



# Лекция 4

## Электростатика. Постоянный ток

Содержание:

- 1) Электрический заряд. Закон сохранения.
- 2) Электризация
- 3) Закон Кулона
- 4) Напряженность электрического поля. Силовые линии
- 5) Диэлектрики в электрическом поле
- 6) Работа электростатического поля
- 7) Энергетическая характеристика поля. Эквипотенциальные поверхности
- 8) Электрический ток. Постоянный ток.
- 9) Электрические цепи. Закон Ома. Сопротивление.
- 10) Измерение токов и напряжений.

**Электродинамика** - раздел физики, в котором изучают электромагнитное взаимодействие между электрически заряженными телами и частицами.

□ *Электроманитным* называют взаимодействие (притяжение и отталкивание), возникающее между заряженными телами.

□ *Электростатика* - раздел электродинамики, изучающий взаимодействие неподвижных (статических) зарядов.



# Электрический Заряд

---

○ Электрический заряд- физическая величина, определяющая силу электромагнитного взаимодействия

○ Существуют два вида электрических зарядов- положительные и отрицательные.

○ Единица измерения- Кулон(Кл)

○ Обозначение  $e$ ,  $Q$   
Элементарный электрический заряд

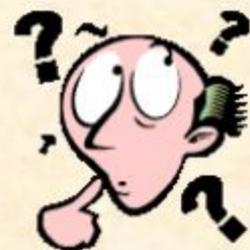
$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

○ Электрический заряд дискретен (квантован)

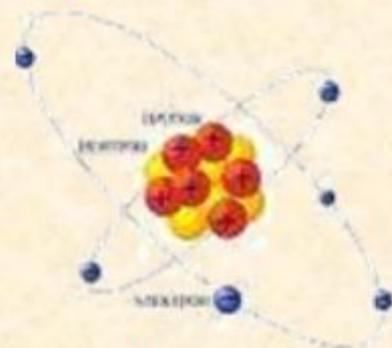
$Q = ne$ , где  $n$ - целое число.

# Закон сохранения заряда

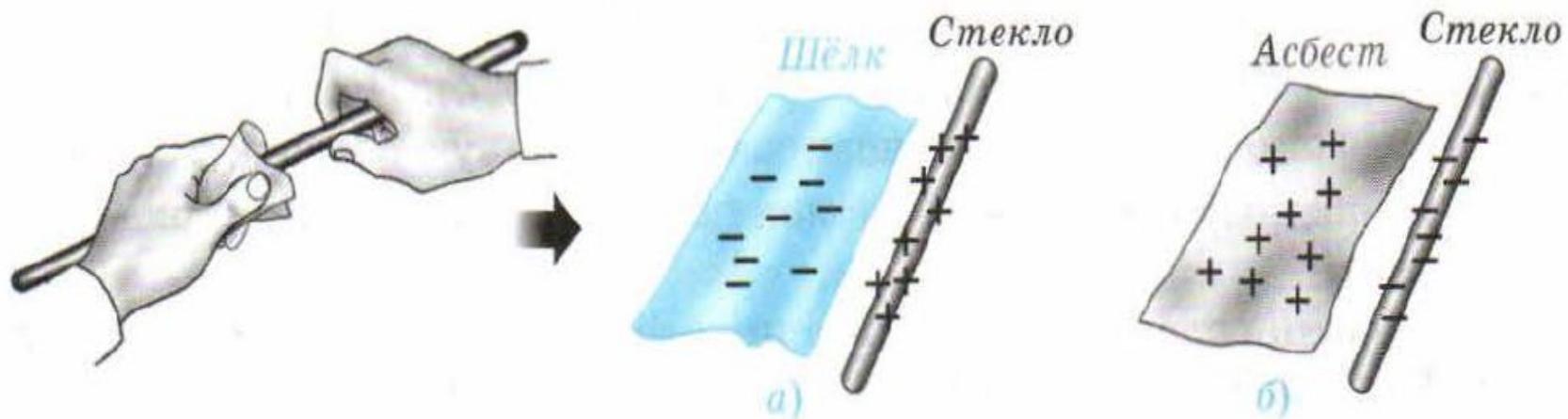
□ Электрически изолированная система тел, через границу которой не проникают заряды.



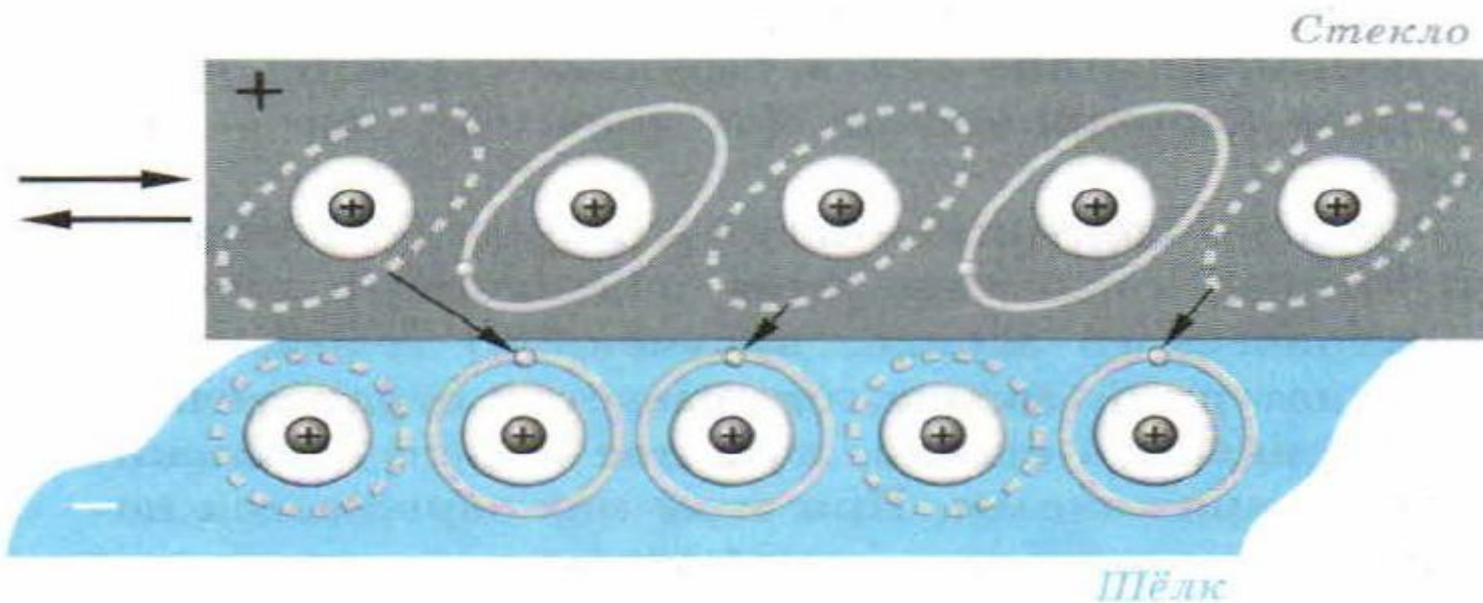
□ Алгебраическая сумма зарядов электрически изолированной системы тел постоянна.



$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = \text{const}$$



**Электризация — процесс возникновения электрических зарядов на макроскопических телах (или их частях) при внешних воздействиях.**

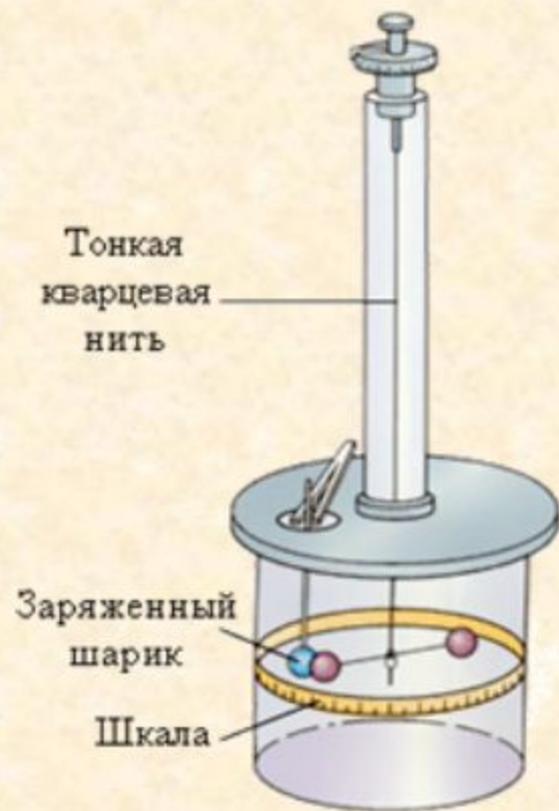


# Закон Кулона



✦ Сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися в вакууме, прямо пропорциональна произведению модулей зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

$$F_{12} = k \frac{|Q_1| |Q_2|}{r^2}$$



Сила взаимодействия направлена по прямой, соединяющей заряды, а её направление зависит от знаков зарядов: одноимённые заряды — отталкиваются, а разноимённые — притягиваются.

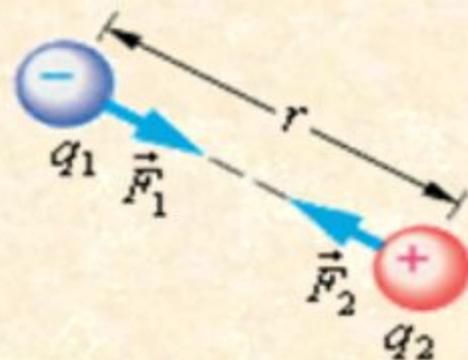
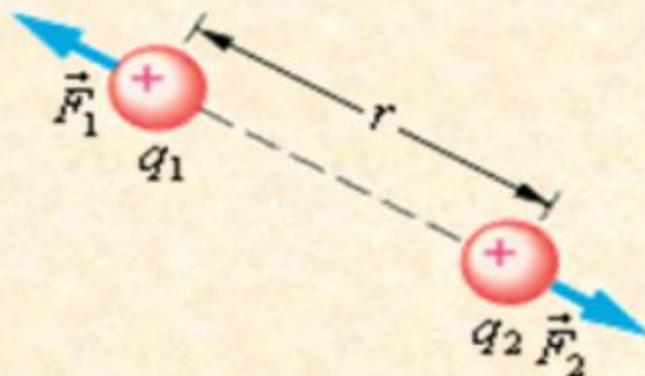
- Коэффициент пропорциональности

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

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

- Электрическая постоянная

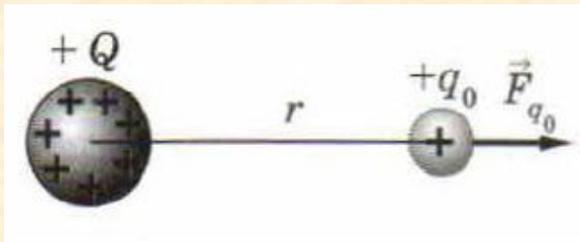
$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$



# Напряженность электрического поля



- Элект рическим полем называют вид материи, посредством которой происходит взаимодействие электрических зарядов.
- Поле, создаваемое неподвижными зарядами, называют *элект рост ат ическим*.



- Свойства электрического поля

- а) порождается электрическими зарядами
- б) обнаруживается по действию на заряд
- в) действует на заряды с некоторой силой

- **Напряженность электрического поля** в данной точке численно равна силе, с которой поле действует на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку.

✦ **Напряженность** - силовая характеристика электрического поля .  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$

---

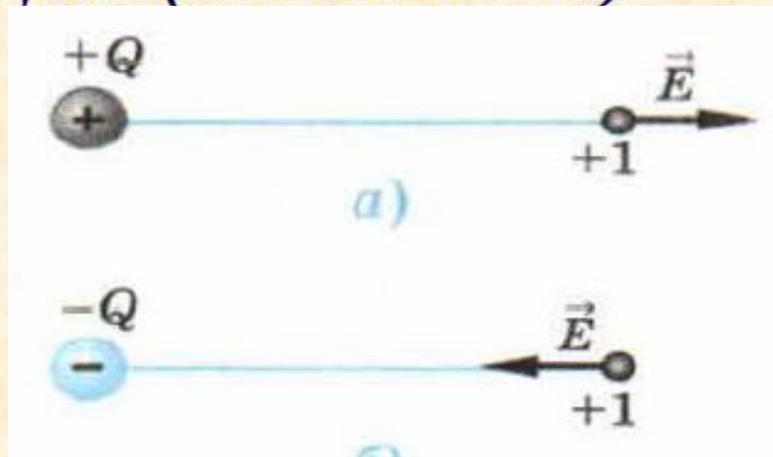

$$\vec{F} = \vec{E} \cdot q$$

✦ **Единица измерения** .  $\frac{Н}{Кл}$ ;  $\frac{В}{м}$

✦ **Напряженность поля точечного заряда** .  $E = \frac{k \cdot |q|}{r^2}$

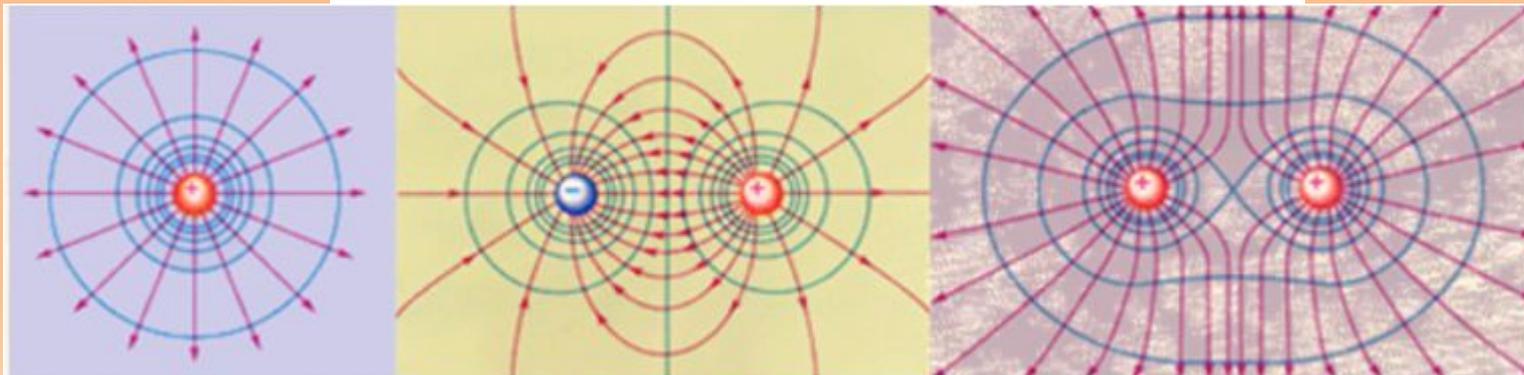
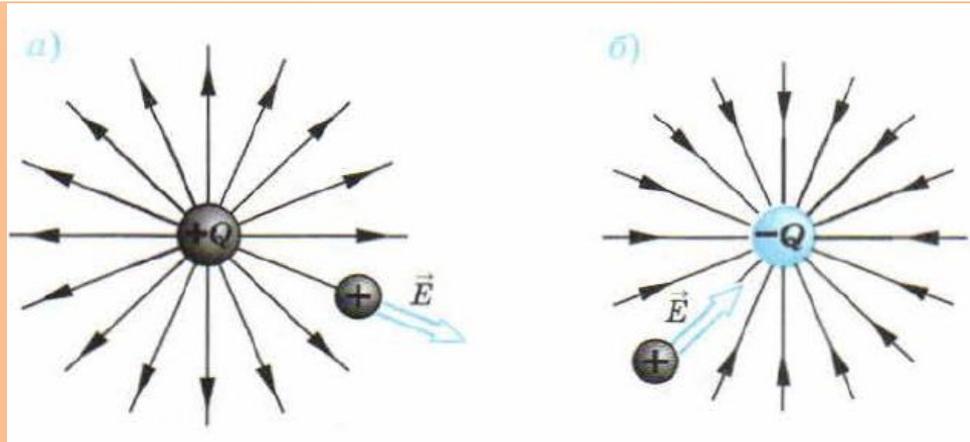
✦ **Принцип суперпозиции (наложения) полей.**

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



# Линии напряженности электрического поля

Линии напряжённости — линии, касательные к которым в каждой точке поля совпадают с направлением вектора напряжённости электростатического поля в данной точке.



# Электрическое поле в веществе

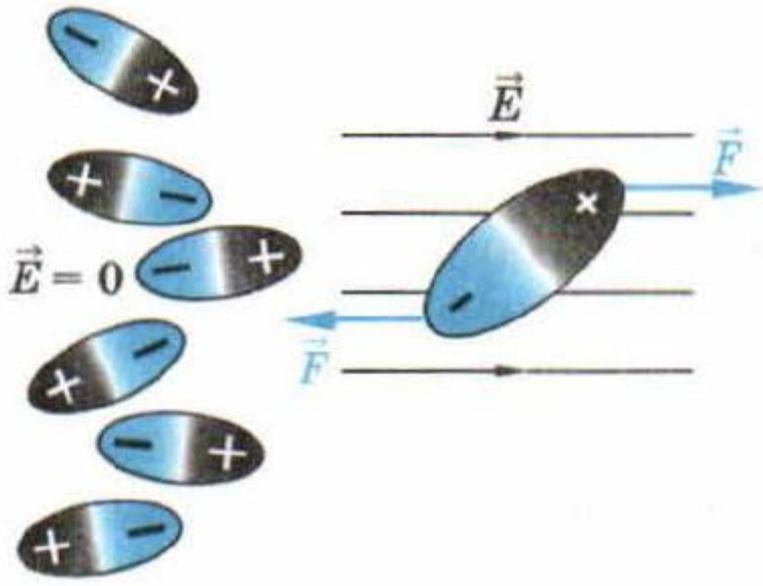
**Свободные заряды** — нескомпенсированные макроскопические заряды, способные перемещаться под действием электрического поля по всему объёму проводника.

**Связанные заряды** — разноимённые заряды, входящие в состав атомов (или молекул), которые не могут перемещаться под действием электрического поля независимо друг от друга.

**Проводник** — вещество, в котором свободные заряды могут перемещаться по всему объёму.

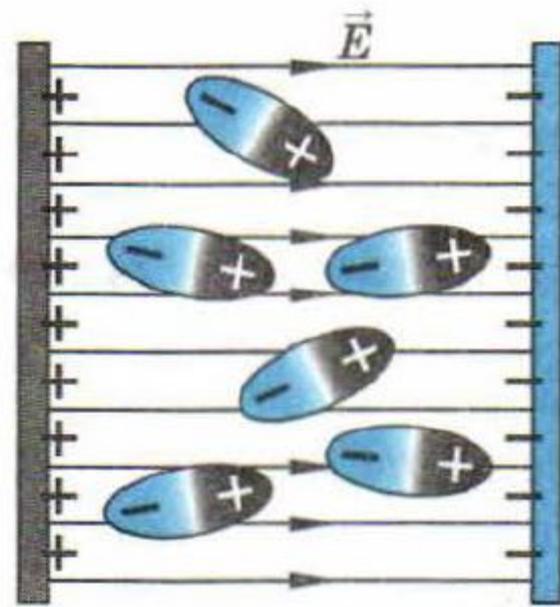
**Диэлектрик** — вещество, содержащее только связанные заряды.

**Полупроводник** — вещество, в котором количество свободных зарядов зависит от внешних условий (температура, напряжённость электрического поля и пр.).



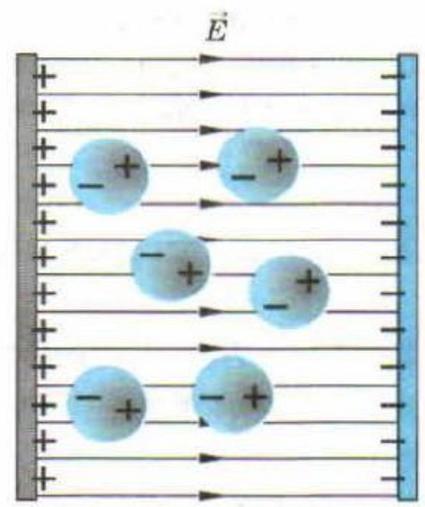
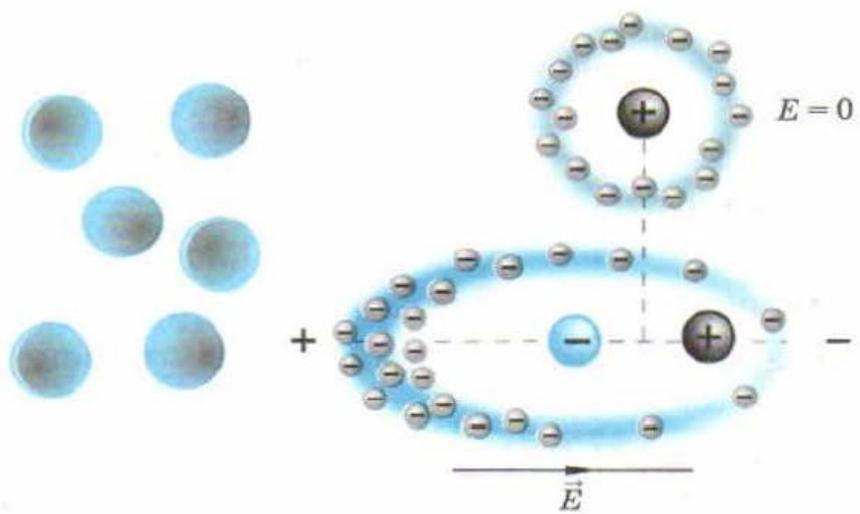
a)

б)

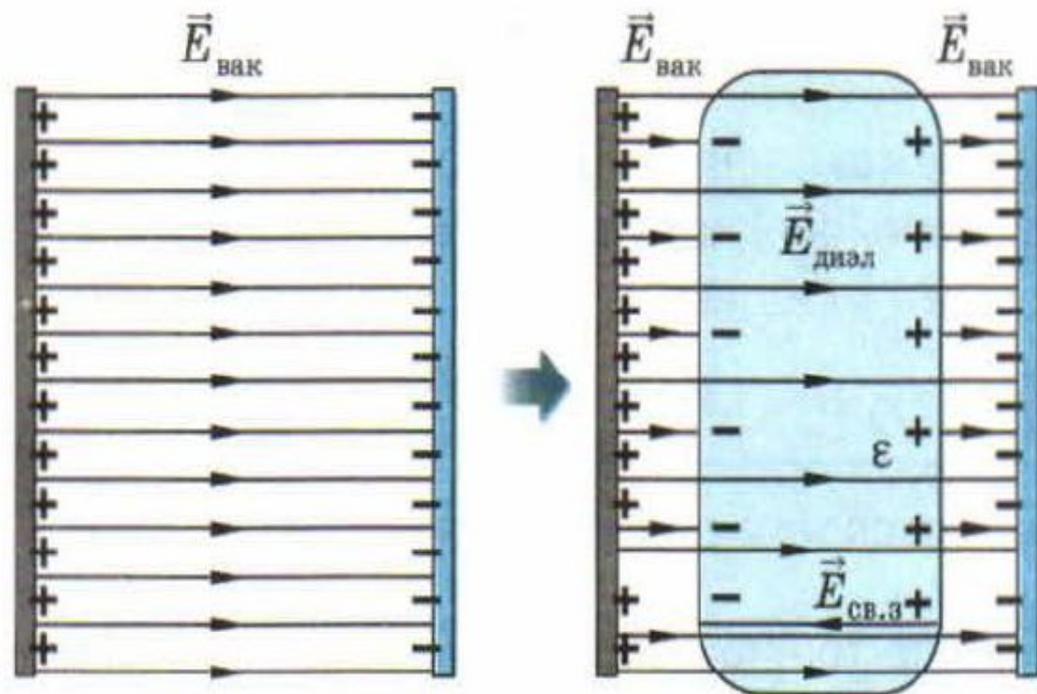


в)

**Полярный диэлектрик в электрическом поле:**  
 а) полярные молекулы в отсутствие поля  
 б) поворот молекулы вдоль линий напряженности  
 в) ориентация полярных молекул в электростатическом поле



**Неполярный диэлектрик в электрическом поле:**  
 а) неполярные молекулы в отсутствие поля  
 б) поляризация молекулы  
 в) поляризация и ориентация неполярных молекул в электростатическом поле



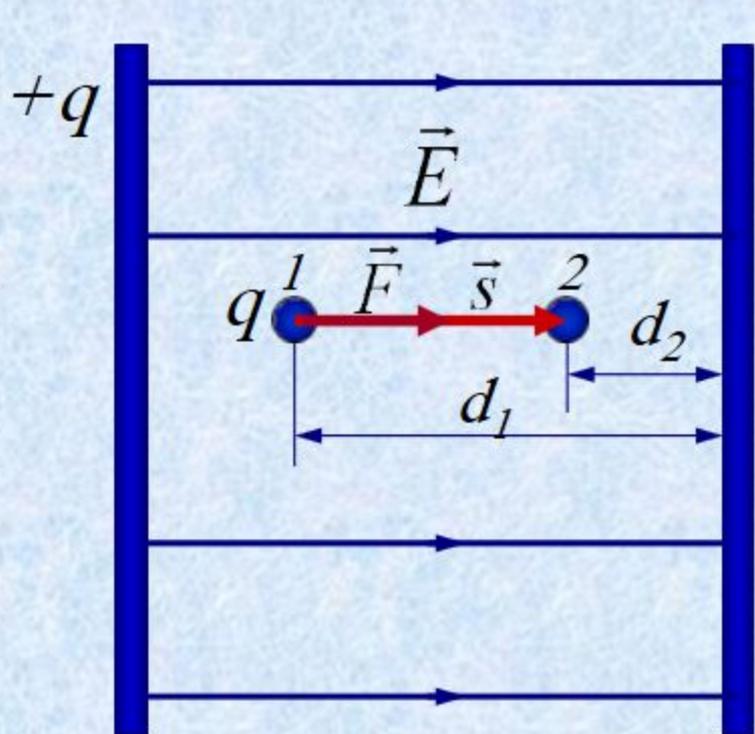
## 179

Электростатическое поле в диэлектрике. Поле связанных зарядов, направленное противоположно напряжённости внешнего электростатического поля, уменьшает напряжённость в  $\epsilon$  раз

Относительная диэлектрическая проницаемость среды — число, показывающее, во сколько раз напряжённость электростатического поля в однородном диэлектрике меньше, чем напряжённость в вакууме:

$$\epsilon = \frac{E_{\text{вак}}}{E}$$

# Работа электростатического поля по перемещению заряда



$\vec{F}$ , действующая на заряд, перемещает его, совершая работу:

$$\left. \begin{aligned} A &= |\vec{F}| |\vec{s}| \cos \alpha \\ |\vec{F}| &= q \cdot |\vec{E}| = qE \\ |\vec{s}| &= d_1 - d_2 \\ \cos \alpha &= 1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$A = qE(d_1 - d_2) = qEd_1 - qEd_2 = -(qEd_2 - qEd_1) =$$

$$= -(W_{p2} - W_{p1}) = -\Delta W_p$$

- работа поля равна изменению потенциальной энергии заряда, взятой с противоположным знаком

# Энергетическая характеристика поля

$$W_p = qEd \Rightarrow W_p = W_p(q)$$

Отношение потенциальной энергии  $W_p$  заряда  $q$ , помещенного в данную точку поля, к величине этого заряда не зависит от его значения, и, следовательно, является энергетической характеристикой электростатического поля, названной **потенциалом**:

$$\varphi = \frac{W_p}{q} \left[ \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В} \right]$$

# Разность потенциалов

$$A = qEd_1 - qEd_2 = q(Ed_1 - Ed_2) = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Разность потенциалов между точками 1 и 2 равна отношению работы поля при перемещении заряда из точки 1 в точку 2 к величине этого заряда:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}$$

Разность потенциалов называют напряжением и обозначают  $U$ .

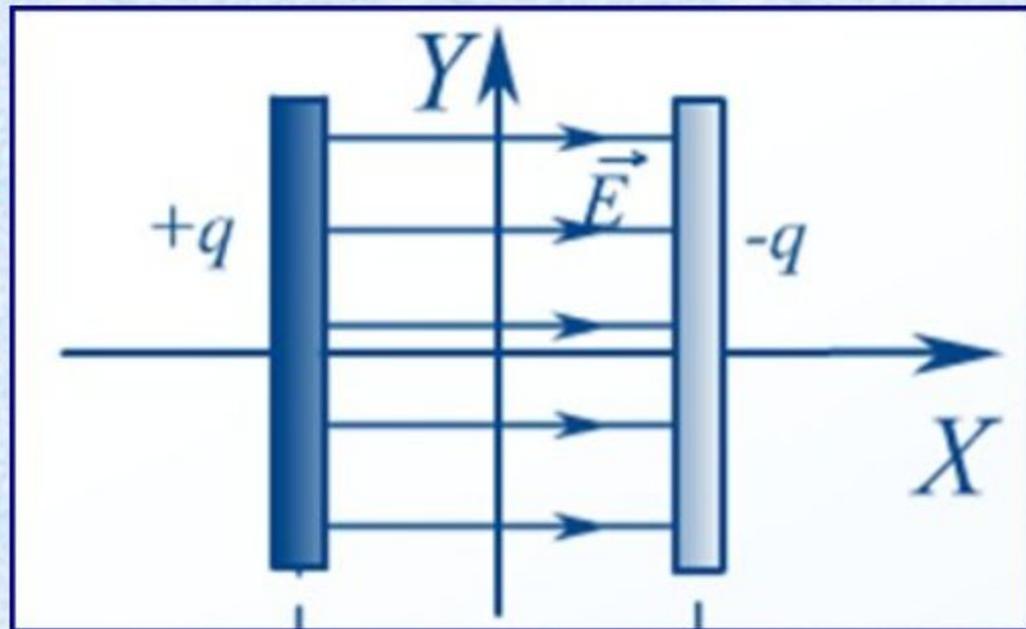
$$U = \frac{A}{q} \quad \left[ 1B = \frac{1Дж}{1Кл} \right]$$

Если разность потенциалов равна  $1 В$ , то при перемещении заряда в  $1 Кл$  из одной точки в другую электрическое поле совершает работу  $1 Дж$ .

# Эквипотенциальные поверхности

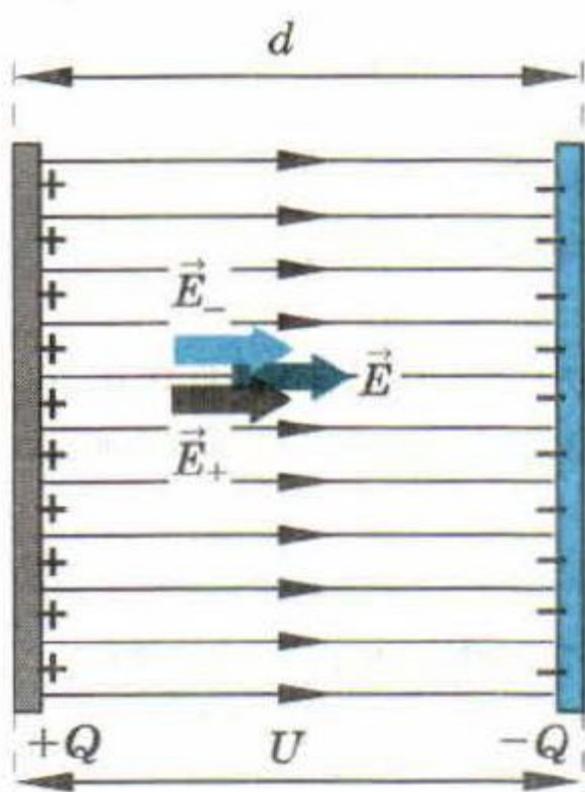
Если работа поля при перемещении заряда равна нулю, то и разность потенциалов между начальной и конечной точками траектории тоже равна нулю. Это выполняется при перемещении заряда перпендикулярно линиям напряженности электрического поля.

**Поверхность, все точки которой имеют равный потенциал, называется эквипотенциальной**



Конденсатор — система двух проводников, при сообщении которым равных по величине зарядов противоположного знака электрическое поле оказывается локализованным вблизи этих проводников в пространстве между ними.

Электрическая ёмкость конденсатора — физическая величина, равная отношению заряда положительно заряженного проводника к разности потенциалов между ним и отрицательно заряженным проводником:



$$C = \frac{Q}{U}. \quad (146)$$

*Плоский конденсатор. Конденсатор сосредоточивает электростатическое поле в пространстве между пластинами*

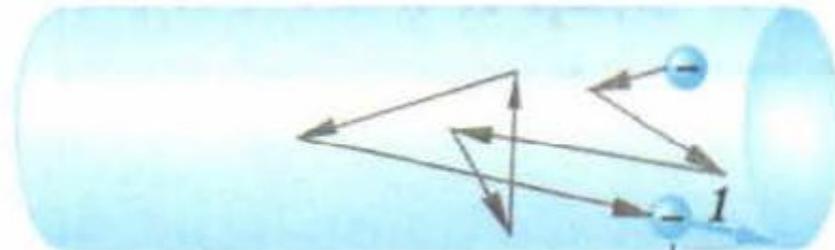
Энергия электрического поля запасенного в конденсаторе:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}.$$

# Электрический ток

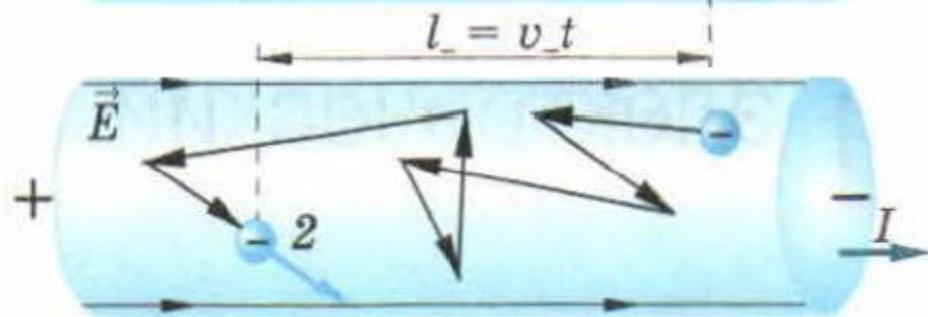
*Электрический ток — упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц.*

*Траектория движения электрона в проводнике в отсутствие внешнего электрического поля ( $\vec{E} = 0$ )*



$$\vec{E} = 0$$

*Траектория движения электрона в проводнике при наличии внешнего электрического поля ( $\vec{E} \neq 0$ )*



$$\vec{E} \neq 0$$

*Сила тока в данный момент времени — скалярная физическая величина, равная пределу отношения электрического заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, к промежутку времени его прохождения:*

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (1)$$

# Источник тока в электрической цепи.

## ЭДС

*Источник тока — устройство, разделяющее положительные и отрицательные заряды.*

*ЭДС — скалярная физическая величина, равная отношению работы сторонних сил по перемещению положительного заряда от отрицательного полюса источника к положительному к величине этого заряда:*

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}. \quad (5)$$

### Закон Ома для однородного проводника

*Сила тока в однородном проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника:*

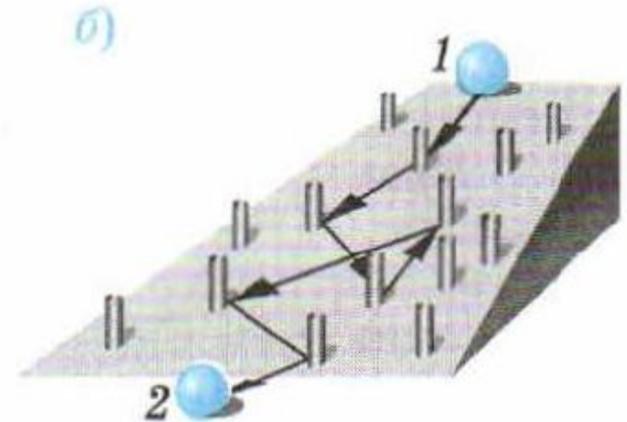
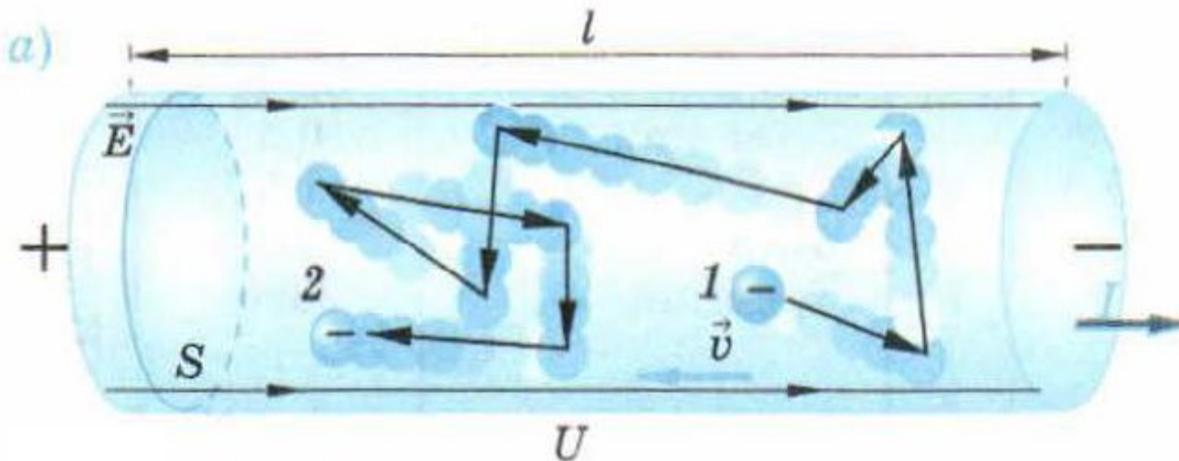
$$I = \frac{U}{R}. \quad (7)$$

# Сопротивление проводника

Сопротивление проводника прямо пропорционально его длине  $l$  и обратно пропорционально площади его поперечного сечения  $S$ :

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

(8)



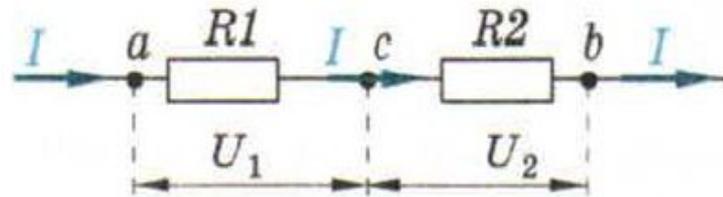
Движение электрона в проводнике:

- а) траектория движения электрона в проводнике;  
б) моделирование движения электрона в проводнике

# Соединение проводников

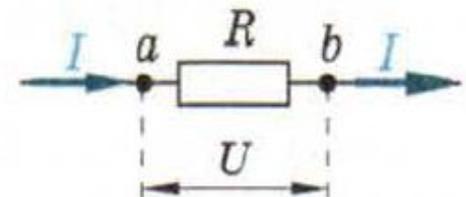
Последовательное соединение проводников:  
а) схема соединения;  
б) эквивалентная схема

$$I = I_1 = I_2$$



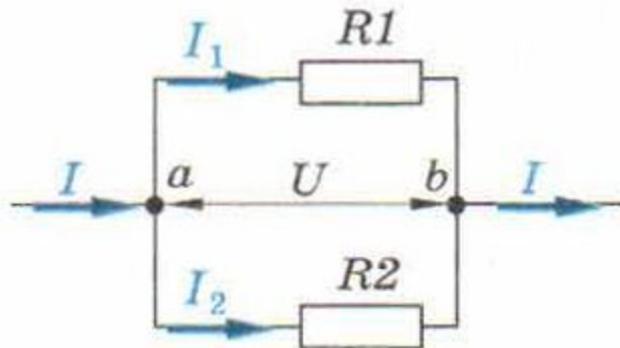
а)

$$U = U_1 + U_2$$

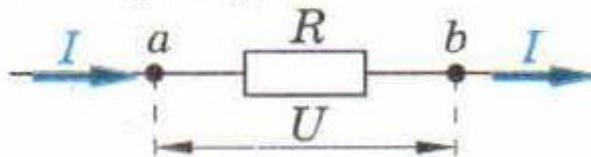


$$R = R_1 + R_2. \quad \text{б)}$$

$$U = U_1 = U_2$$



$$I = I_1 + I_2$$

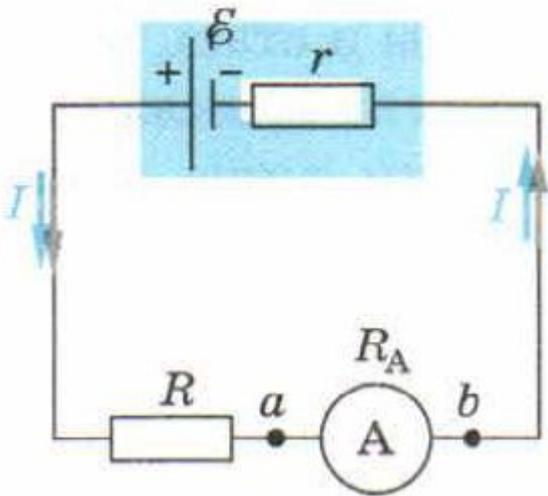


Параллельное соединение проводников:  
а) схема соединения;  
б) эквивалентная схема

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

# Измерение силы тока и напряжения

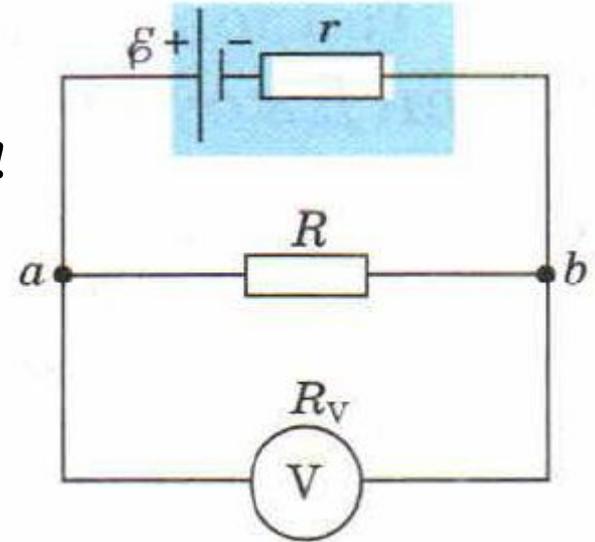
*Амперметр — прибор для измерения силы электрического тока.*



*Включение в цепь амперметра*

**Амперметр включается в цепь последовательно!**

**Вольтметр включается параллельно тому участку цепи, напряжение на котором Измеряется!**



*Включение в цепь вольтметра*

*Вольтметр — прибор для измерения электрического напряжения.*