

**Работа,  
мощность,  
закон Джоуля-  
Ленца. Закон Ома  
Соединения**

# Сила тока.

**Сила тока** – физическая величина, показывающая заряд, проходящий через проводник за единицу времени. Математически это определение записывается в виде формулы:

$$I = \frac{q}{t}$$

$I$  – сила тока (А)

$q$  – заряд (Кл)

$t$  – время (с)

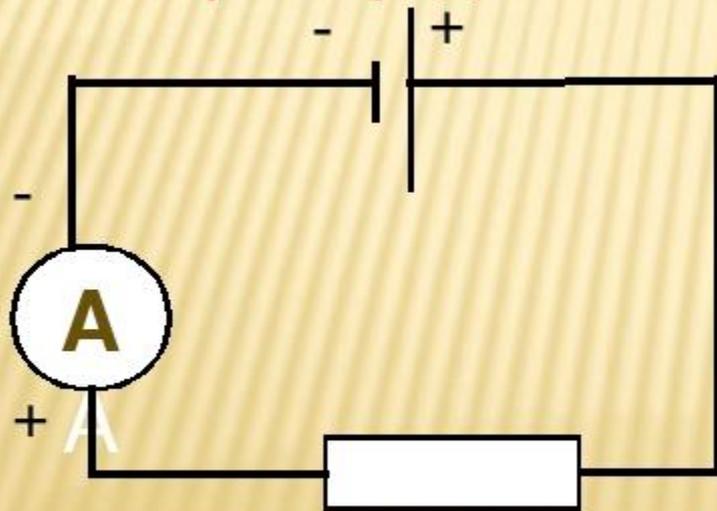
Для измерения силы тока используют специальный прибор – **амперметр**. Его включают в разрыв цепи в том месте, где нужно измерить силу тока.

**Сила тока** – физическая величина, характеризующая действие тока.

Обозначается – **I**

Измеряется в Амперах – **A**

Прибор для измерения – **амперметр**



$$I = \frac{q}{t}$$



**Напряжение – это физическая величина, характеризующая работу электрического поля при перемещении заряда.**

- Напряжение равно отношению работы электрического поля при перемещении заряда к величине этого заряда.
- Обозначается напряжение латинской буквой (U).
- Единица измерения напряжения – 1Вольт.
- $1\text{В} = \frac{1\text{Дж} - (\text{Джоуль})}{1\text{Кл} - (\text{Кулон})}$

$$U = \frac{A - (\text{работа})}{q - (\text{заряд})}$$

# Разность потенциалов

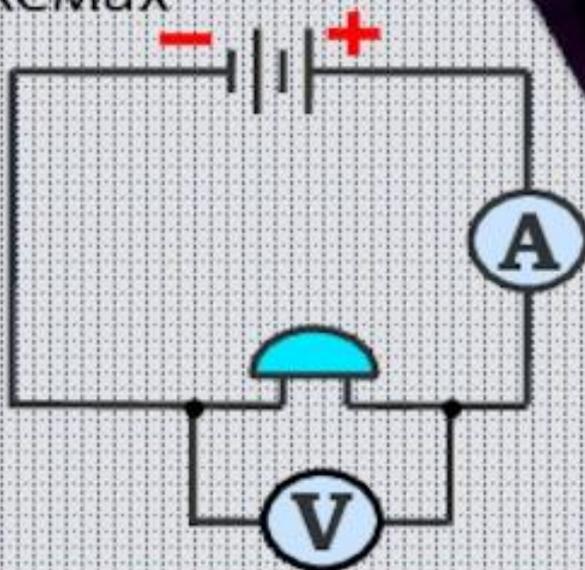
1

Разность потенциалов (напряжение) между двумя точками равна отношению работы поля при перемещении положительного заряда из начальной точки в конечную к величине этого заряда.

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

# Вольтметр – прибор для измерения напряжения

- Включается в цепь параллельно тому проводнику, напряжение на концах которого хотят измерить
- Обозначение на схемах



## Связь между напряжением и напряженностью

---

$$A = q\underline{Ed} \quad (1)$$

$$A = q\underline{U} \quad (2)$$

$$U = Ed$$

# Единица напряженности

---

$$E = \frac{U}{d} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$$

$$[E] = \left[ \frac{B}{\text{м}} \right]$$

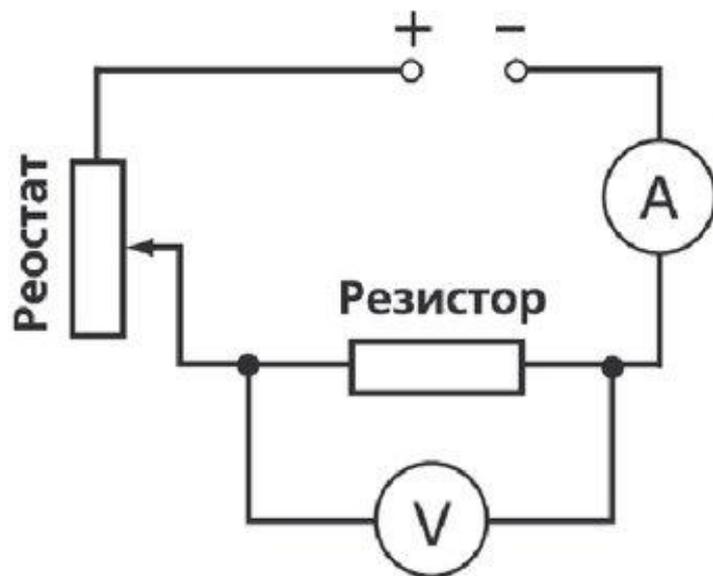
U – разность потенциалов (напряжение), В

d – расстояние, м

E – напряженность, В/м

# СОПРОТИВЛЕНИЕ - ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА, ХАРАКТЕРИЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПРОВОДНИКА ПРЕПЯТСТВОВАТЬ ПРОХОЖДЕНИЮ ТОКА

- Обозначается – **R**
- Измеряется в Омах, **ОМ**
- Зависит только от характеристик проводника:



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

$R$  – сопротивление проводника  
 $\rho$  – удельное сопротивление проводника  
 $l$  – длина проводника  
 $S$  – площадь поперечного сечения проводника

## **Условия, необходимые для существования электрического тока:**

- 1. наличие свободных заряженных частиц.*
- 2. сила, действующая на них в определенном направлении. На заряженные частицы, как мы знаем, действует электрическое поле с силой  $F = qE$ .*

Для каждого проводника существует определенная зависимость силы тока от приложенной разности потенциалов на концах проводника. Эту зависимость выражает так называемая **вольт-амперная характеристика** ВАХ проводника.

Впервые (для металлов) ВАХ установил немецкий ученый Георг Ом (1787—1854), поэтому зависимость силы тока от напряжения носит название **закона Ома**.

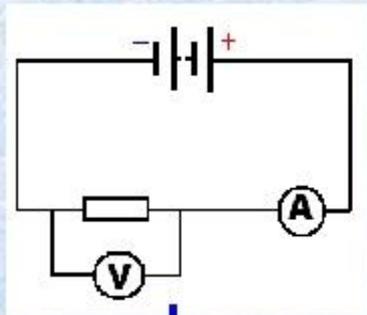
# *Закон Ома для участка цепи*

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

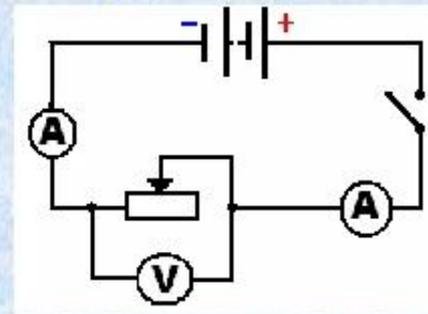


*Сила тока в участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению.*

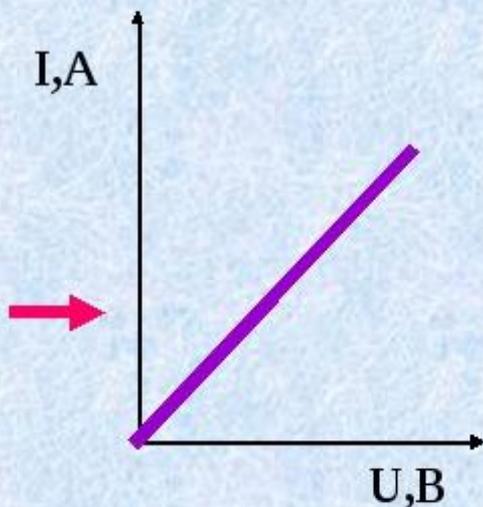
# Закон Ома для участка цепи



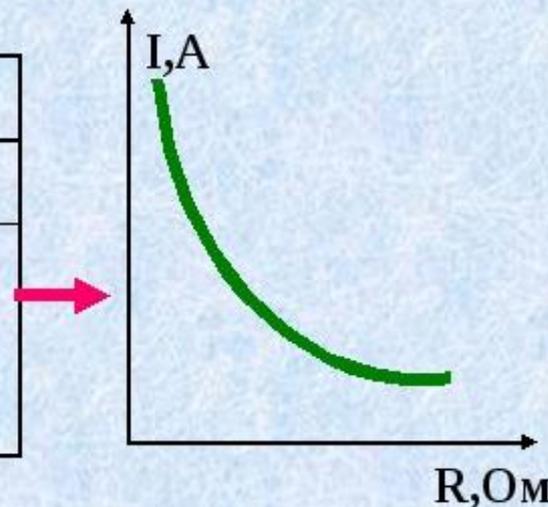
Получен  
экспериментально



R - постоянно	
U, В	I, А
U	I
2U	2I
3U	3I



U - постоянно	
R, Ом	I, А
R	I
2R	1/2I
3R	1/3I



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

$$U = I \cdot R$$

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

**Сила тока** в участке цепи **прямо пропорциональна** напряжению на концах этого участка и **обратно пропорциональна** его **сопротивлению**

Сопротивление проводника можно определить с помощью закона Ома:

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

Проводник имеет сопротивление 1 Ом, если при разности потенциалов 1 В сила тока в нем 1 А.

**ВАЖНО: НЕ зависит  
от силы тока и  
напряжения!**

**РАБОТА ТОКА**- это работа электрического поля по переносу электрических зарядов вдоль проводника.

Работа тока на участке цепи равна произведению силы тока, напряжения и времени, в течение которого работа совершалась:  $A = U \cdot I \cdot t$

Применяя формулу закона Ома для участка цепи, запишем несколько вариантов формулы для расчета работы тока:

$$A = U \cdot I \cdot t = I^2 R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$



□ **Работа электрического тока** — это работа, совершаемая электрическим полем:

$$A = UIt \qquad A = \frac{U^2 t}{R} \qquad A = I^2 R t$$

□ **Закон Джоуля-Ленца:** количество теплоты, выделяемой проводником равно произведению квадрата силы тока, сопротивления и времени прохождения тока по проводнику:

$$Q = I^2 R t$$

□ **Мощность электрического тока** — это отношение работы тока, ко времени прохождения тока:

$$P = UI \qquad P = \frac{U^2}{R} \qquad P = I^2 R$$

# Единицы измерения.

Работа тока

$$[A] = 1 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$$

Мощность тока

$$[P] = 1 \text{ Вт}$$

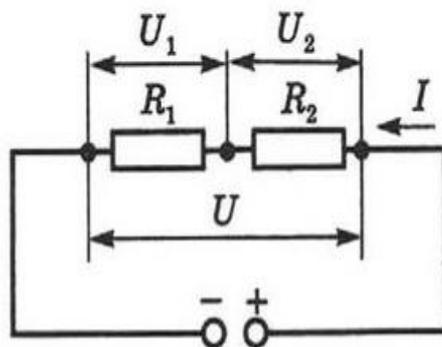
$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$$

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$$



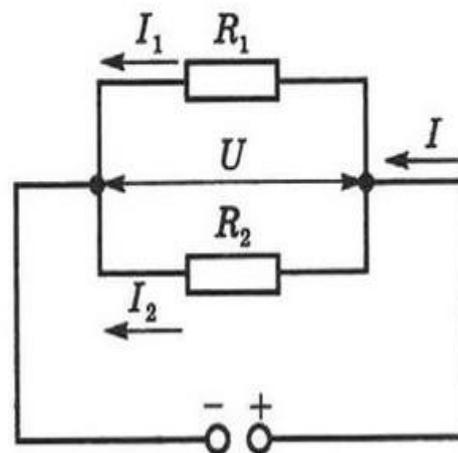
## СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ



СИЛА ТОКА	НАПРЯЖЕНИЕ	СОПРОТИВЛЕНИЕ
$I = I_1 = I_2$	$U = U_1 + U_2$ $IR = IR_1 + IR_2$ $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$	$R = R_1 + R_2$ при $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ $\Downarrow$ $R = nR_1$

### ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ



СИЛА ТОКА	НАПРЯЖЕНИЕ	СОПРОТИВЛЕНИЕ
$I = I_1 + I_2$ $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$ $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$	$U = U_1 = U_2$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ при $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ $\Downarrow$ $R = \frac{R_1}{n}$

# ЭДС источника тока

Источник тока — это устройство для поддержания электрического тока.

Сторонние силы в источнике тока совершают работу по разделению зарядов.

Основной характеристикой источника тока является величина, которая называется электродвижущей силой.

Электродвижущая сила (ЭДС) — это отношение работы сторонних сил при перемещении заряда по замкнутому контуру к величине этого заряда:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$$

$$[\varepsilon] = \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \right] = [\text{В}]$$

**ЭДС (электродвижущая сила) – энергетическая характеристика источника тока**

- **ЭДС ( ) равна отношению работы сторонних сил по перемещению заряда к самому заряду.**

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}$$

$$\varepsilon = \frac{Дж}{Кл} = В$$

ЭДС источника измеряют вольтметром при выключенной внешней цепи.



# Закон Ома для полной цепи

Сила тока (А)

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

ЭДС-  
электродвижущая  
сила источника  
тока (В)

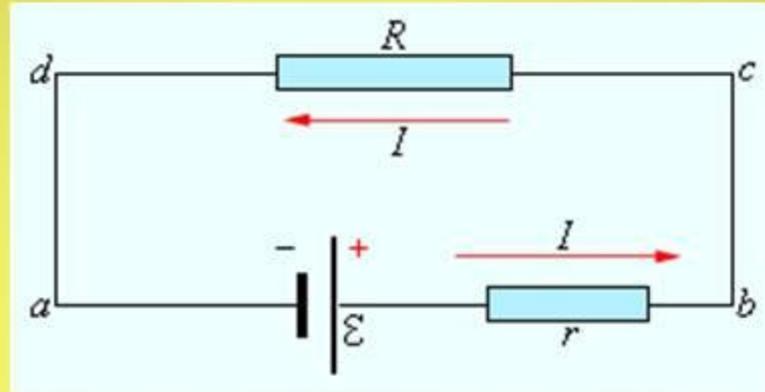
Сопротивление  
нагрузки (Ом)

Внутреннее  
сопротивление  
источника тока  
(Ом)

*Сила тока в цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе источника тока и обратно пропорциональна сумме электрических сопротивлений внешнего и внутреннего участков цепи.*



# Закон Ома для полной электрической цепи

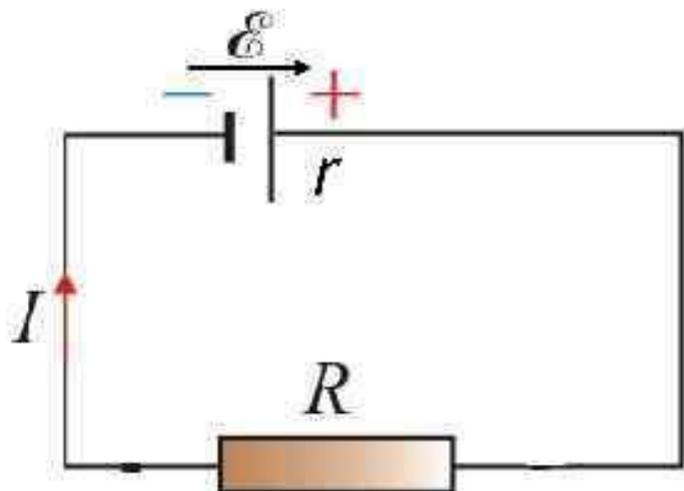


- **Закон Ома для полной цепи:** сила тока в полной цепи равна отношению ЭДС цепи к ее полному сопротивлению.
- **Ток короткого замыкания:**
- **Сила тока короткого замыкания** — максимальная сила тока, которую можно получить от данного источника с электродвижущей силой и внутренним сопротивлением  $r$ .

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

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

## ■ Закон Ома для замкнутой цепи



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

$$I = \frac{\xi}{R+r}$$

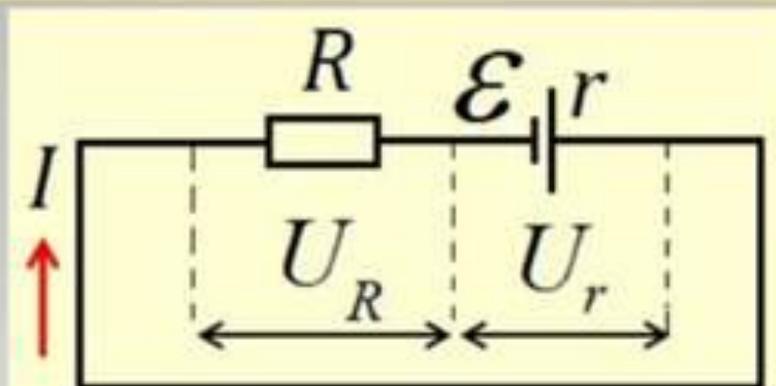
$\xi$  - ЭДС источ. тока,  
 $R$  - сопр. внешней цепи,  
 $r$  - внутреннее сопр.  
источн. тока.

$$\xi = I(R+r) = \underbrace{IR}_{U_R} + \underbrace{Ir}_{U_r}$$

$U_R = IR$  - падение напряж. на  $R$ .

$U_r = Ir$  - падение напряж. внутри источ. тока

## Частные случаи в работе полной электрической цепи:



$$\mathcal{E} = I(R + r) = IR + Ir = U_R + U_r$$

1.  $R \gg r$ , тогда  $\mathcal{E} \approx U_R$

2.  $R=0$ , (короткое замыкание), тогда

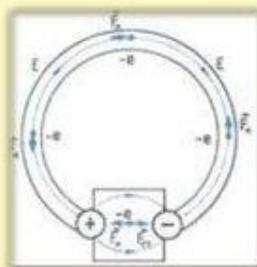
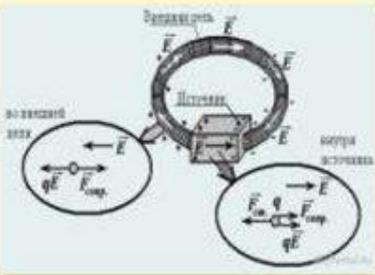
$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

3.  $R=\infty$  (обрыв цепи), тогда

$$\mathcal{E} \approx U_r$$



# III. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ



ЭДС (ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА) ( $\epsilon$ ) - СФВ, энергетическая характеристика источника, равная отношению работы сторонних сил по перемещению положительного электрического заряда к его величине.

$$\epsilon = \frac{A_{\text{стор.}}}{q}$$

$$\epsilon > 0 \rightarrow \epsilon$$

$$\epsilon < 0 \leftarrow \epsilon$$

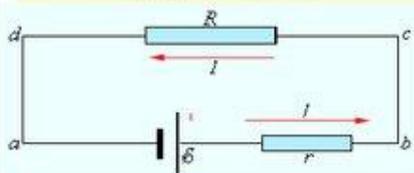
$$\epsilon = \sum \epsilon_i, \quad r = \sum r_i$$

$$\epsilon_{\Sigma} = \epsilon_i$$

$$r_{\Sigma} = r/n$$

СТОРОННИЕ СИЛЫ ( $F_{\text{ст}}$ ) - не потенциальные силы, действующие на электрический заряд

$$[\epsilon] = \text{Дж/Кл} = \text{В}$$



Сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна ЭДС источника тока и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи.

$$I = \frac{\epsilon}{R + r}$$

R - внешнее сопротивление

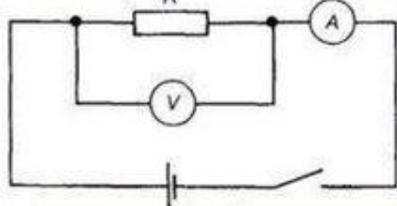
r - внутреннее сопротивление

КПД цепи ( $\eta$ )

$$P_{\text{полезн}} = I^2 \cdot R$$

$$\eta = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{полн}}} = \frac{R}{R+r}$$

$$\eta = \frac{R}{R+r} = \frac{RI}{\epsilon I} = \frac{U}{\epsilon}$$



$$A_{\text{ст}} = eq = \epsilon I \Delta t$$

$$A_{\text{ст}} = Q = Q_{\text{внеш}} + Q_{\text{внут}} = I^2 R \Delta t + I^2 r \Delta t$$

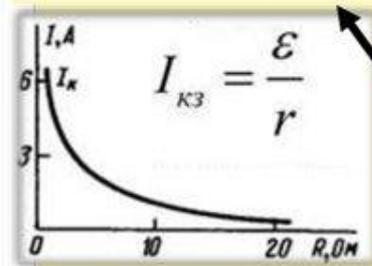
$$\epsilon I \Delta t = I^2 \Delta t (R + r)$$

$$\epsilon = I(R + r)$$

$$P_{\text{полн}} = P_{\text{полезн}} + P_{\text{потерь}} = I^2 \cdot R + I^2 \cdot r = I^2 \cdot (R + r)$$

$R \rightarrow 0$  (короткое замыкание)

$R \gg r$  (цепь разомкнута)



$$I = \frac{\epsilon}{R + r}$$

$$U = \epsilon - Ir$$

$$U = \frac{\epsilon R}{R + r}$$

$$I = \frac{\epsilon}{R} \Rightarrow U = IR = \epsilon$$

