



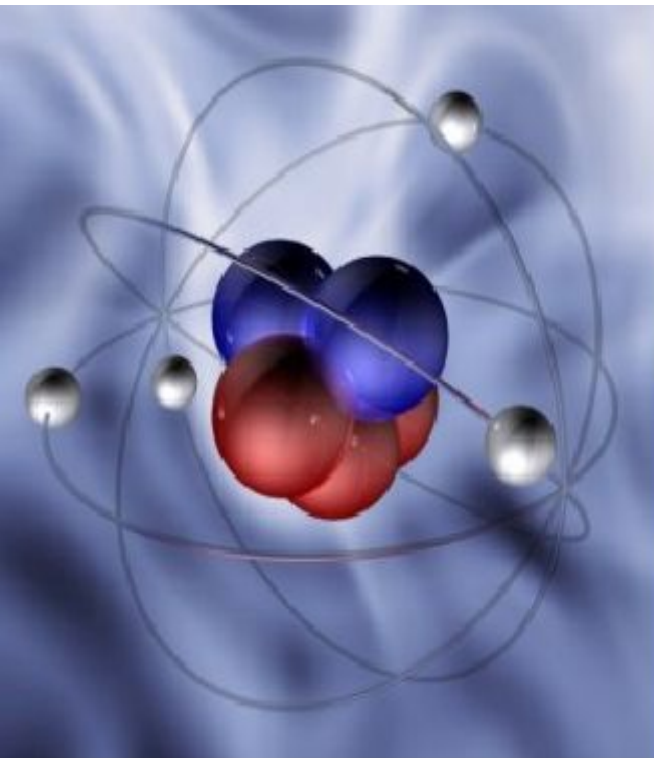
ФИЗИК

А

Лекция 3

- 1. Электростатическое поле. Закон Кулона
- 2. Напряженность и потенциал точечного заряда . Принцип суперпозиции.
- 3. Постоянный ток. Закон Ома для однородного и неоднородного участков цепи

1. Электрический заряд и его свойства



- С современной точки зрения, носителями зарядов являются **элементарные частицы**.
- **Электрический заряд** – это физическая величина, характеризующая свойство частиц или тел вступать в электромагнитные силовые взаимодействия .
- Единица измерения заряда в СИ — Кулон. Заряд в 1 Кл очень велик.

Свойства электрического заряда

- Электрический заряд квантуется (имеет дискретную природу)
- Элементарный заряд-заряд электрона
- В природе существуют два вида зарядов-положительные и отрицательные
- Закон сохранения электрического заряда

$$Q = \pm ne$$

$$n = 1, 2, 3 \dots$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

В 1897 г. Дж. Томсоном была открыта и наименьшая устойчивая частица, являющаяся носителем элементарного отрицательного заряда.

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}$$

Закон Кулона (1785г.)

Электростатика рассматривает поле, созданное неподвижными электрическими зарядами.

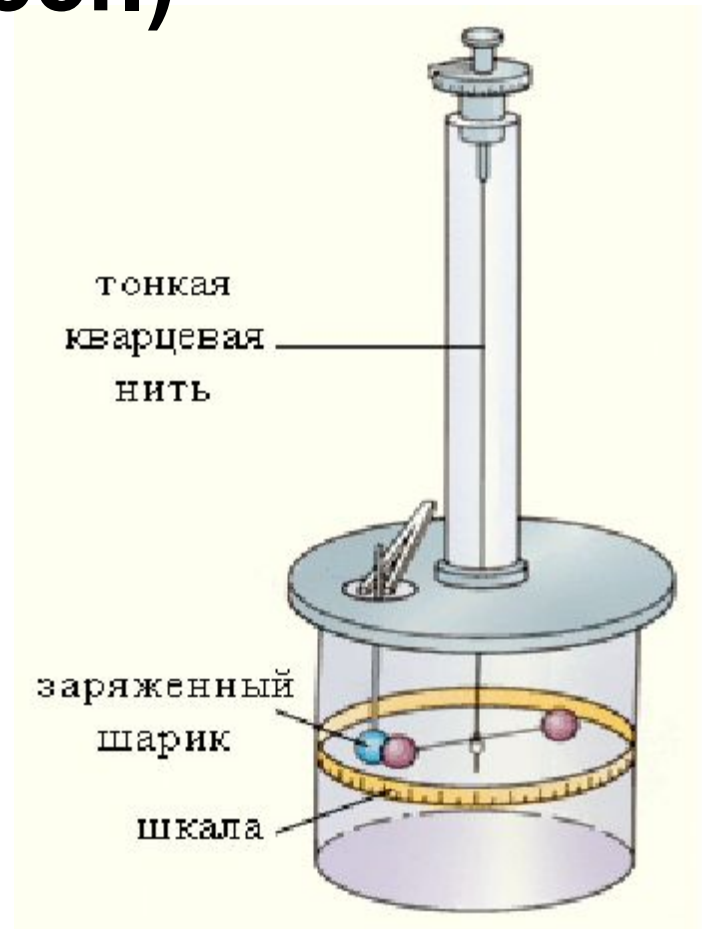
- **Силы взаимодействия неподвижных зарядов прямо пропорциональны произведению модулей зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними:**

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2}$$

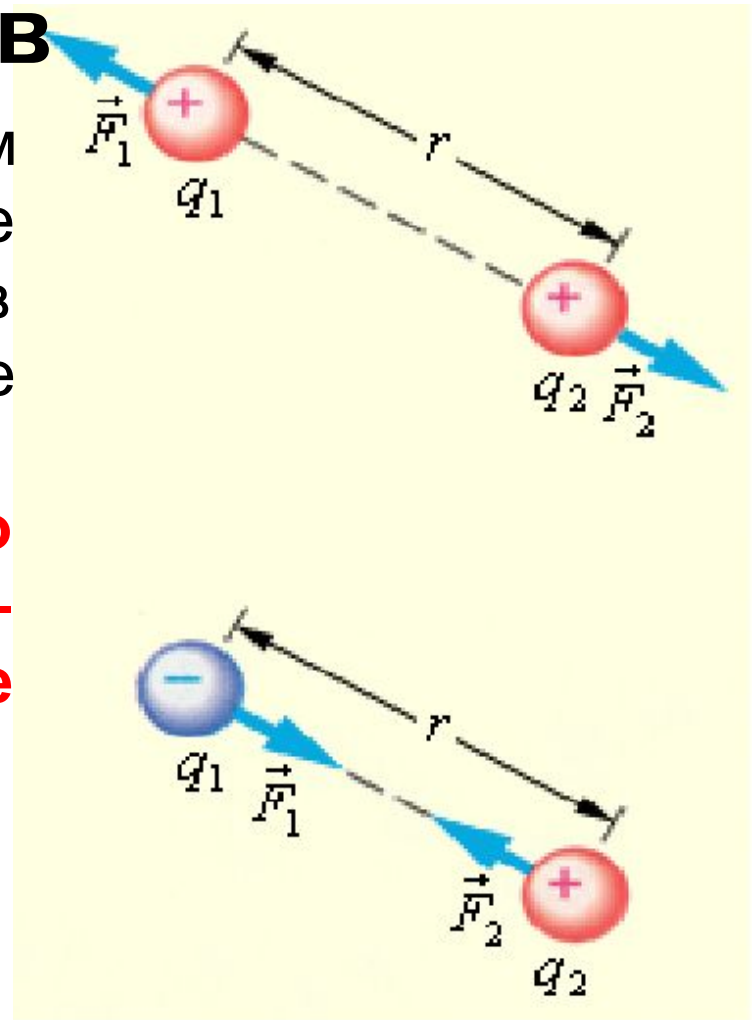
Закон Кулона (1785г.)

С помощью крутильных весов измерялось взаимодействие между шариками, размеры которых много меньше расстояния между ними. Такие заряженные тела принято называть **точечными зарядами.**



Силы взаимодействия одноименных и разноименных зарядов

- По современным представлениям каждое заряженное тело создает в окружающем пространстве **электрическое поле**.
- **Главное свойство электрического поля – действие на электрические заряды с некоторой силой.**

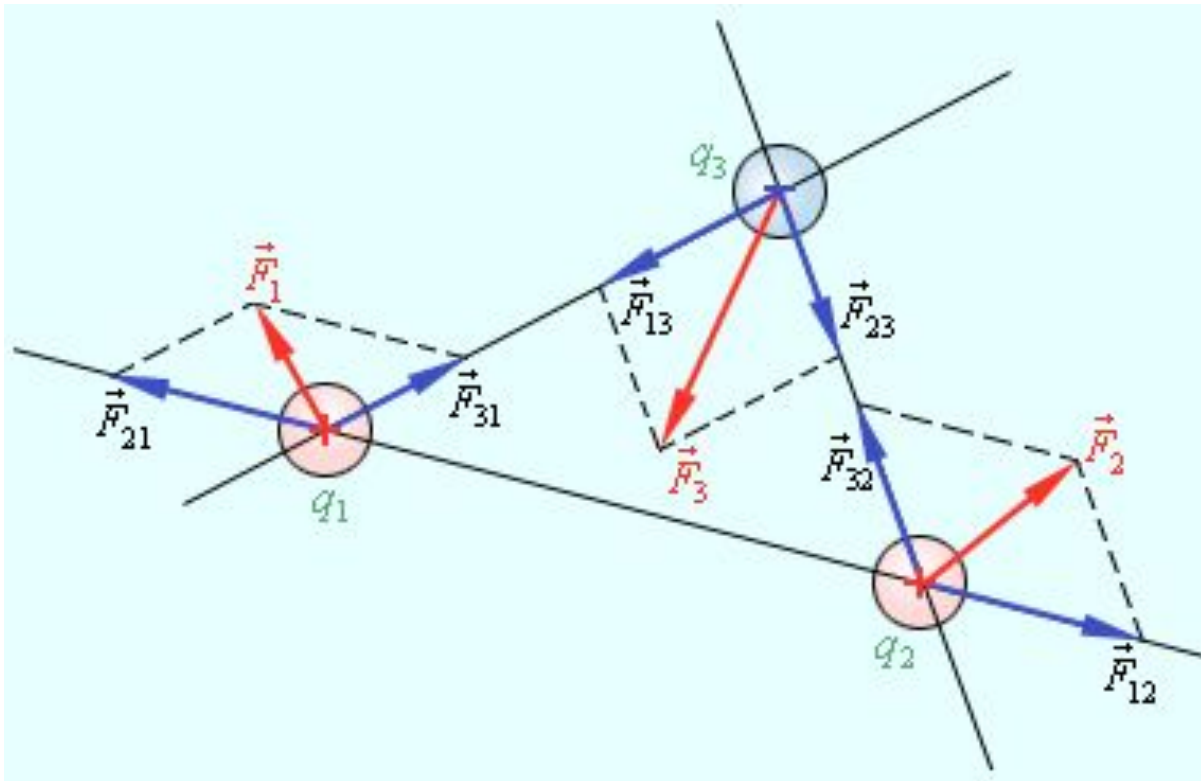


Принцип суперпозиции

Каким будет поле,
если оно создается
несколькими зарядами



справедлив
ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ
(наложения полей)



$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

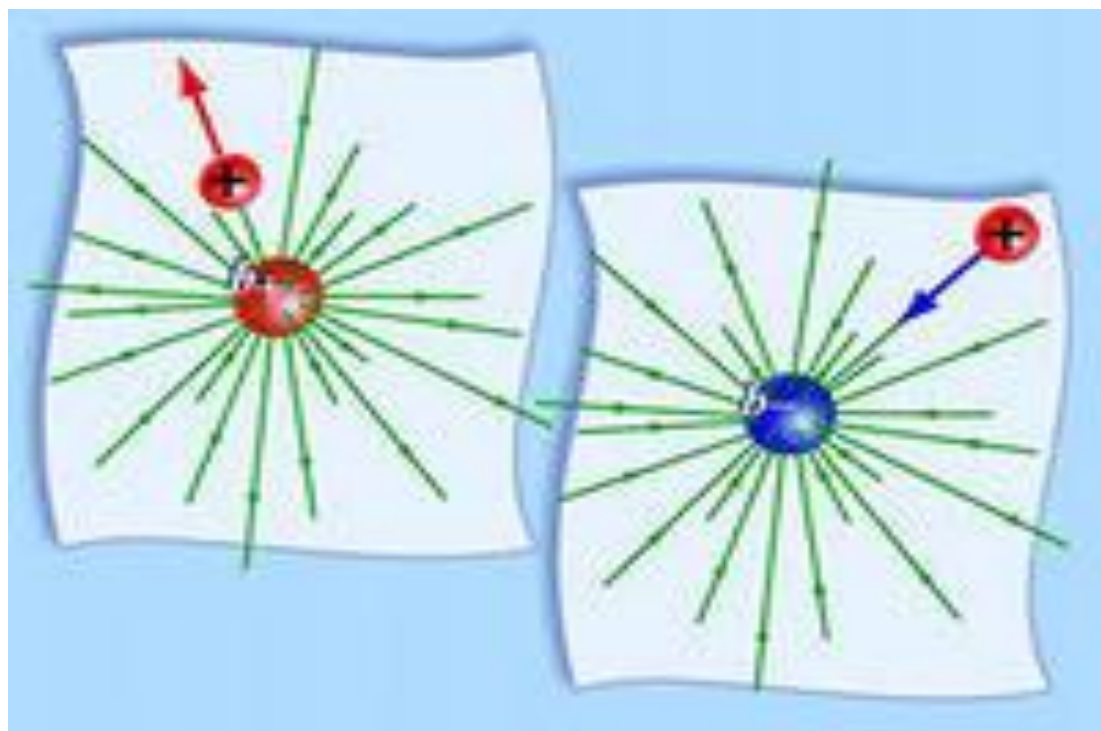
Напряженность электрического поля

- **Напряженностью** электрического поля E называют физическую величину, равную отношению силы, с которой поле действует на пробный заряд (точечный, **положительный**), помещенный в данную точку пространства, к величине этого заряда:

$$E = \frac{F}{q_0}$$

$$[E] = \left[\frac{H}{Kл} \right] = \left[\frac{B}{M} \right]$$

Напряженность поля неподвижного точечного заряда Q

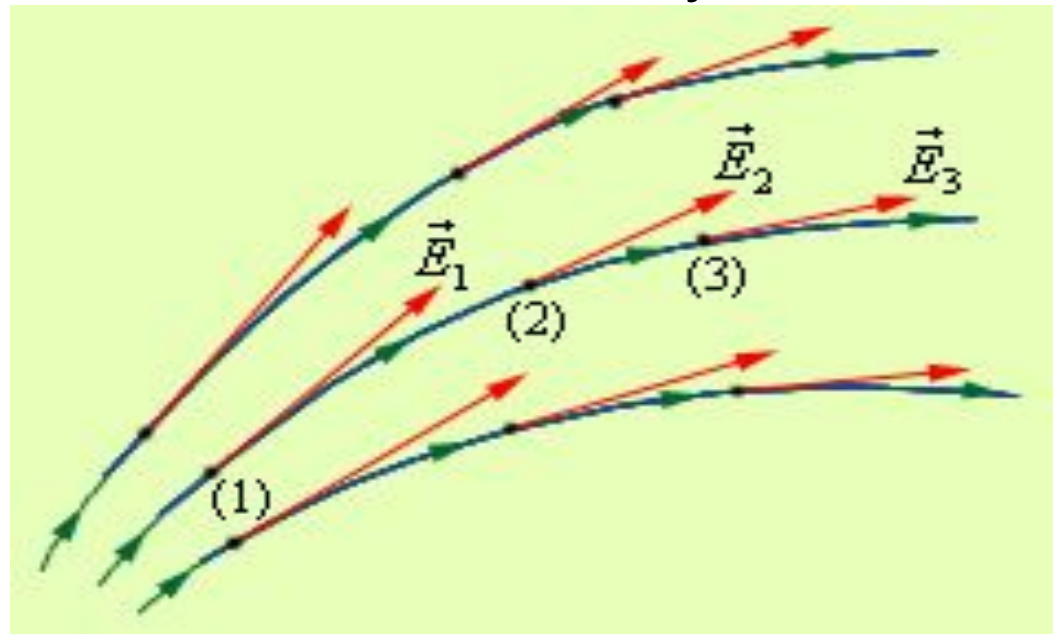


$$F = k \frac{Qq_0}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q_0} = k \frac{Q}{r^2}$$

Силловые линии (линии напряженности)

- Графически электрическое поле изображается **силовыми линиями**- это линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с вектором E в этих точках а густота линий выбирается так, чтобы количество линий, пронизывающих единичную поверхность, перпендикулярную к силовым линиям, было равно модулю вектора E .



Принцип суперпозиции

Отражает независимость действия электростатических полей

Если поле создается системой зарядов, то напряженность результирующего поля равна векторной сумме напряженностей, создаваемых каждым зарядом

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$$

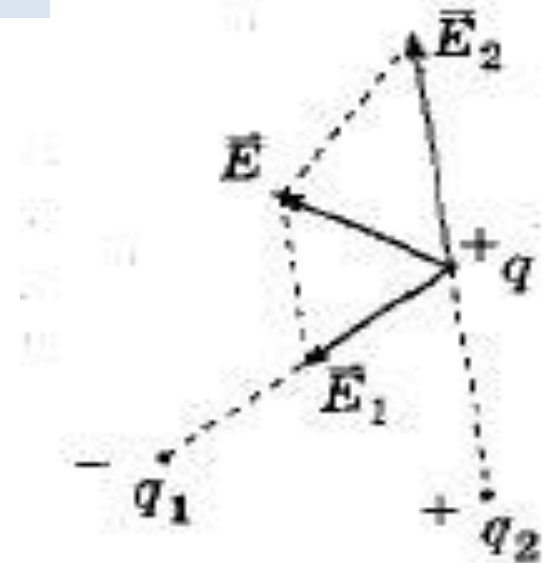


Рис. 105

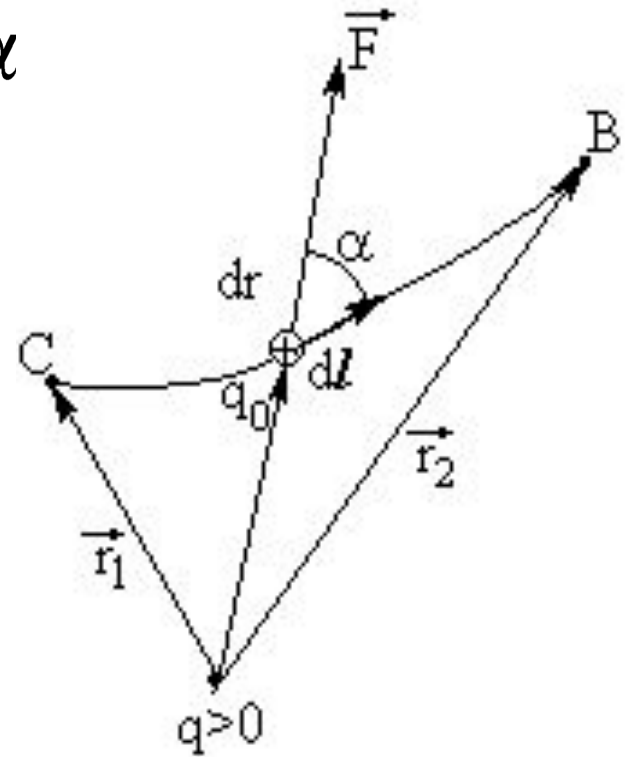
Потенциальная энергия

- Силы кулоновского взаимодействия являются консервативными, поэтому можно ввести понятие **потенциальной энергии**.

$$dA = \overline{F} d\overline{l} = q(\overline{E} d\overline{l}) = qE dl \cos \alpha$$
$$dl \cos \alpha = dr$$

$$dA = \frac{kQq_0}{r^2} dr$$

$$A = \int_C^B dA$$



Потенциальная энергия

В поле точечного заряда Q работа по перемещению заряда q_0 из точки 1 в точку 2:

$$A_{12} = \int_1^2 \frac{kQq_0}{r^2} dr = kQq_0 \int_1^2 \frac{dr}{r^2} = kQq_0 \left(-\frac{1}{r}\right)_{r_1}^{r_2} =$$

$$kQq_0 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = W_{п1} - W_{п2}$$

Потенциальная энергия заряда q_0 в поле заряда Q равна

$$W_{п} = \frac{kQq_0}{r}$$

Потенциал

- Потенциал – это скалярная величина, равная отношению потенциальной энергии, которой обладает пробный заряд в электростатическом поле, к величине этого заряда

$$\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q_0}$$

$$[\varphi] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \right] = \text{вольт} [V]$$

- Для поля точечного заряда:

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

Потенциал

Работа сил поля по перемещению заряда q_0 из точки 1 в точку 2:

$$A_{12} = W_{П1} - W_{П2} = q_0 (\varphi_1 - \varphi_2)$$

Потенциал численно равен работе сил эл. поля по перемещению единичного положительного заряда из данной точки поля на бесконечность.

Принцип суперпозиции:

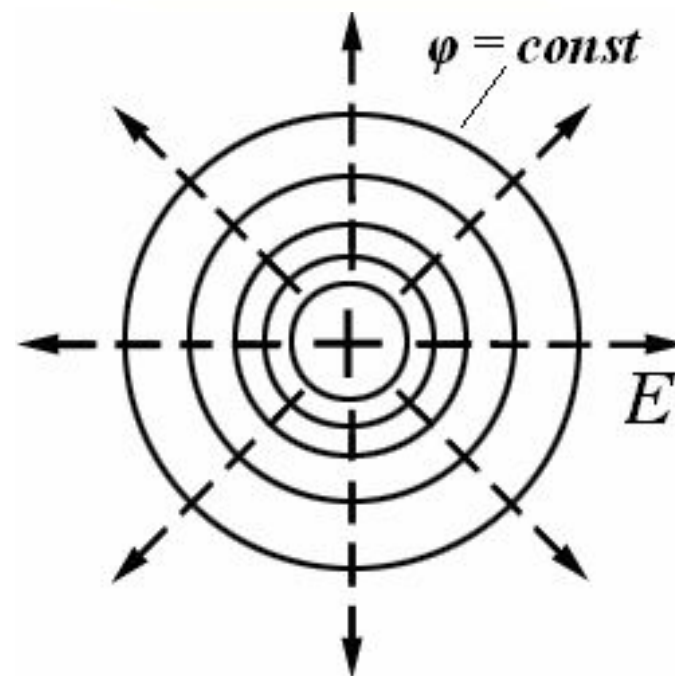
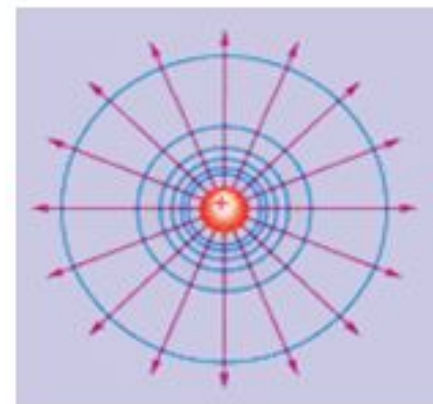
$$A_{\infty} = q\varphi$$

Потенциал поля, создаваемого системой зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых каждым из зарядов в отдельности.

$$\varphi = \sum_i \varphi_i$$

Эквипотенциальные поверхности

- Для графического изображения распределения потенциала используют **эквипотенциальные поверхности – поверхности**,
 - во всех точках которых потенциал φ имеет одно и то же значение,
 - вектор напряженности электрического поля **E всегда нормален к эквипотенциальным поверхностям**,
 - $\Delta\varphi$ между двумя любыми эквипотенциальными поверхностями одинакова



Связь между напряженностью и потенциалом

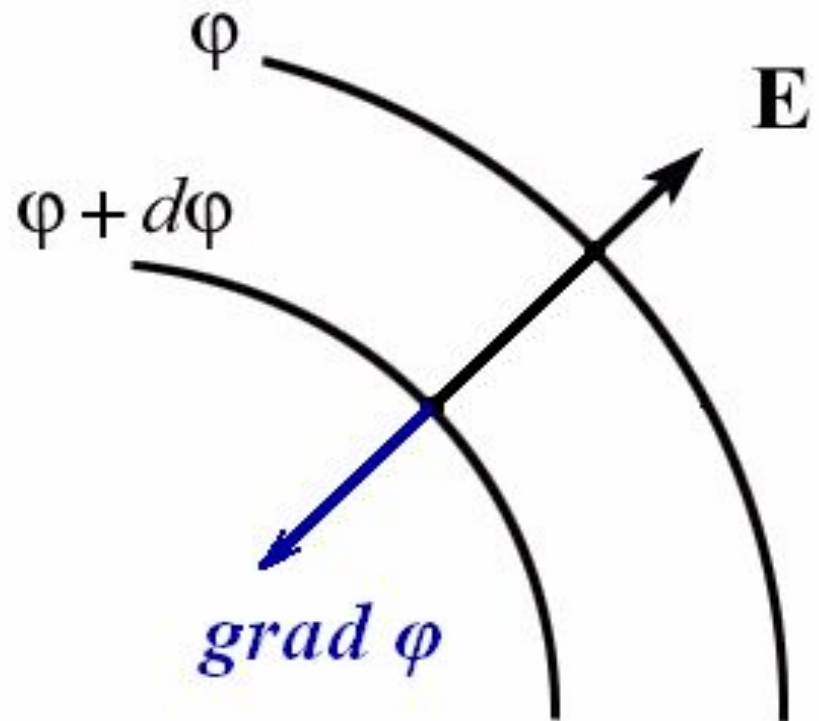
$$\vec{E} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k}$$

$$E_x = -\frac{d\varphi}{dx} \quad E_y = -\frac{d\varphi}{dy} \quad E_z = -\frac{d\varphi}{dz}$$

$$\vec{E} = -\mathit{grad} \varphi$$

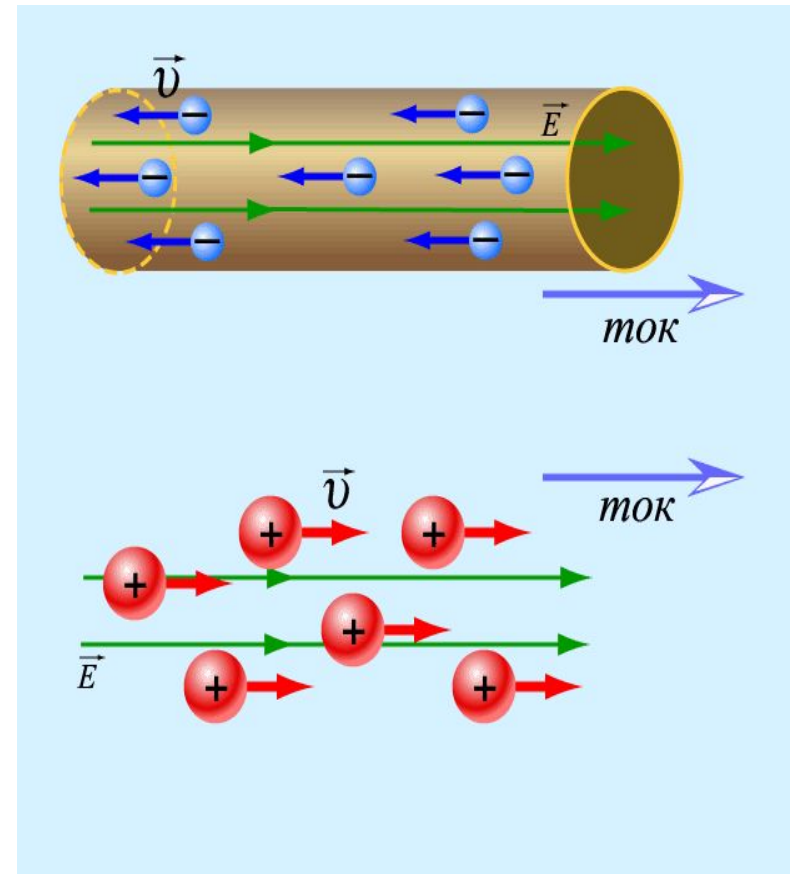
Вектор напряженности равен градиенту потенциала, взятому с обратным знаком.

Вектор E направлен в сторону убывания потенциала.



3. Электрический ток

- **Электрический ток** – это упорядоченное движение электрических зарядов (в металлах – электронов, в электролитах – ионов)
- За **направление** электрического тока принято направление движения **положительных свободных зарядов**.



Сила тока

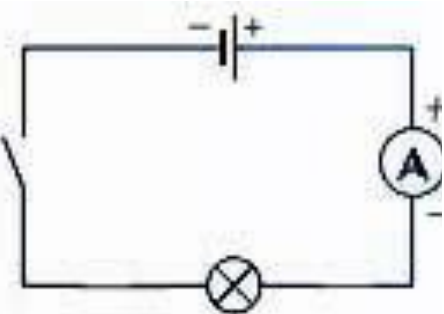
Сила тока- это количественная характеристика тока: скалярная величина, равная заряду, прошедшему через поперечное сечение в единицу времени.

$$I = \frac{dq}{dt}$$

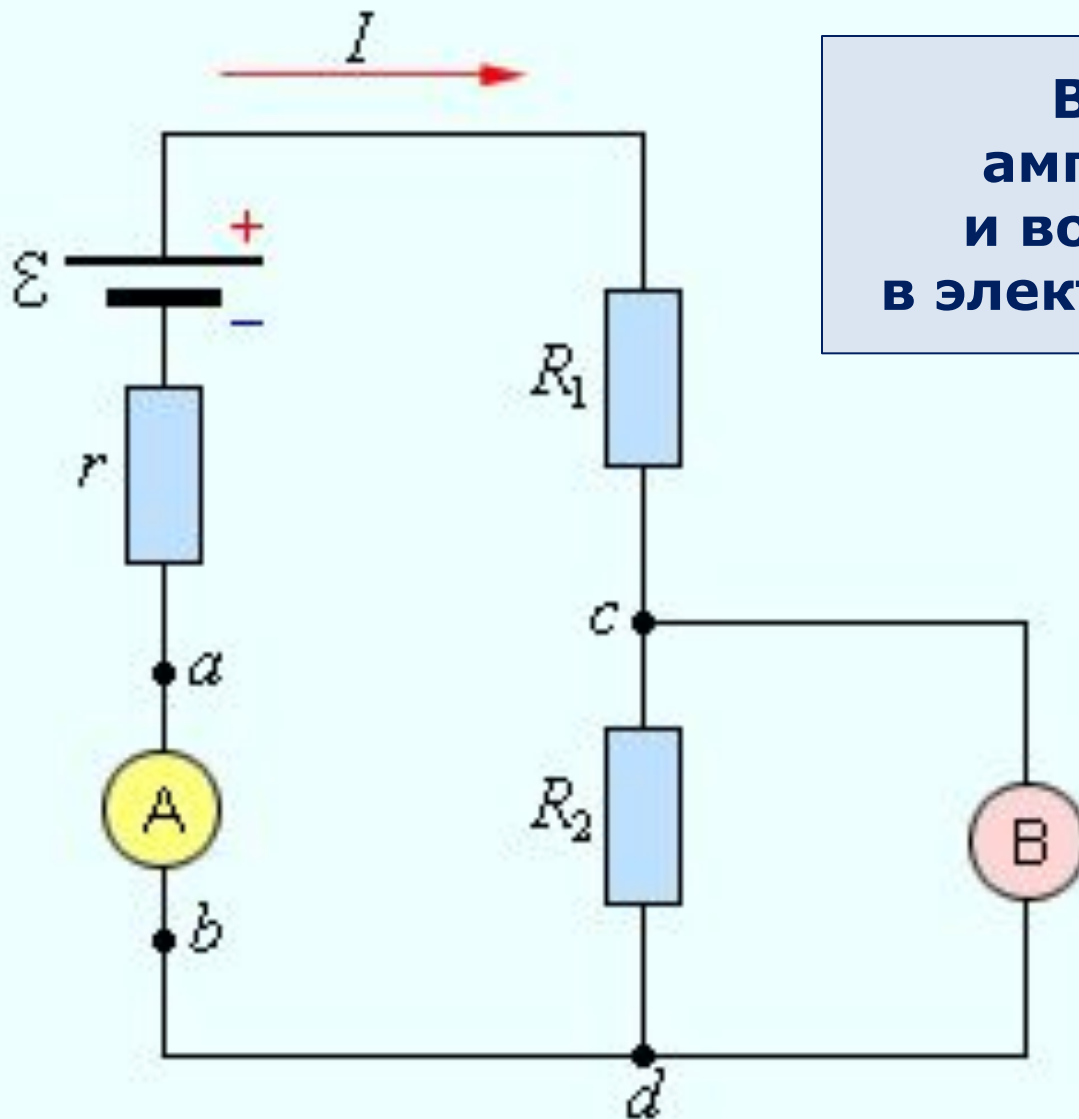
Если ток не изменяется по величине и q направлению, то он называется **постоянным**.

Измерение силы тока

- Единицы измерения силы тока $[I]=\text{Ампер}$.
- Для измерения силы тока используют **амперметр** (миллиамперметр (mA), микроамперметр (μA), **гальванометр**). Его включают в разрыв цепи в том месте, где нужно измерить силу тока.



Измерение тока и напряжения



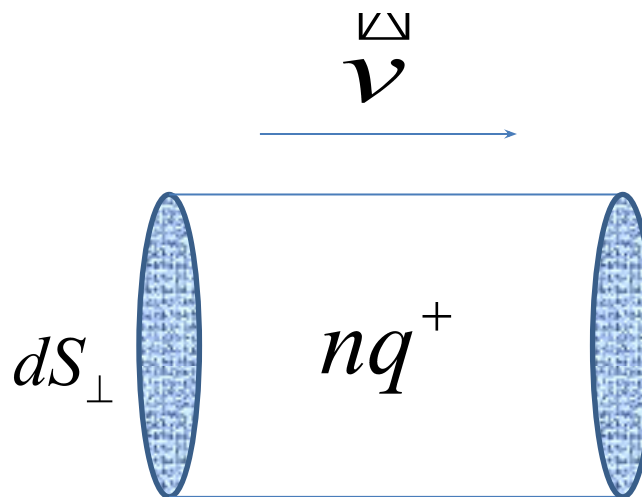
**Включение
амперметра (А)
и вольтметра (В)
в электрическую цепь**

Плотность тока

- **Плотность тока** характеризует распределение электрического заряда по сечению проводника . Это векторная величина, направление которой совпадает с направлением скорости упорядоченного движения положительных зарядов.

$$j = \frac{dl}{dS_{\perp}}$$

$$\vec{j} = nq^+ \vec{v}$$



Электрическая цепь

В замкнутой электрической цепи свободные q циркулируют по замкнутым траекториям

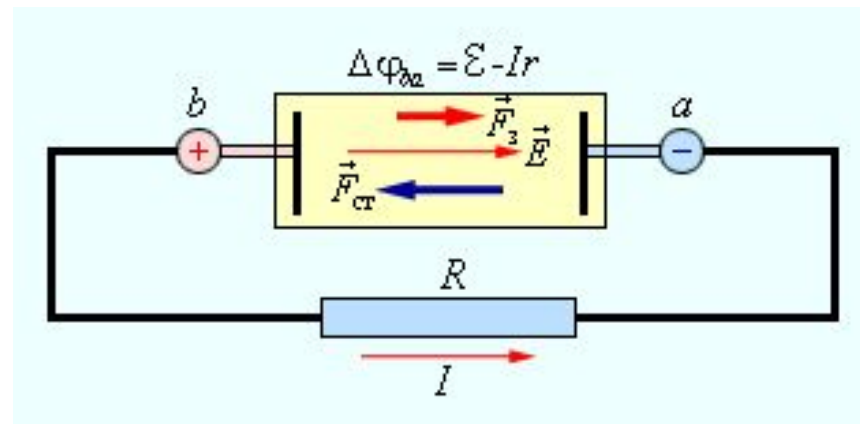
Если на q в цепи действуют только силы ЭС поля

происходит

перемещение зарядов q

приводит к

выравнивание потенциалов



в замкнутой цепи должны быть какие-либо другие силы, поддерживающие разность потенциалов

Для существования постоянного тока необходимо наличие в цепи устройства, способного создавать и поддерживать разность потенциалов за счет работы сил **неэлектростатического происхождения**

Источник тока

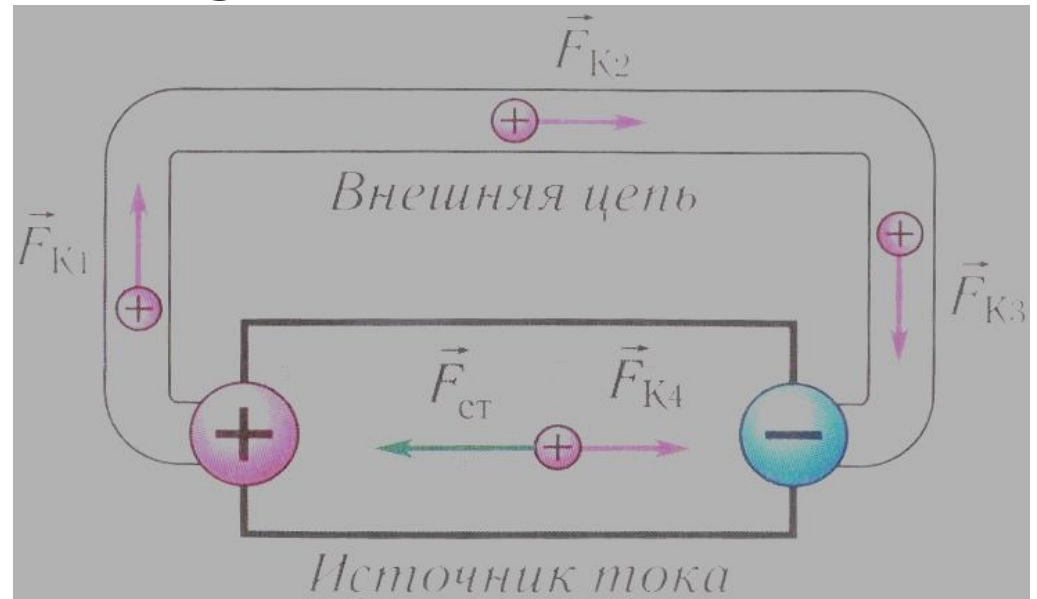


Силы неэлектростатического происхождения, действующие на свободные q со стороны источников тока

Сторонние силы

Электродвижущая сила

ЭДС - физическая величина, равная отношению работы $A_{стор}$ сторонних сил при перемещении заряда q (от отрицательного полюса источника тока к положительному) к величине этого заряда.



$$A^{стор} = q \int_1^2 \vec{E}_{стор} dl = q\varepsilon$$

$$A_{кул} = q \int_1^2 \vec{E}_{кул} dl = qU$$

Закон Ома для однородного участка цепи

- Участки цепи, на которых не действуют сторонние силы (не содержащие источников тока), называются **однородными**.
- Участки, включающие источники тока называются **неоднородными**.
- **Закон Ома** в интегральной форме: сила тока в однородном проводнике пропорциональна напряжению на концах этого проводника

$$I = \frac{U}{R}$$





- Законы Ома, Джоуля-Ленца стали одними из важнейших открытий в области электричества.
- Открытый Г. Омом в 1826 г. закон, согласно которого на участке цепи $I = U/R$ и для замкнутой цепи $I = \text{ЭДС}/(R + r)$, а также закон Джоуля-Ленца $Q = I * U * t$ для количества тепла, выделяющегося при прохождении тока по неподвижному проводнику за время t , заметно расширили понятия об электричестве и магнетизме.



Сопротивление

- Величина сопротивления R зависит от формы и размеров проводника, а также от свойств материала, из которого он сделан. Для цилиндрического проводника

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

- ρ - удельное электрическое сопротивление, определяется химической природой вещества и условиями, в которых он находится, в частности, температурой.

Удельное сопротивление

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

ρ – коэффициент пропорциональности –
удельное сопротивление

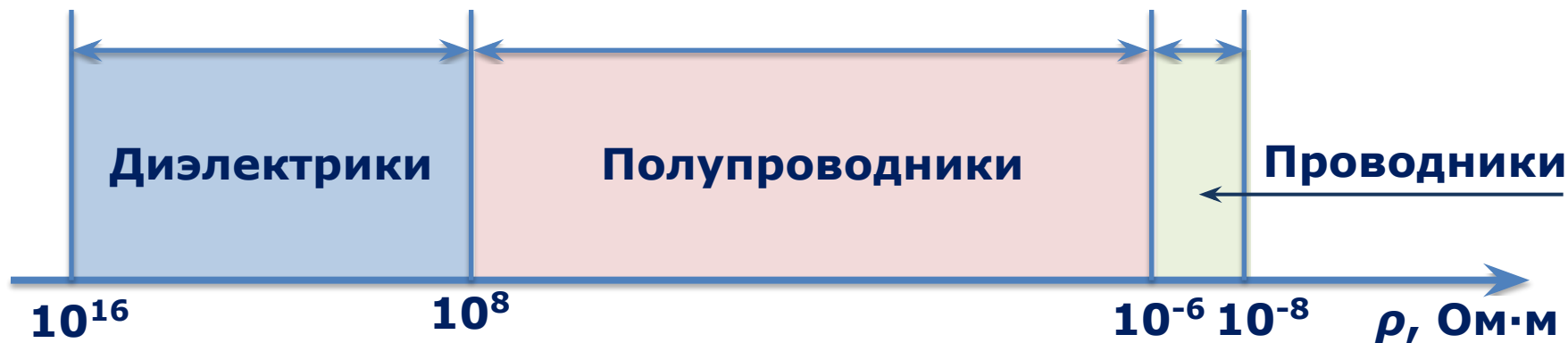
$\rho = f(\text{вещества})$

$[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$

Служит характеристикой вещества,
из которого изготовлен проводник

1 Ом·м – удельное сопротивление
проводника площадью $S=1 \text{ м}^2$,
длиной 1 м, с сопротивлением 1 Ом

Область изменений ρ для различных материалов:



• кварц: $\rho = 10^{14} - 10^{15}$ Ом·м
• парафин: $\rho = 3 \cdot 10^{18}$ Ом·м

• серебро: $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м
• медь: $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м
• алюминий: $\rho = 2,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м

Закон Ома для неоднородного участка цепи

$$A_{12} = A^{\text{кул}} + A^{\text{стор}} = q(\varphi_1 - \varphi_2) + q\varepsilon$$

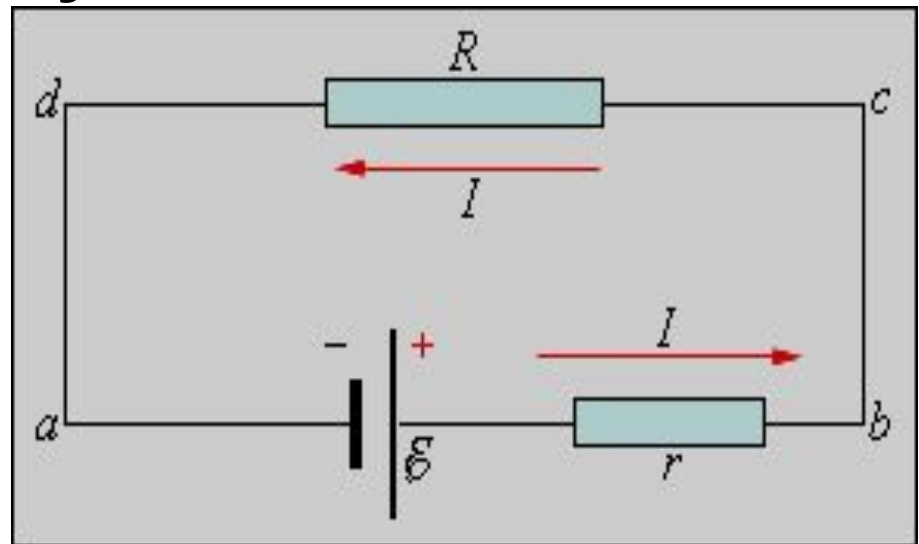
$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon$$

$$I = \frac{U_{12}}{R_{12}} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R_{12}}$$

- Закон Ома для замкнутой цепи:

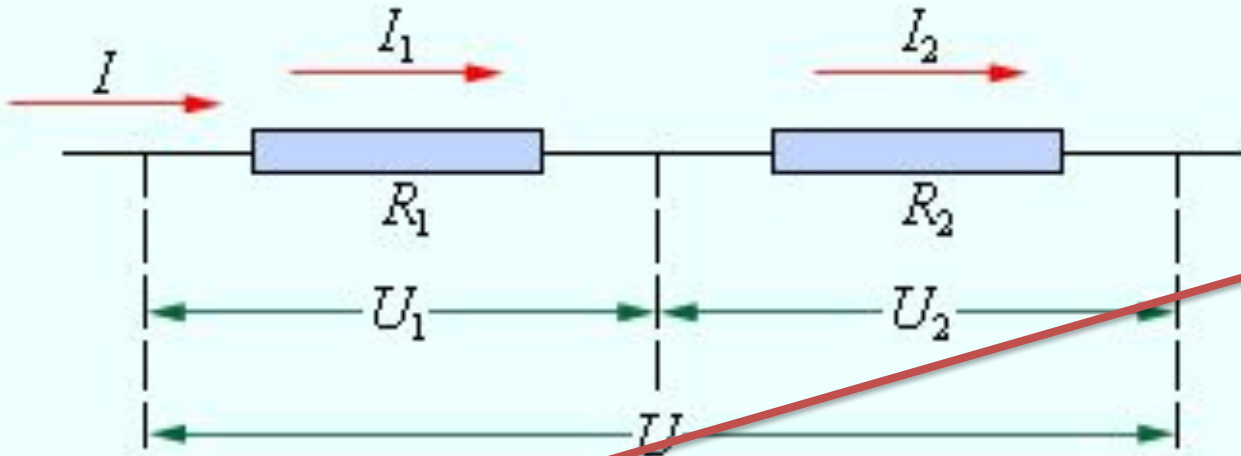
$$I = \frac{\varepsilon}{R_{12}} = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r}$$



Соединение проводников

Последовательное соединение



$$I_1 = I_2 = I$$

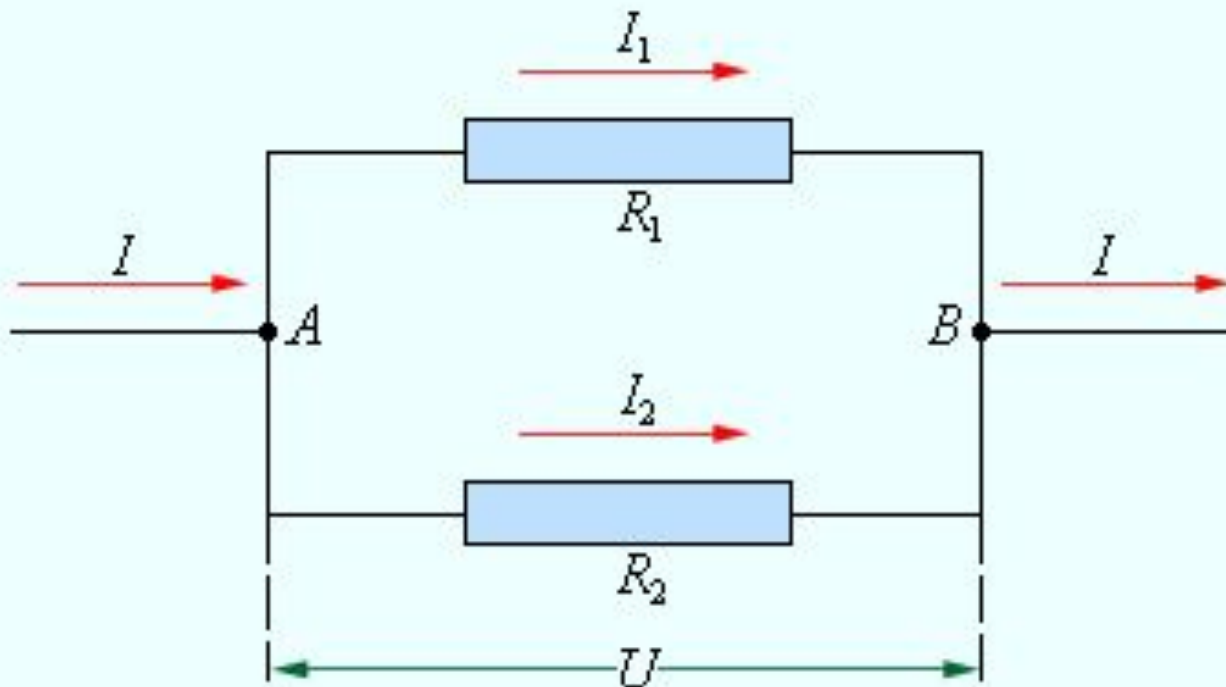
$$U_1 = IR_1$$

$$U = U_1 + U_2 = I(R_1 + R_2) = IR$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

Соединение проводников

Параллельное соединение



$$U_1 = U_2 = U$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

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

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Закон Ома в дифференциальной форме



$$\overset{\nabla}{j} = \overset{\nabla}{\sigma} E,$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

σ – удельная проводимость

1911 г. Сверхпроводимость

Суть явления:

При определенной $T_{кр}$
удельное сопротивление ρ
скачком ↓ до нуля

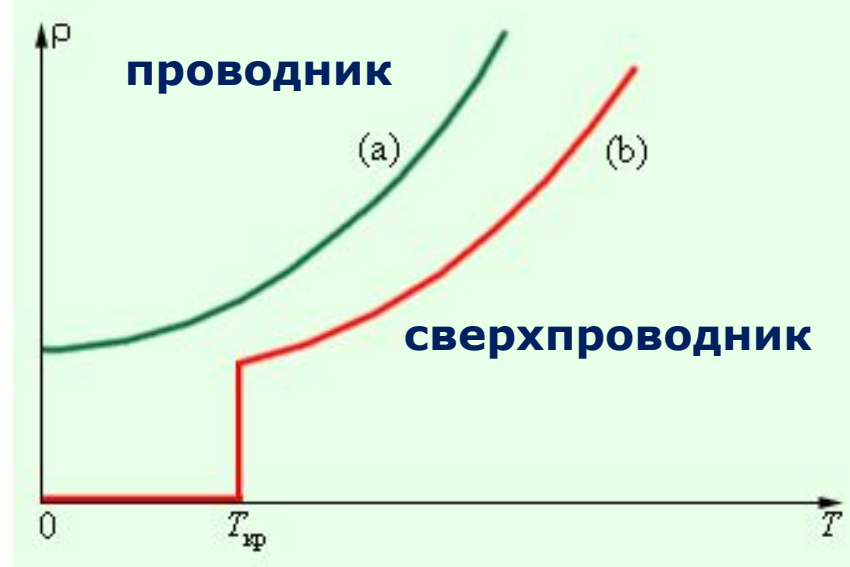
$T_{кр} = f(\text{вещества})$:

для ртути $T_{кр} = 4,1 \text{ K}$
для алюминия $T_{кр} = 1,2 \text{ K}$
для олова $T_{кр} = 3,7 \text{ K}$

Вещества в сверхпроводящем состоянии обладают особыми свойствами:

способность длительное время (многие годы) поддерживать без затухания электрический ток, возбужденный в сверхпроводящей цепи

Зависимость
удельного сопротивления ρ
от температуры T
при низких температурах



1988 г. – обнаружена
высокотемпературная
сверхпроводимость (ВТСП):
создано керамическое
соединение с $T_{кр} = 125 \text{ K}$

1840 г.



Закон Джоуля-Ленца

Установили экспериментально
независимо друг от друга

Если ток проходит по **неподвижному**
металлическому проводнику, то вся
работа тока идет на его нагревание

Закон сохранения энергии
для однородного участка цепи



$$dQ = \frac{U^2}{R} dt$$

$$dQ = IU dt$$

$$dQ = RI^2 dt$$

$$dQ = dA$$

Q – количество теплоты,
выделяемое
в цепи при прохождении тока