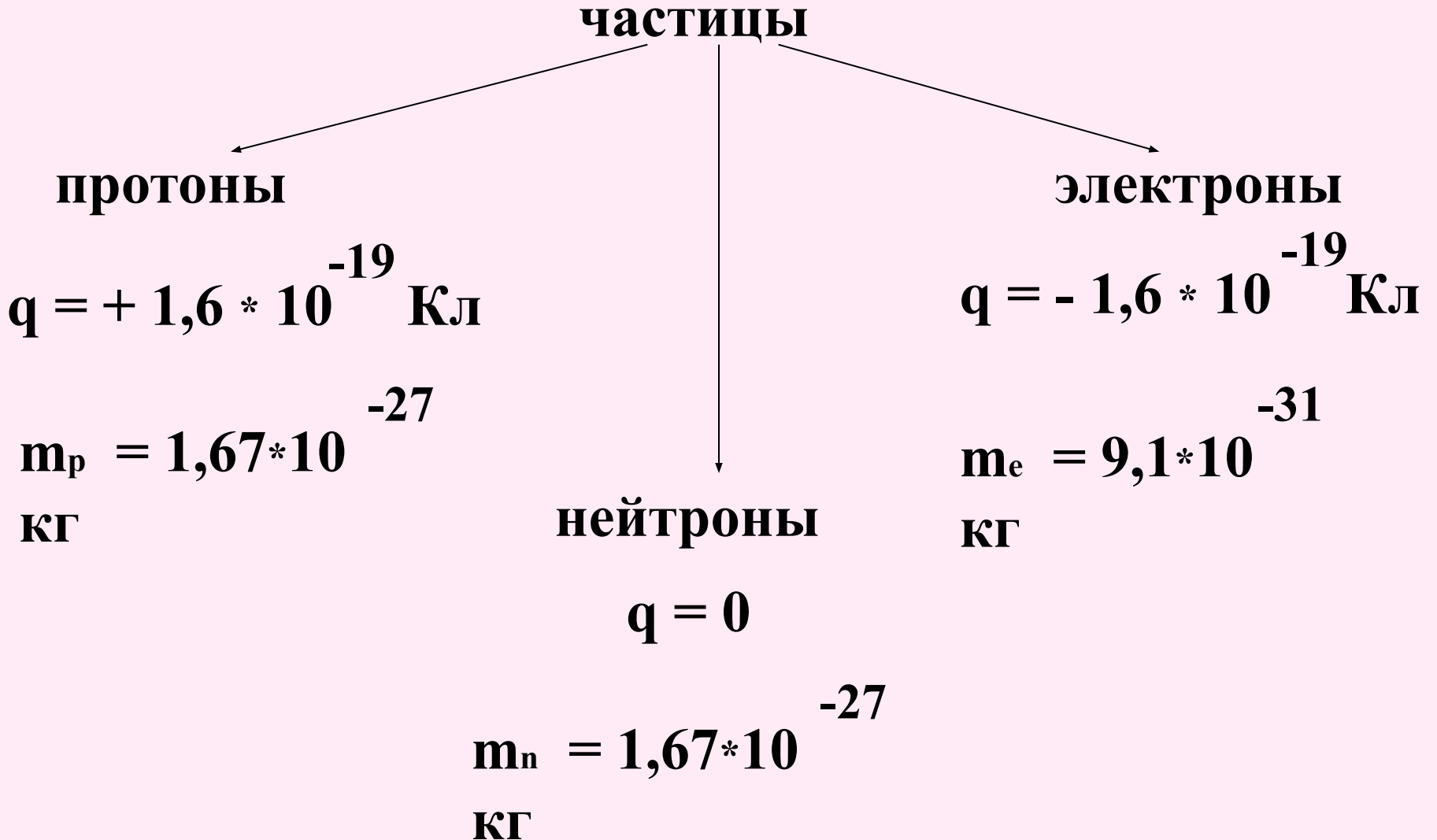
$$[q] = \text{Кл}$$

**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

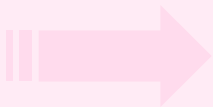


# Закон сохранения заряда

**В замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц остается неизменной.**

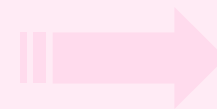
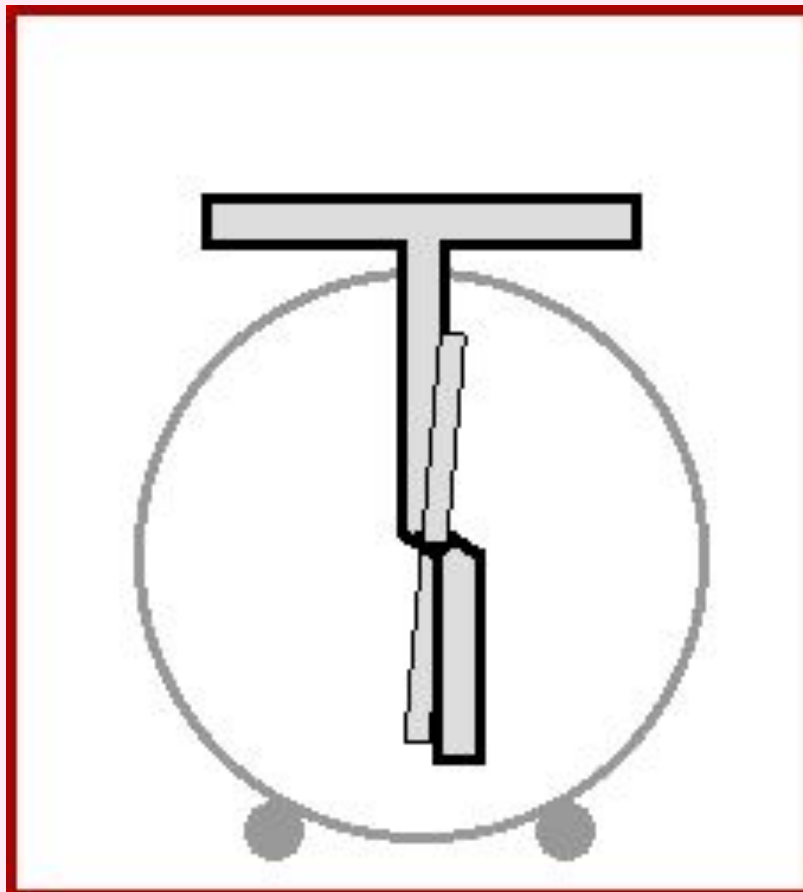
$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$$

**При электризации тел происходит перераспределение зарядов между телами.**

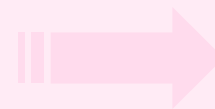
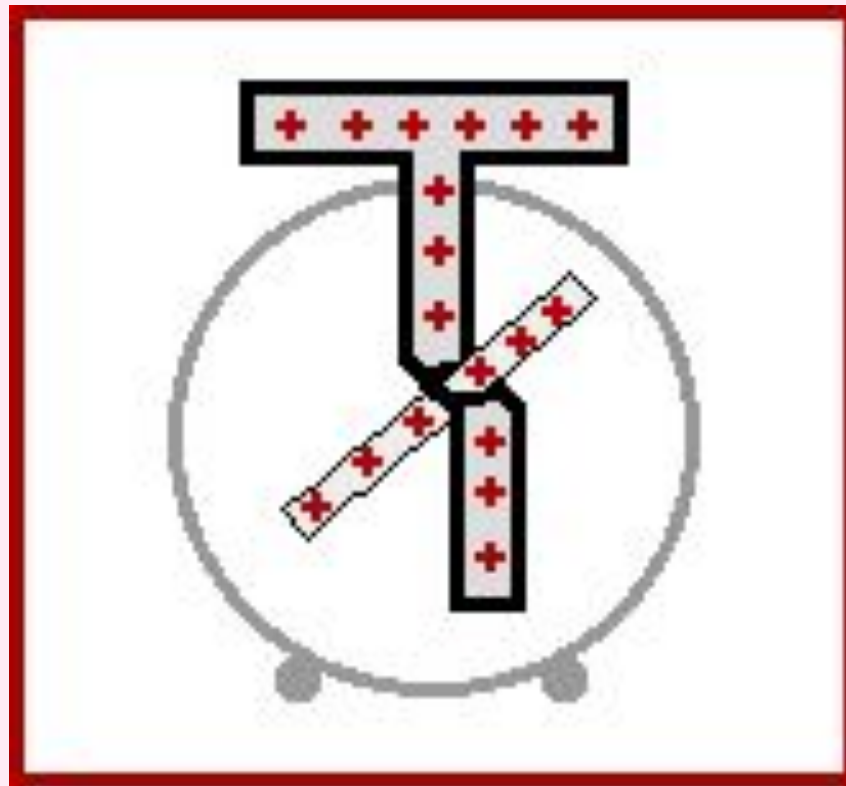




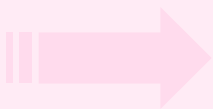
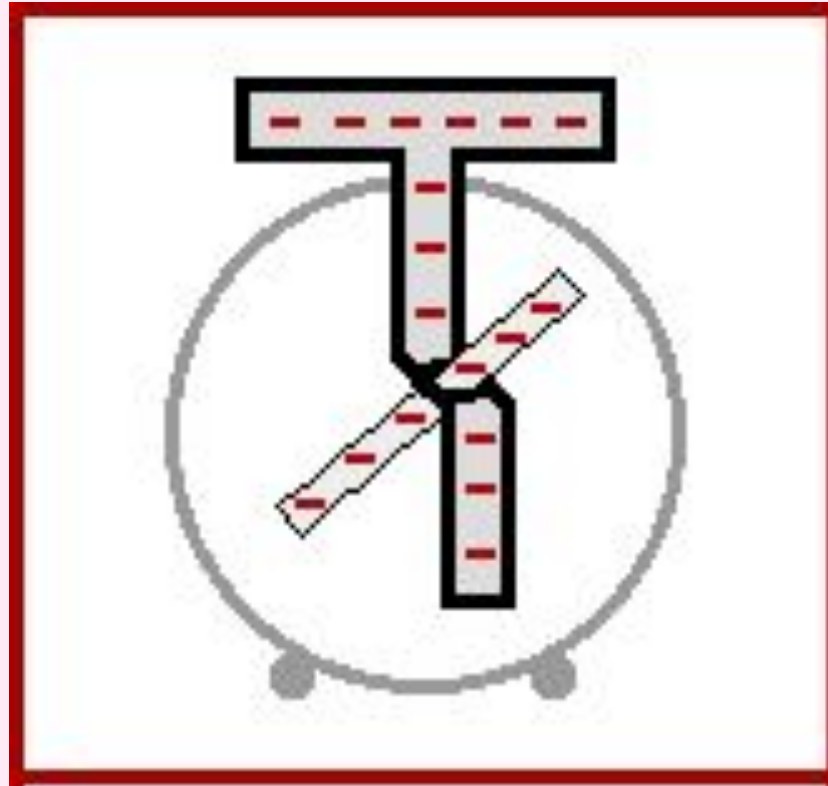
# Электризация тел



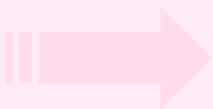
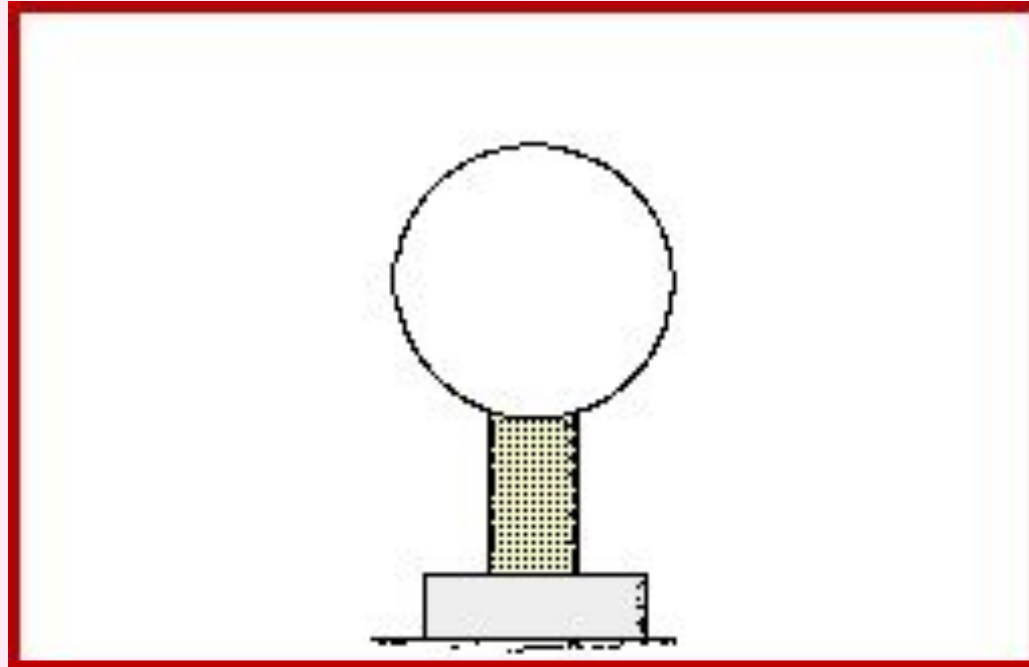
# Электризация тел



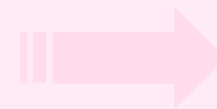
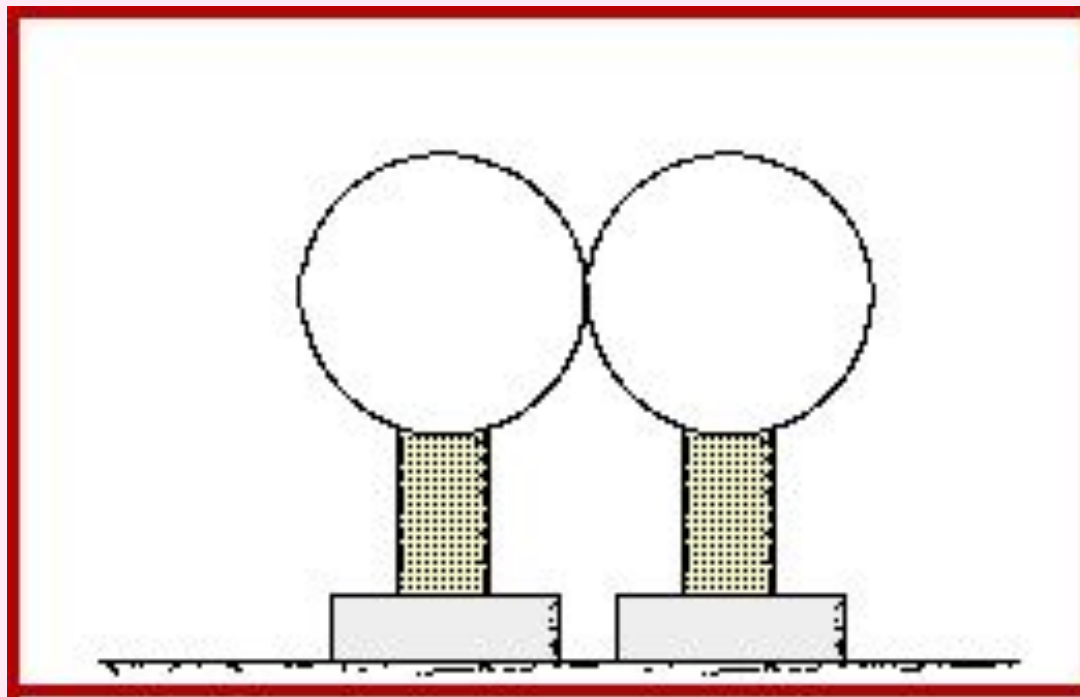
# Электризация тел



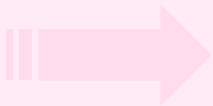
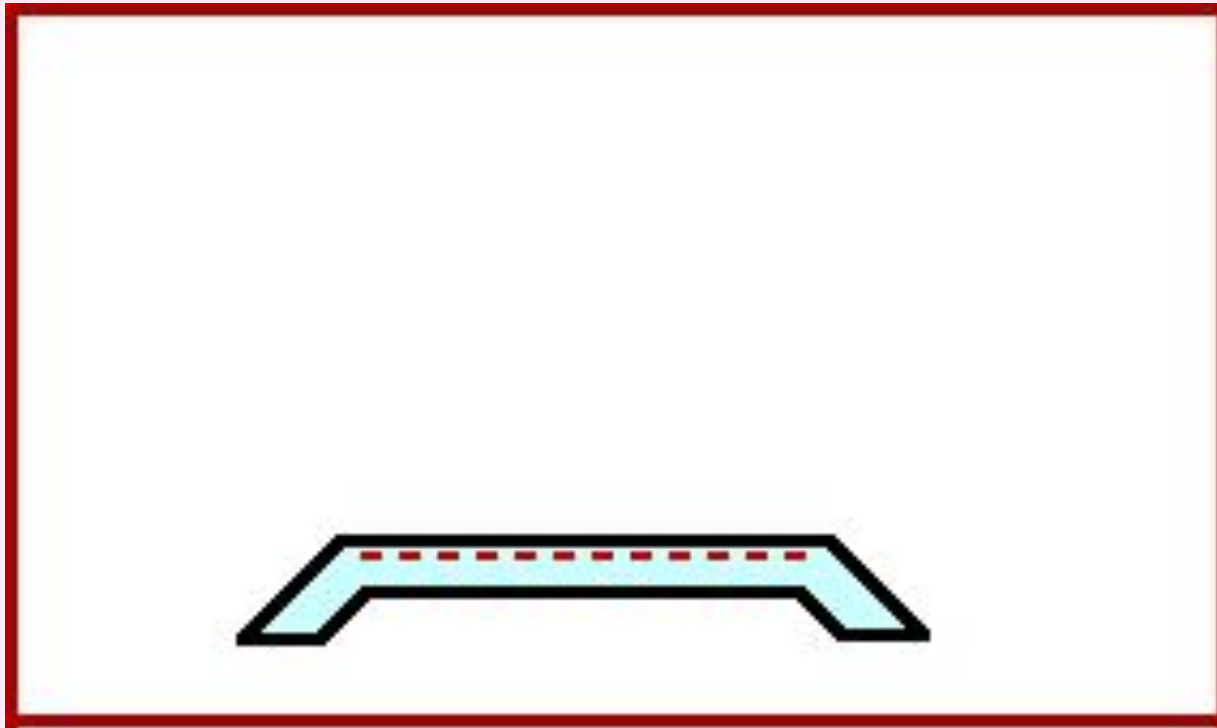
# Электризация тел



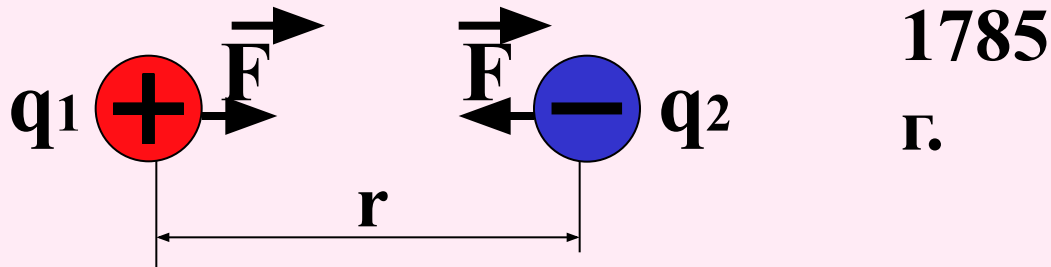
# Электризация тел



# Электризация тел



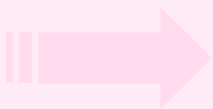
# Взаимодействие зарядов



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

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

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

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

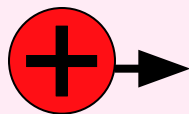
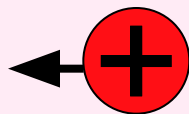
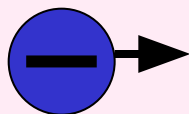
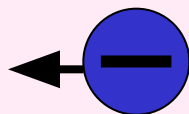
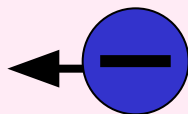
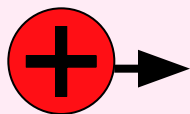
**к** – коэффициент пропорциональности, численно равный силе взаимодействия двух точечных зарядов по 1 Кл, находящихся в вакууме на расстоянии 1 м.

**$\epsilon_0$**  - электрическая постоянная.

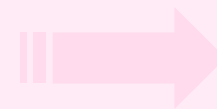




# Взаимодействие зарядов

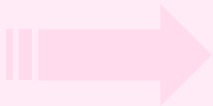
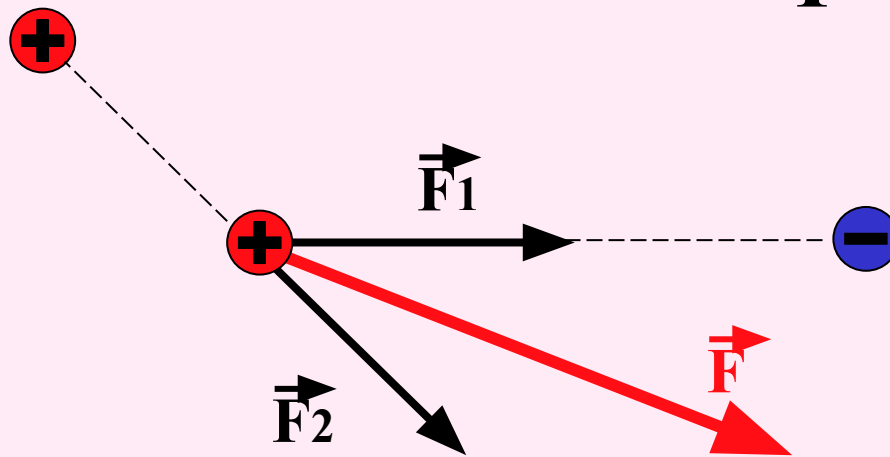


**Разноименные  
заряды  
притягиваются, а  
одноименные  
отталкиваются.**



# 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.**



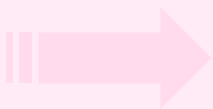
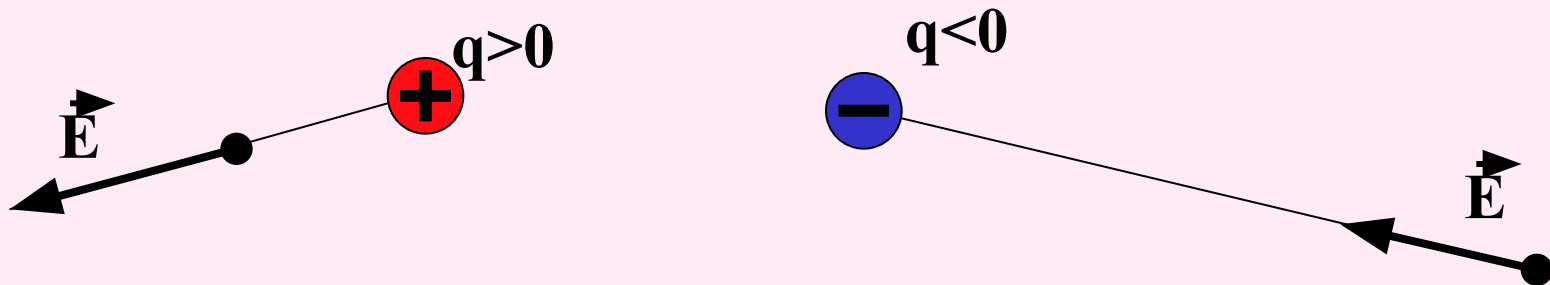
# Напряженность электрического поля

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

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

$$[E] = \frac{H}{Kл}$$

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

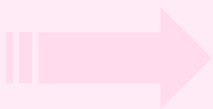
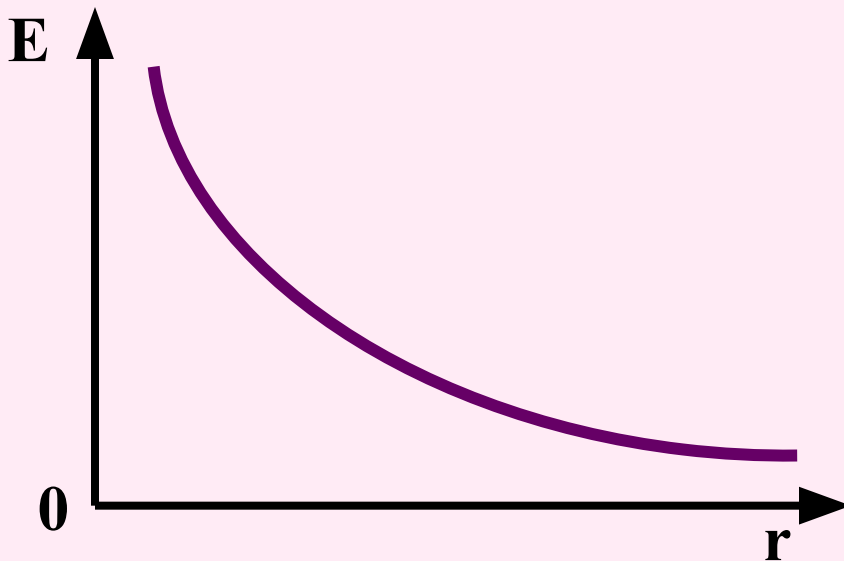


# Напряженность электрического поля

## ПОЛЯ

$$\left. \begin{aligned} \vec{F} &= \vec{E} \cdot q \\ F &= k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \end{aligned} \right\} E = k \frac{|q|}{r^2}$$

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

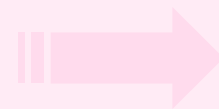
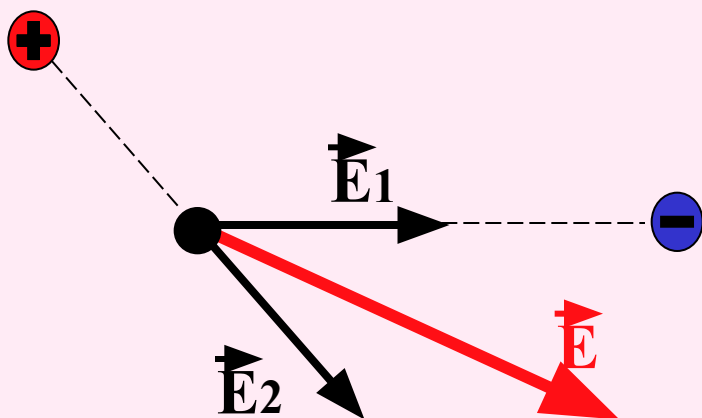


# Напряженность электрического поля

## ПОЛЯ

Принцип суперпозиции полей.

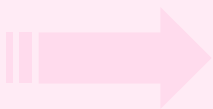
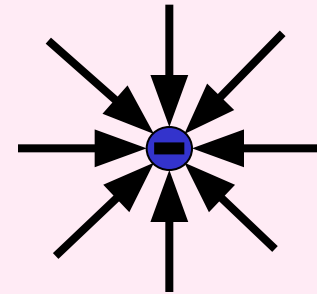
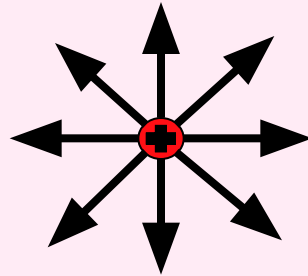
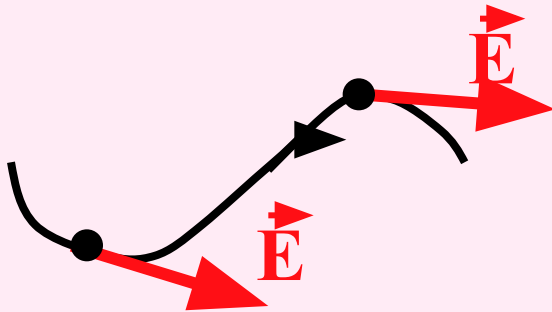
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$



# Напряженность электрического поля

## ПОЛЯ

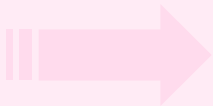
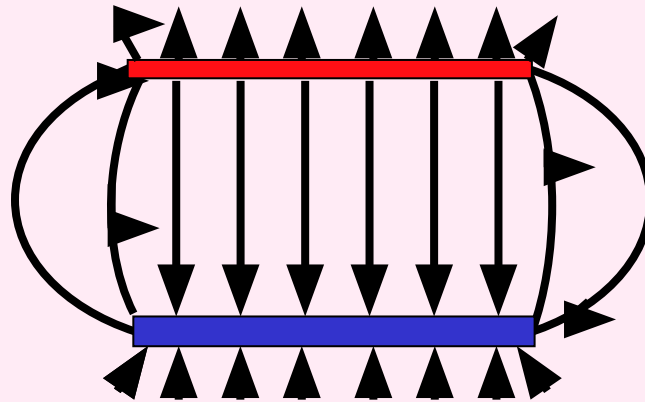
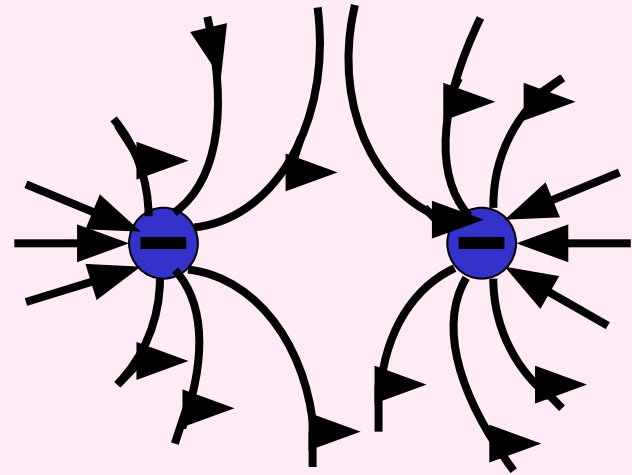
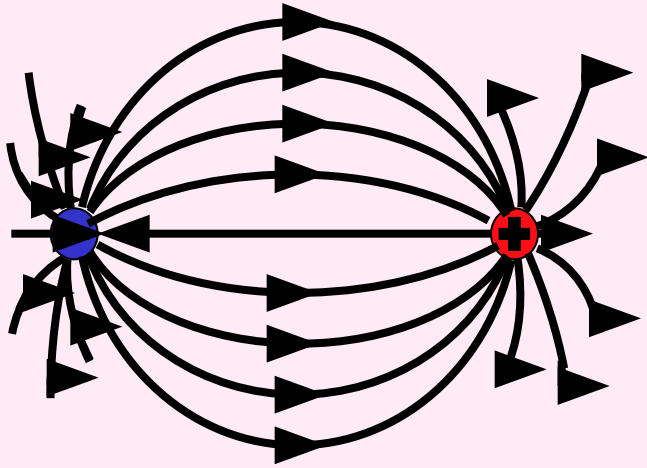
Линии напряженности (или силовые линии электрического поля) – это непрерывные линии, касательные к которым в каждой точке, через которую они проходят, совпадают с векторами напряженности.





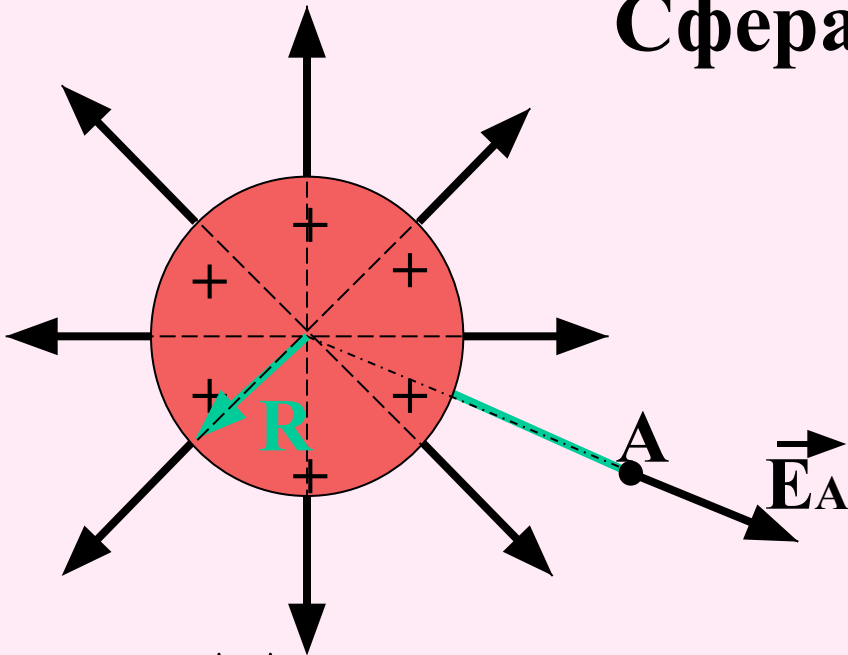
# Напряженность электрического поля

## ПОЛЯ



# Напряженность электрического поля

Сфера.

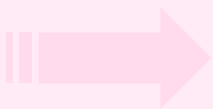
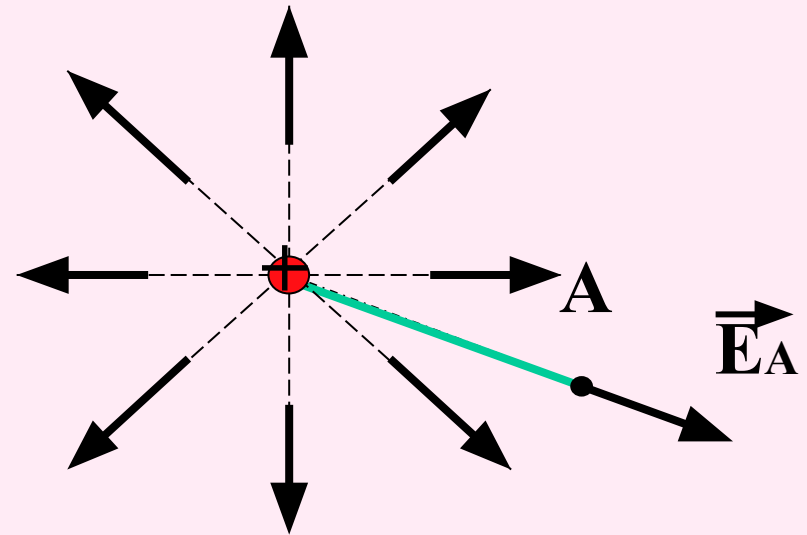


$$E = k \frac{|q|}{R^2}$$

Напряженность поля на поверхности сферы.

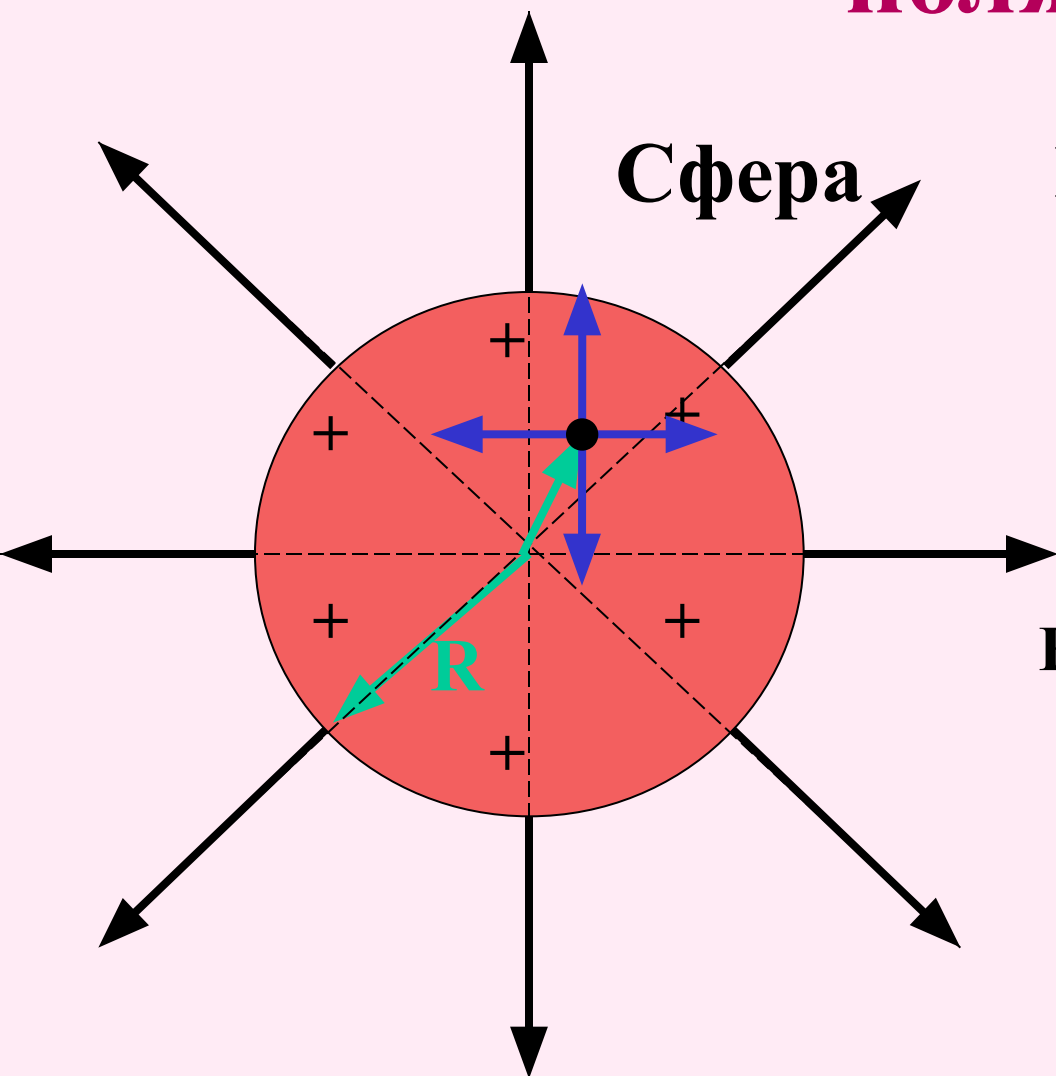
$$E = k \frac{|q|}{(R + r)^2}$$

Напряженность поля вне сферы.



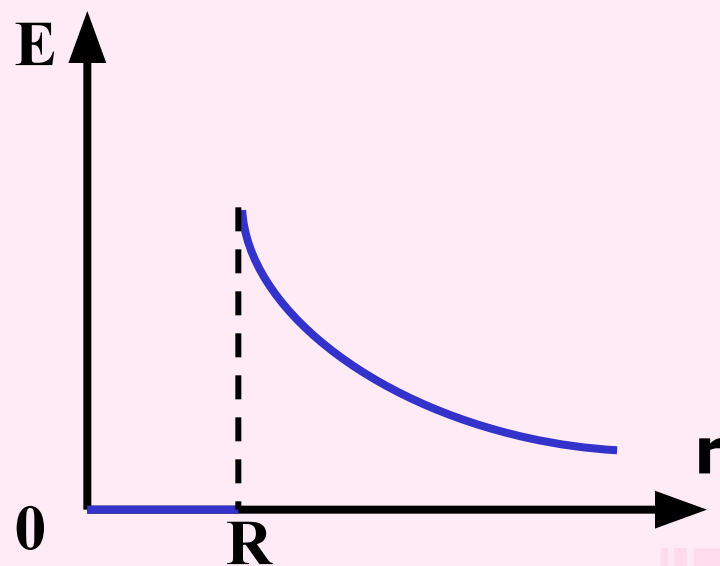
# Напряженность электрического поля

## ПОЛЯ



Напряженность поля  
внутри проводящего  
шара равна нулю.

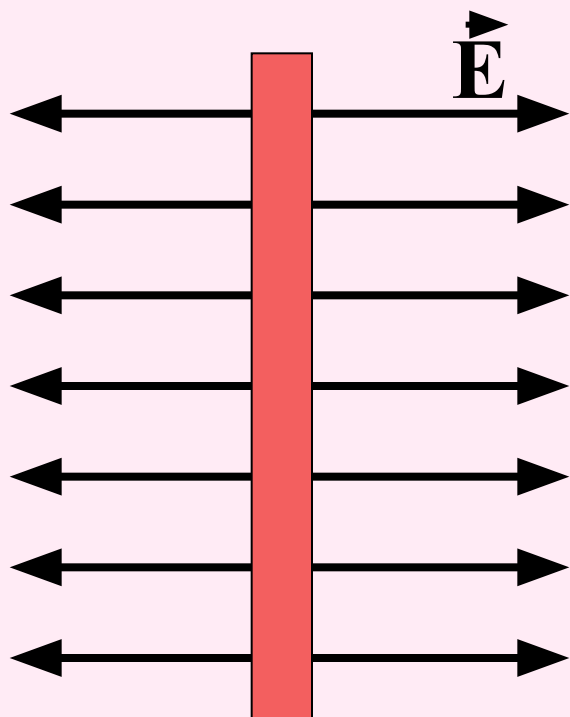
$$E_{\text{внутр}} = 0$$



# Напряженность электрического поля

## ПЛОЯ

Плоскость

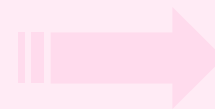


$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \quad \sigma = \frac{q}{S}$$

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

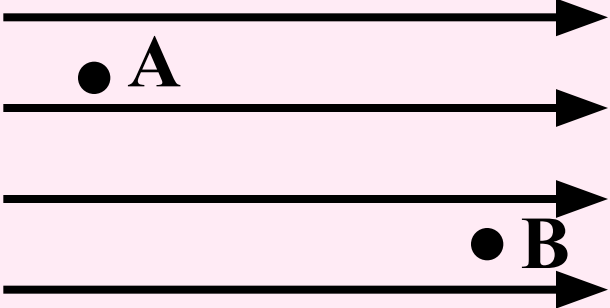
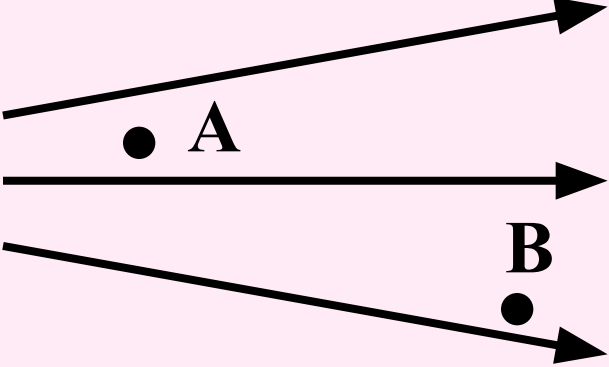
плотность  
заряда

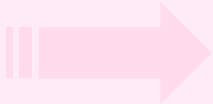
$$E = \frac{q}{2S\varepsilon_0}$$



# Напряженность электрического поля

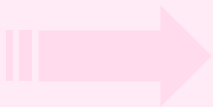
## ПОЛЯ

Однородное электрическое поле.	Неоднородное электрическое поле.
 <p>The diagram shows a uniform electric field represented by four parallel horizontal arrows pointing to the right. Point A is marked with a black dot on the upper two arrows, and point B is marked with a black dot on the lower two arrows.</p>	 <p>The diagram shows a non-uniform electric field represented by four arrows pointing to the right that diverge from left to right. Point A is marked with a black dot on the upper two arrows, and point B is marked with a black dot on the lower two arrows.</p>
$E_A = E_B$	$E_A > E_B$

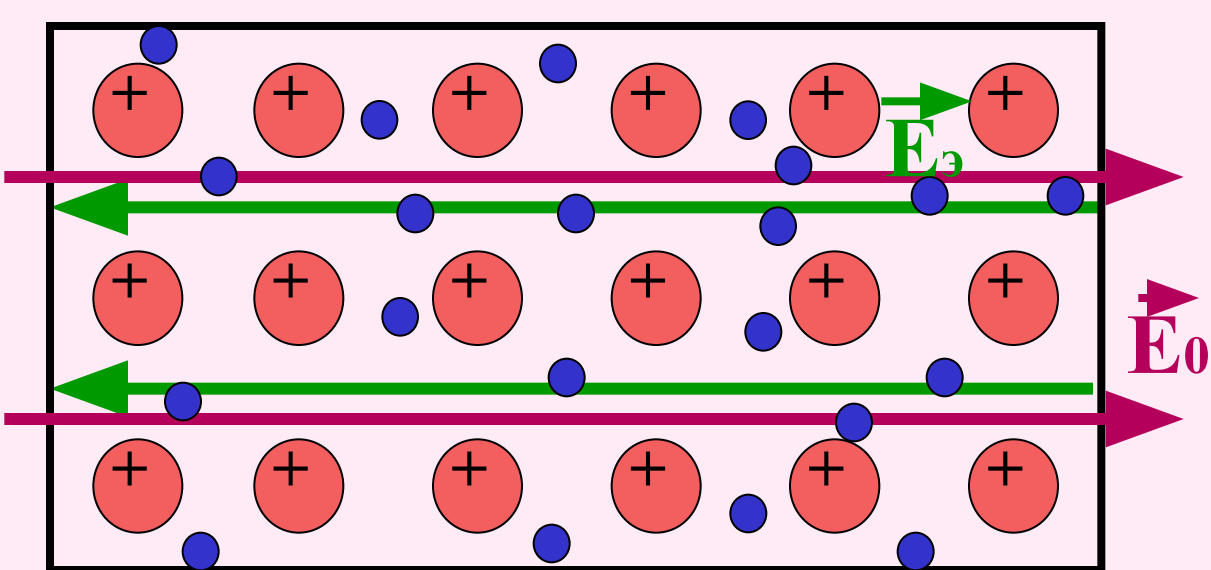


# **Проводники в электрическом поле**

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



# Проводники в электрическом поле

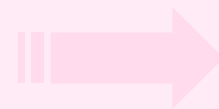


$$\vec{E}_{умог} = \vec{E}_0 + \vec{E}_3$$

$$E_0 = E_3$$

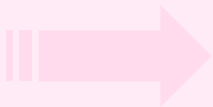
$$E_{умог} = 0$$

- 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.

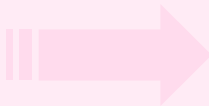
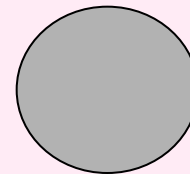
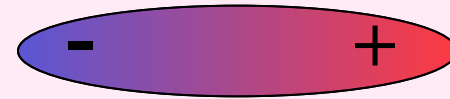




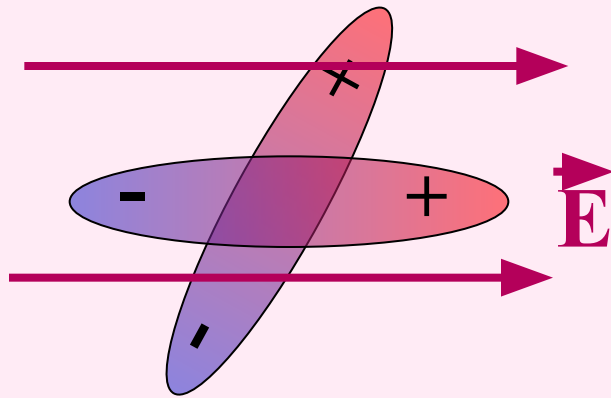
# Диэлектрики в электрическом поле

Виды диэлектриков:

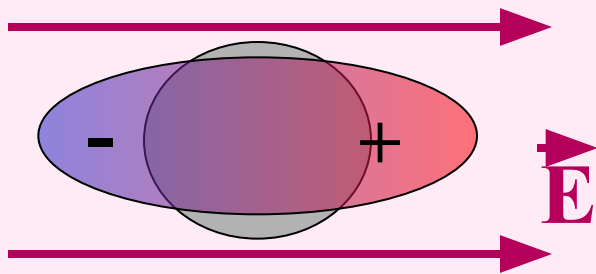
- **Полярные**, состоящие из таких молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов не совпадают. (спирты, вода, поваренная соль).
- **Неполярные**, состоящие из атомов или молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов совпадают. (инертные газы, кислород, полиэтилен).



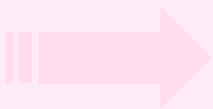
# Диэлектрики в электрическом поле



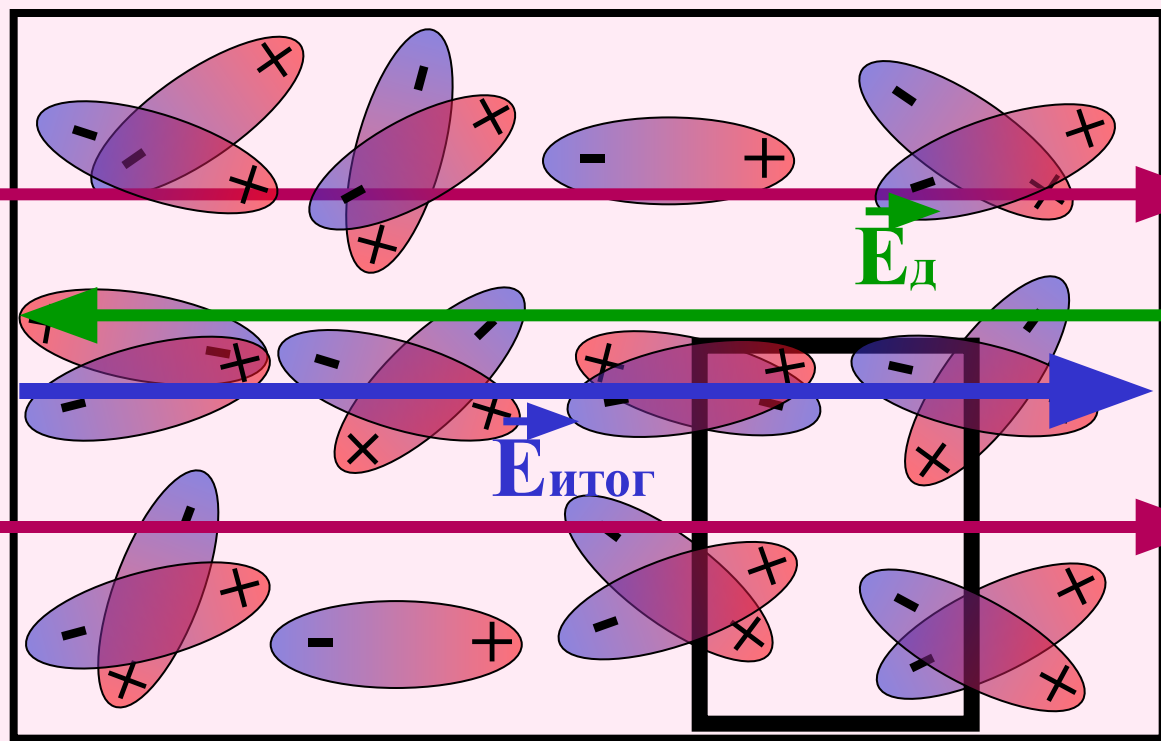
Смещение положительных и отрицательных связанных зарядов диэлектрика в противоположные стороны называют **поляризацией**.



Неполярные диэлектрики в электрическом поле тоже поляризуются.



# Диэлектрики в электрическом поле



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

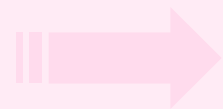
$$E_{\text{итог}} = E_0 - E_d$$

$$E_{\text{итог}} < E_0$$

$$\vec{E}_0$$

$$E_{\text{итог}} = \frac{E_0}{\varepsilon}$$

$\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость вещества



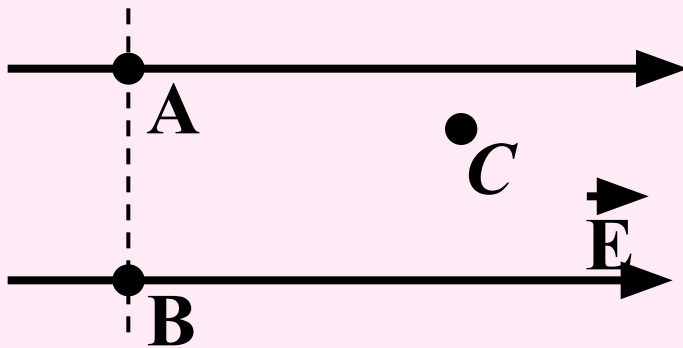
# Потенциал

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

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

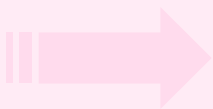
$$1B = \frac{1Дж}{1Кл}$$

$$[\varphi] = B \text{ (вольт)}$$



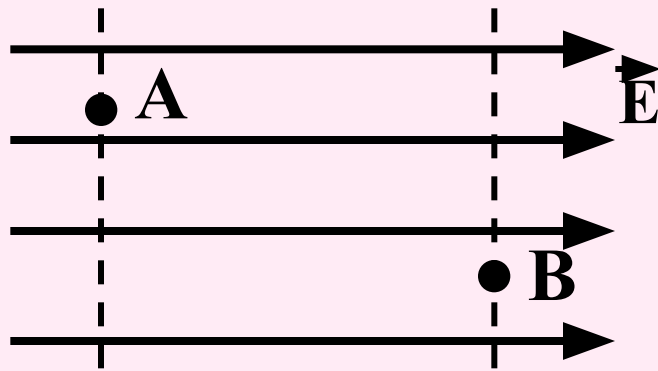
$$\varphi_A = \varphi_B$$

$$\varphi_C < \varphi_A$$

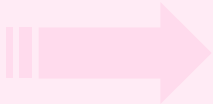
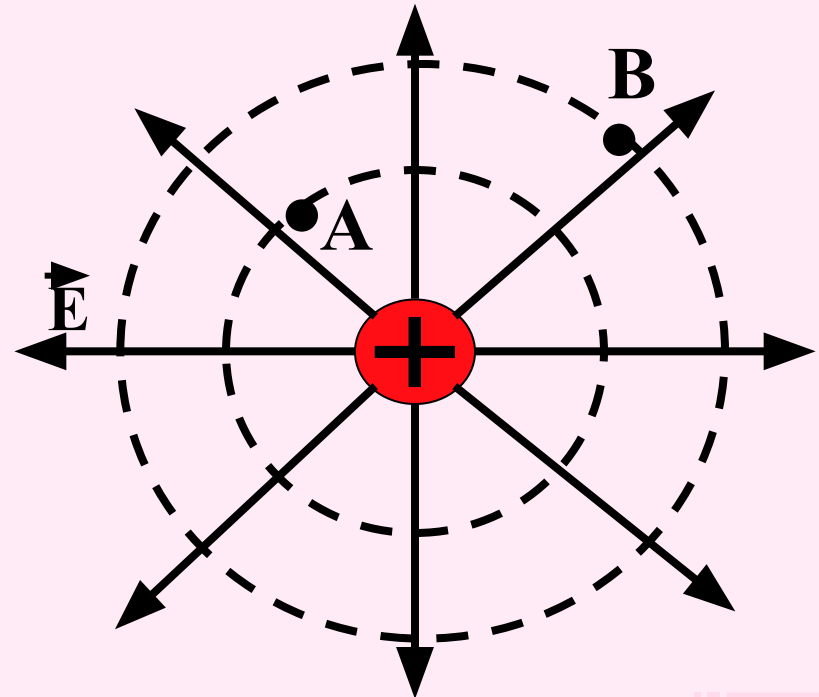


# Потенциал

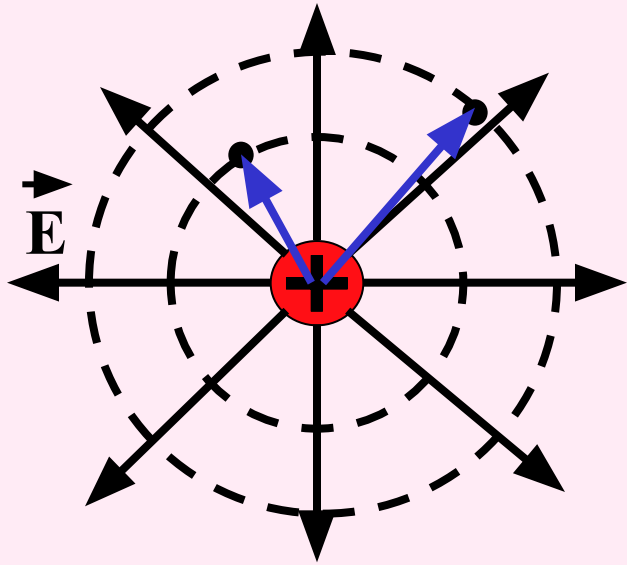
- Поверхности равного потенциала называют **эквипотенциальными поверхностями**.
- Эквипотенциальные поверхности перпендикулярны линиям напряженности.



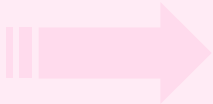
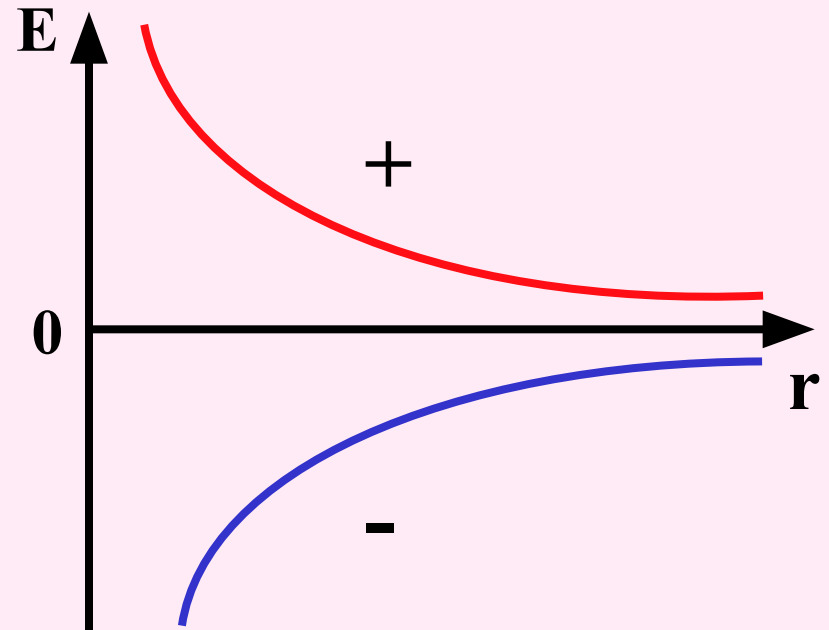
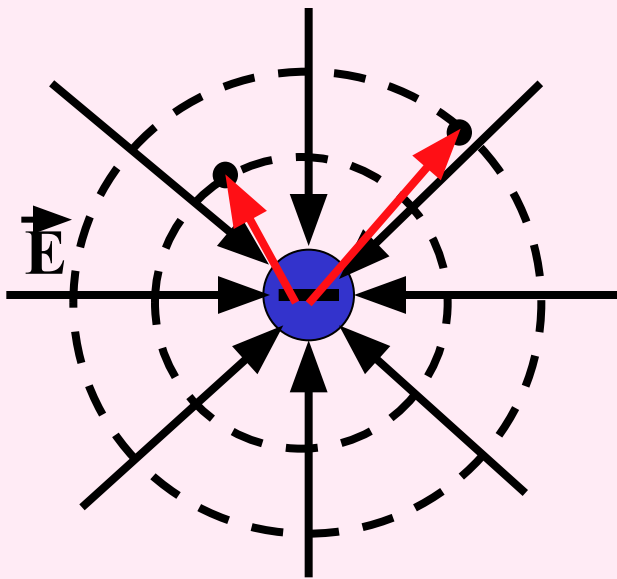
$$\varphi_A > \varphi_B$$



# Потенциал



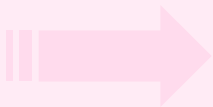
$$\varphi = k \frac{q_0}{r}$$



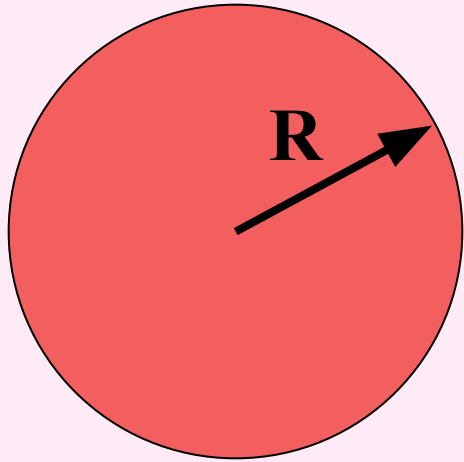
# Потенциал

**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

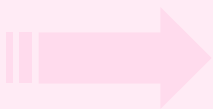
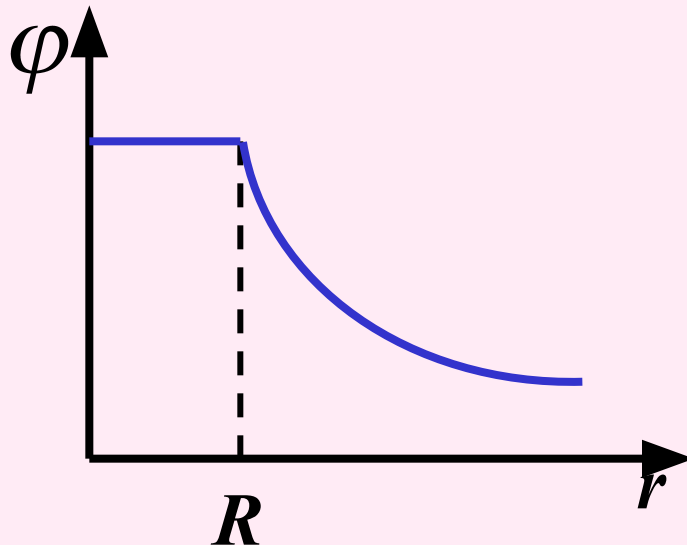


$$\varphi = k \frac{q}{R}$$

**потенциал внутри и  
на поверхности  
заряженной сферы**

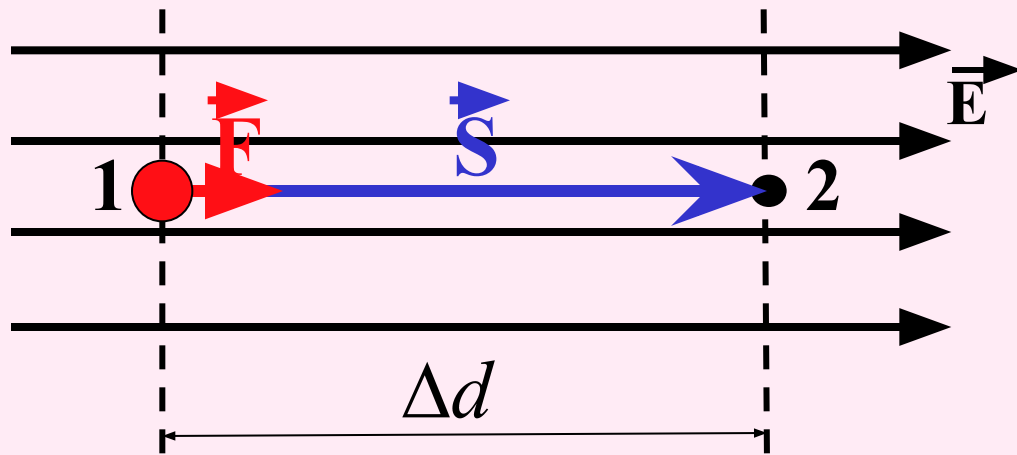
$$\varphi = k \frac{q}{R + r}$$

**потенциал вне  
заряженной сферы**





# Работа эл. поля по перемещению эл. заряда



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

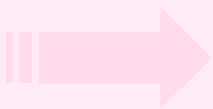
$$F = E \cdot q$$

$$S = \Delta d$$

$$\cos \alpha = 0$$

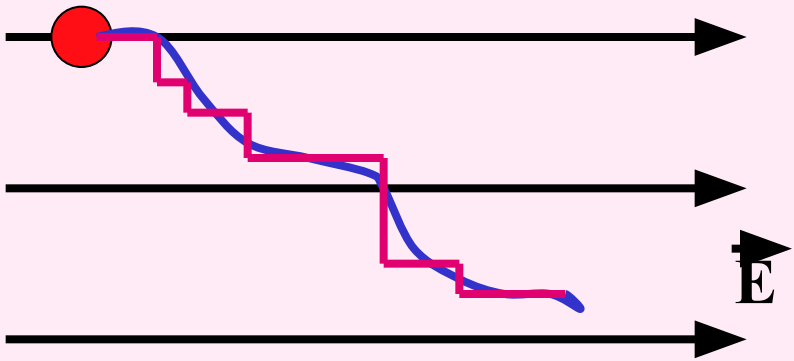
$$A = Eq\Delta d$$

**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.



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

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

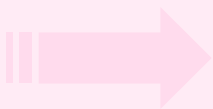
$$A_{\text{верт}} = Eqh \cdot 0$$

$$A_{\text{верт}} = 0$$

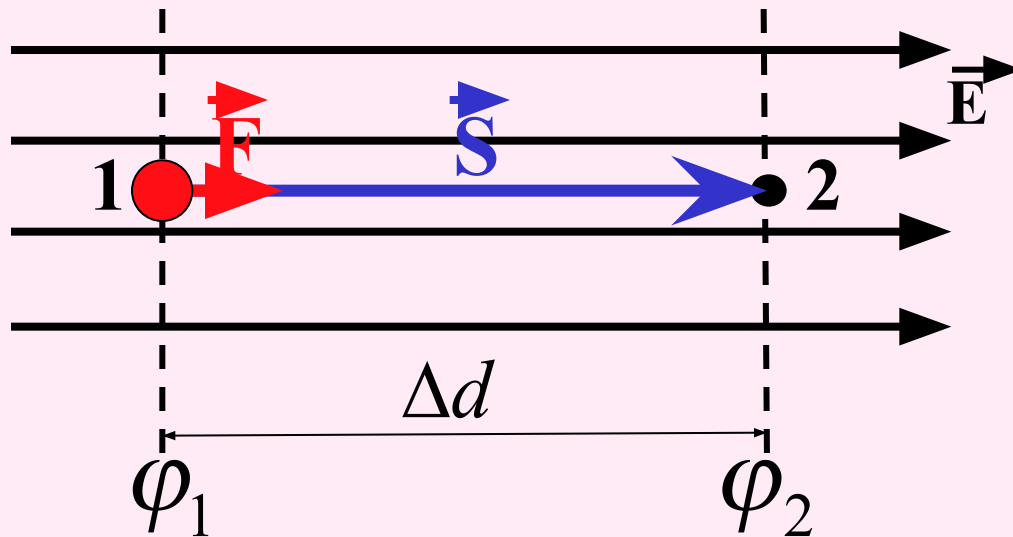
$$A_{\text{гор}} = Eq \cdot (d_1 + d_2 + \dots + d_n) \cdot 1$$

$$A = Eq\Delta d$$

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



# Работа эл. поля по перемещению эл. заряда



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

$[U] = \text{В}$  - напряжение

$$A = qU$$

$$A = Eq\Delta d$$

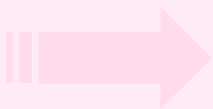
$$A = -\Delta W_E = -(W_{E2} - W_{E1})$$

$$W_E = q\varphi$$

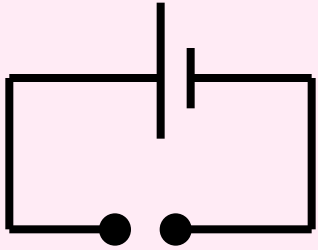
$$A = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

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

$$[E] = \frac{\text{В}}{\text{м}}$$



# Электроемкость



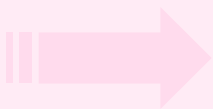
**Электроемкость – физическая величина, характеризующая способность проводника накапливать электрический заряд.**

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

$$[C] = \Phi \quad (\text{фарад})$$

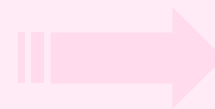
$$1\Phi = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$$

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

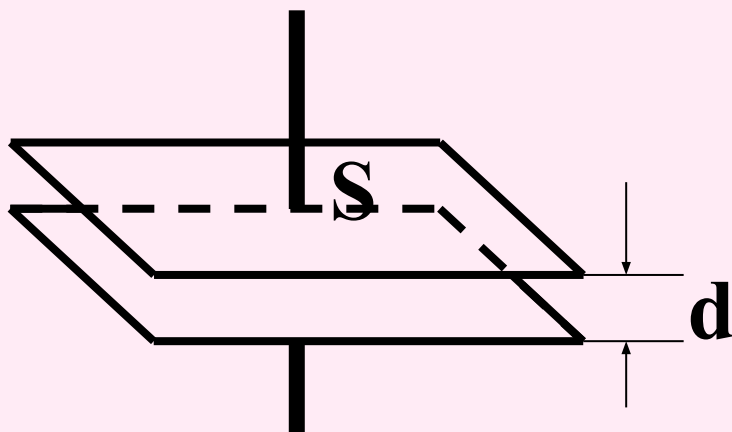


# Конденсаторы

- **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



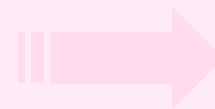
**Емкость плоского конденсатора.**

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

A diagram showing two vertical plates, one blue on the left and one red on the right. Red arrows point from the blue plate to the right, and blue arrows point from the red plate to the left. The arrows are arranged in a grid, representing the electric field between the plates.

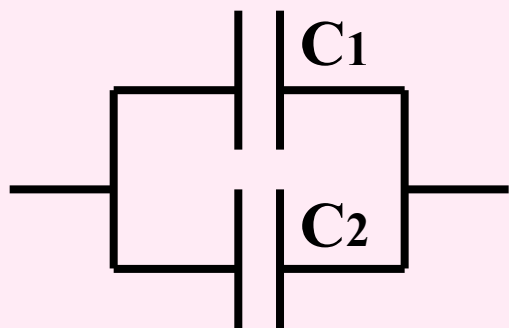
$$\left. \begin{aligned} \vec{E} &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots \\ E &= E_1 + E_2 \\ E &= \frac{q}{2S\epsilon_0} \end{aligned} \right\} E_{\text{умог}} = \frac{q}{\epsilon_0\epsilon S}$$

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



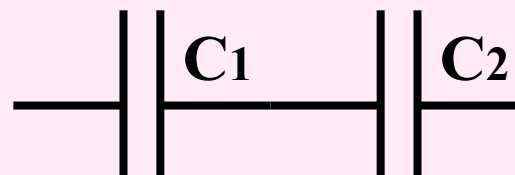
# Конденсаторы

**Параллельное  
соединение  
конденсаторов.**

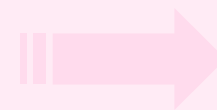


$$C = C_1 + C_2 + \dots$$

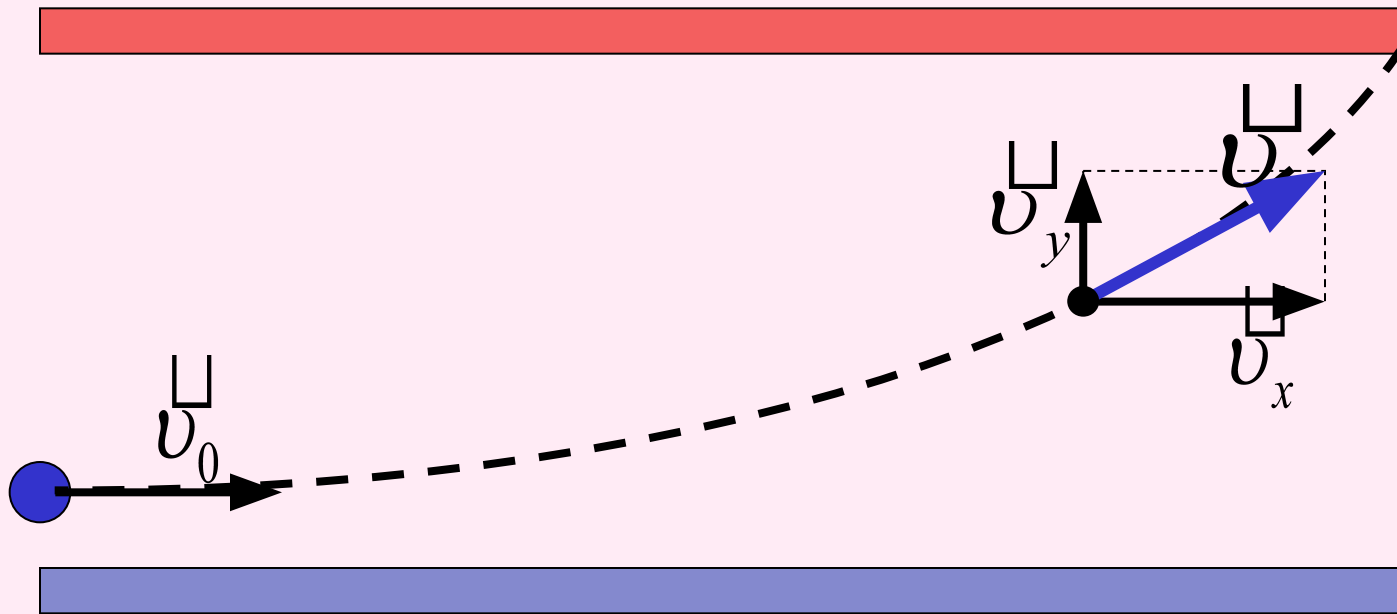
**Последовательное  
соединение  
конденсаторов.**



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



# Конденсатор



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

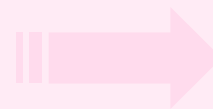
$$v_x = v_{0x} = \text{const}$$

$$v_{0y} = 0$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

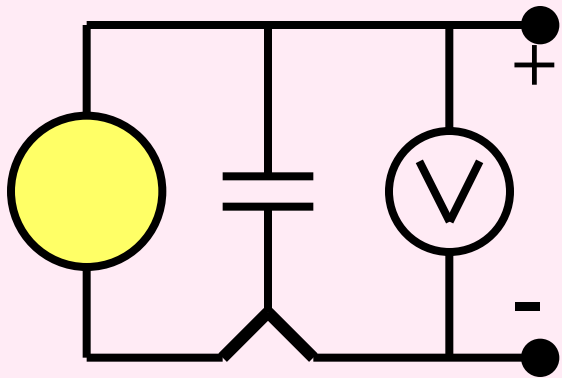
$$v_y = v_{0y} + at$$

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





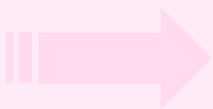
# Энергия заряженного конденсатора



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

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

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



# Энергия заряженного конденсатора

**Плоский конденсатор.**

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

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

