

**ПОСТОЯННЫ**

**Й**

**ТОК**

# СОДЕРЖАНИЕ

**1. Постоянный ток. Сила тока.**

**Условия, необходимые для возникновения тока.**

**2. Закон Ома для участка цепи без ЭДС.**

**Сопротивление проводника. Зависимость сопротивления от материала, длины, площади поперечного сечения проводника и температуры.**

**3. Электродвижущая сила.**

4. Электрические цепи. Последовательное и параллельное соединения проводников.
5. Закон Ома для полной цепи.
6. Решение задач на законы Ома.
7. Соединение одинаковых источников электрической энергии в батарею.
8. Работа и мощность постоянного тока.
9. Закон Джоуля-Ленца.
10. Решение задач на работу и мощность постоянного тока и тепловое действие тока.



**Постоянный ток. Сила тока.  
Условия, необходимые для  
возникновения тока.**

**Если проводник поместить в электрическое поле, подвижные носители зарядов в проводнике начнут перемещаться направленно под действием сил поля.**

*Направленное движение свободных зарядов в проводнике под действием сил поля называется электрическим током проводимости или электрическим током.*

# **Носители тока**

**В металлах - свободные электроны**

**В электролитах - положительные и отрицательные ионы**

**В газах - ионы и электроны**

**В полупроводниках - электроны и дырки**

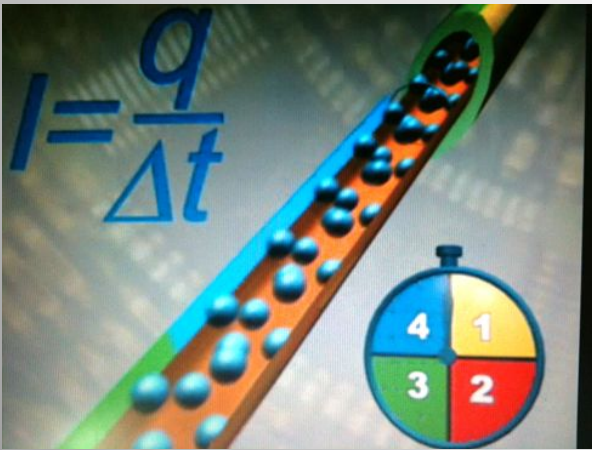
**За положительное направление тока в технике принимают направление движения положительно заряженных частиц.**

**Положительные заряды при этом движутся от точек с большим потенциалом к точкам с меньшим потенциалом, а отрицательные - наоборот.**

**В металлах направление тока противоположно направлению движения электронов.**

**Основной количественной характеристикой тока является сила тока.**

*Сила тока измеряется отношением количеством электричества (заряда)  $q$ , прошедшего через поперечное сечение проводника за интервал времени  $\Delta t$ , к этому промежутку времени:*

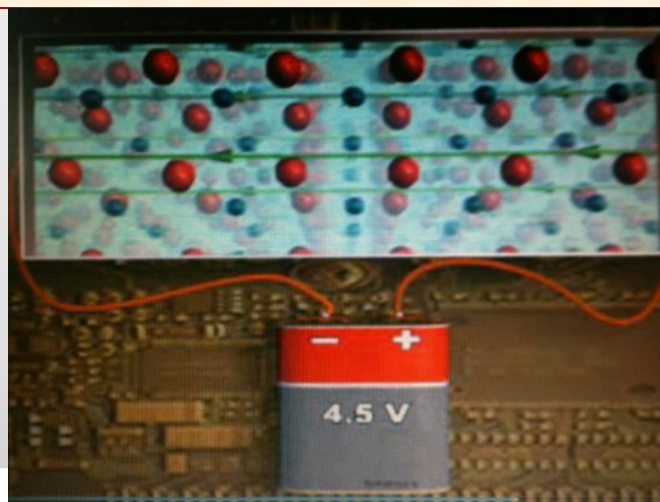


$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

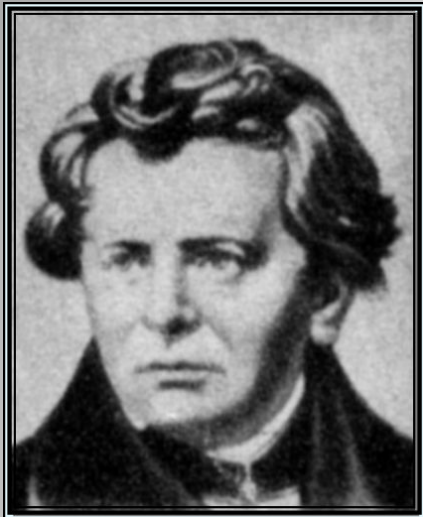
$$[I] = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ А}$$



*Для возникновения и существования электрического тока в любом веществе необходимо наличие свободных заряженных частиц и электрическое поле, чтобы создать направленное движение частиц. Постоянный электрический ток может быть создан только в замкнутой цепи.*



**Закон Ома для участка цепи  
без ЭДС. Сопротивление  
проводника. Зависимость  
сопротивления от материала,  
длины, площади поперечного  
сечения проводника и  
температуры.**



Немецкий физик Г. Ом в 1826 году экспериментально установил, что сила тока  $I$ , текущего по металлическому проводнику, пропорциональна напряжению  $U$  на концах проводника:

$$I = gU$$

Коэффициент пропорциональности  $g$  называется проводимостью участка цепи. Он выражает зависимость силы тока в проводнике от его рода, размеров и внешних условий.

$$[g] = \frac{I}{U} = \frac{1A}{1B} = 1См(сименс)$$

На практике используют величину, обратную проводимости. Она называется электрическим сопротивлением:

$$R = \frac{1}{g}$$

Тогда

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

Это уравнение выражает закон Ома для участка цепи без ЭДС: *сила тока на участке цепи без ЭДС прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению.*

$$[R] = \frac{1B}{1A} = 1\text{Ом}$$

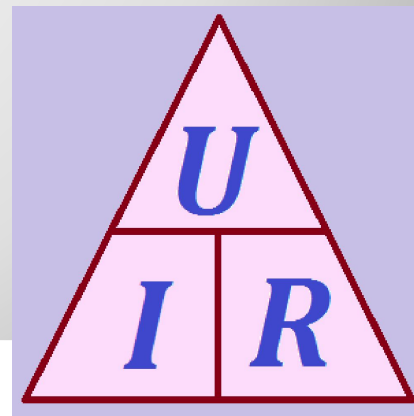
Для измерения больших сопротивлений используют следующие единицы измерения:

**1 килоом (кОм)=1000 Ом,**

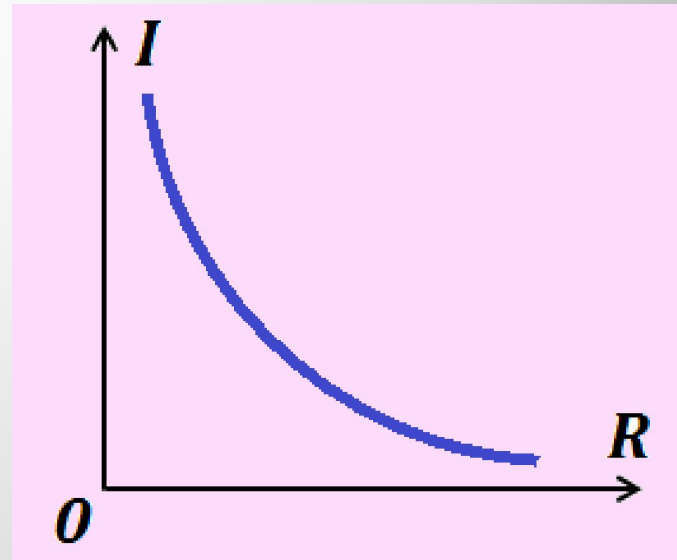
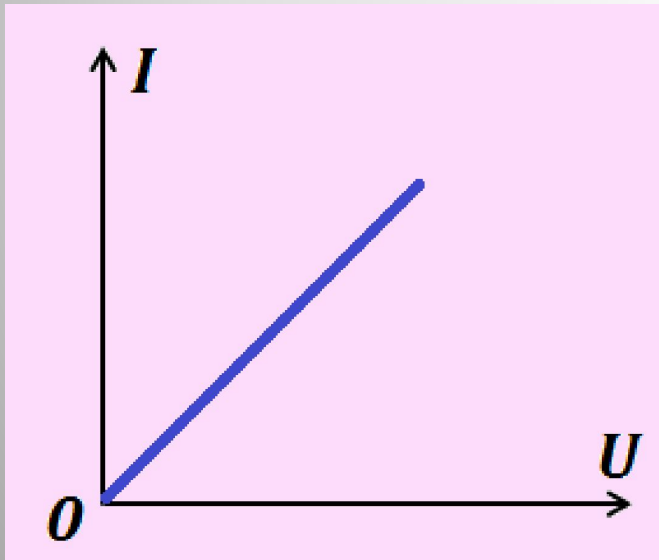
**1 мегаом (Мом)=1 000 000 Ом**

Измеряют сопротивление омметрами.

«Магический треугольник»  
закона Ома для участка  
цепи:



Графические зависимости силы тока  $I$  от напряжения  $U$  (*вольт - амперная характеристика*) и от сопротивления  $R$  в соответствии с законом Ома представлены на рисунках:



Перепишем закон Ома следующим образом:

$$U = IR$$

Произведение  $IR$  называется *падением напряжения* на участке цепи.

Опытами установлено, что *при постоянной температуре сопротивление проводника прямо пропорционально его длине, обратно пропорционально площади его поперечного сечения и зависит от материала, из которого сделан проводник:*

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

где  $\rho$  – удельное сопротивление, зависящее от рода вещества. Оно показывает каким сопротивлением обладает 1 м проводника с площадью поперечного сечения  $1 \text{ м}^2$

В СИ единица измерения удельного сопротивления

$$[\rho] = \frac{1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ м}^2}{1 \text{ м}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Удельное сопротивление проводника зависит и от температуры:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t^0)$$

$\alpha$  - называется температурным коэффициентом сопротивления.



У проводников первого рода (металлов)  $\alpha > 0$ , у проводников второго рода (электролитов)  $\alpha < 0$ .

$\rho_0$  - удельное сопротивление проводника при  $0^\circ\text{C}$ .

Формулу для расчёта сопротивления  $R_t$  проводников при различных температурах можно получить, подставляя значение  $\rho_t$  в формулу:

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

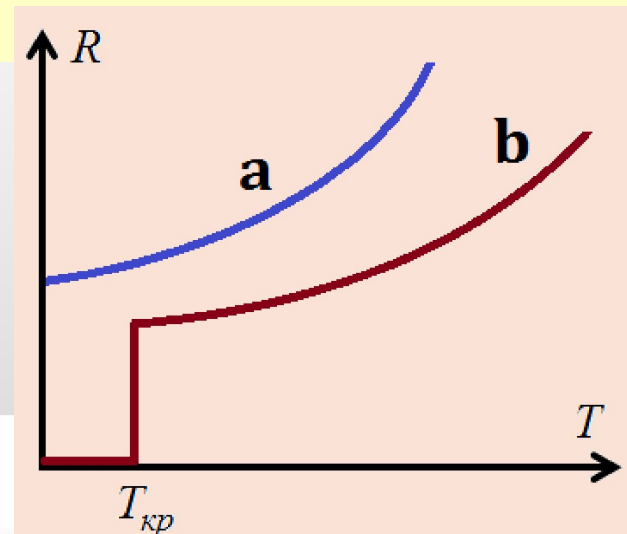
Получим:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t^\circ)$$

При понижении температуры до температур, близких к абсолютному нулю, сопротивление металлов скачкообразно уменьшается практически до нуля.

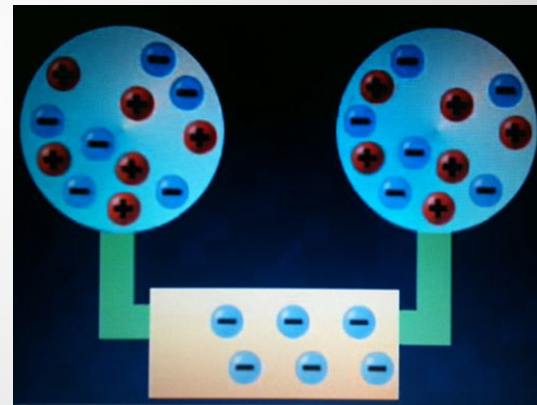
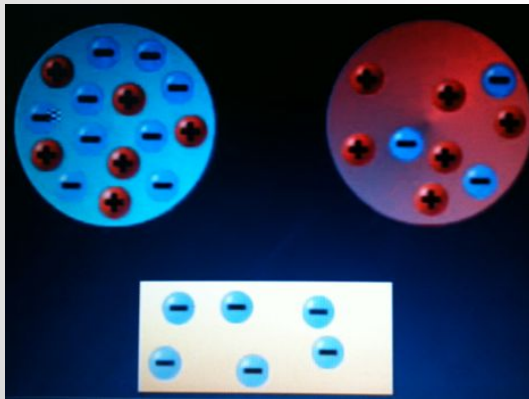
Такое явление было названо *сверхпроводимостью*. Оно было открыто голландским учёным *Камерлинг - Оннесом* в 1911 году.

a – нормальный металл,  
b – сверхпроводник

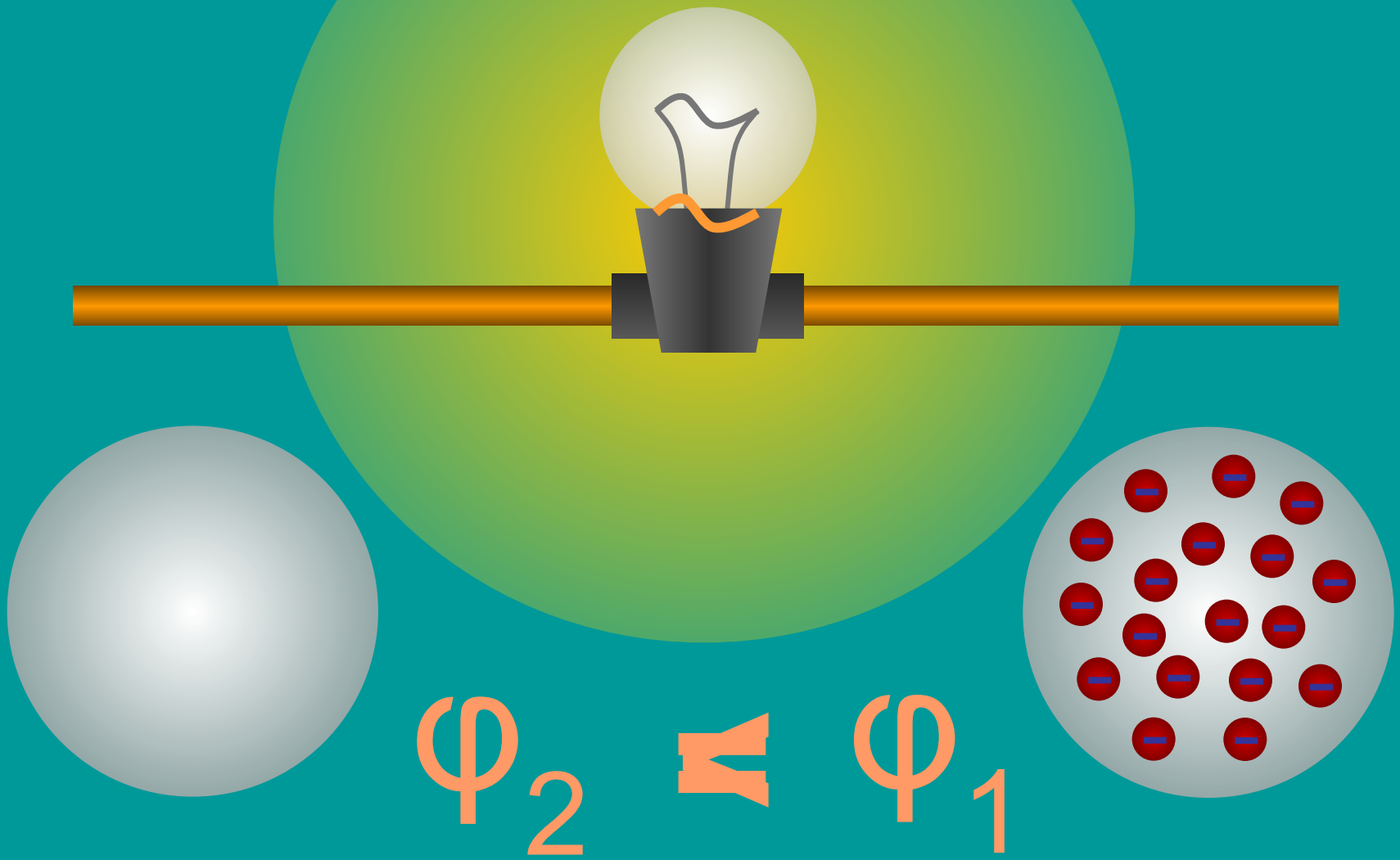


**Электродвижущая сила.**

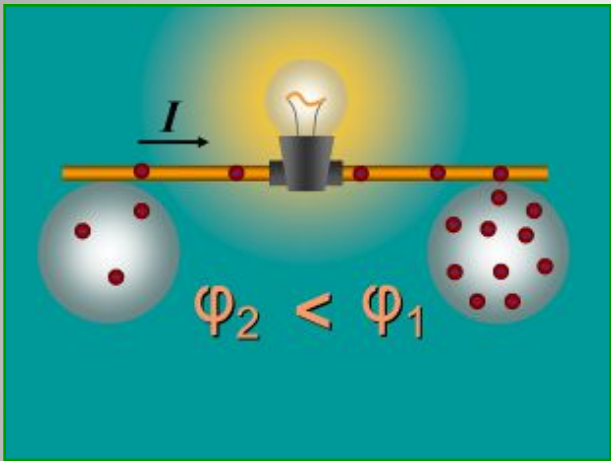
**Если два металлических шарика, несущих заряды противоположных знаков, соединить металлическим проводником, то под влиянием электрического поля этих зарядов в проводнике возникает электрический ток.**



**Но этот ток будет кратковременным. Как только потенциалы шариков станут одинаковыми электрическое поле исчезнет.**



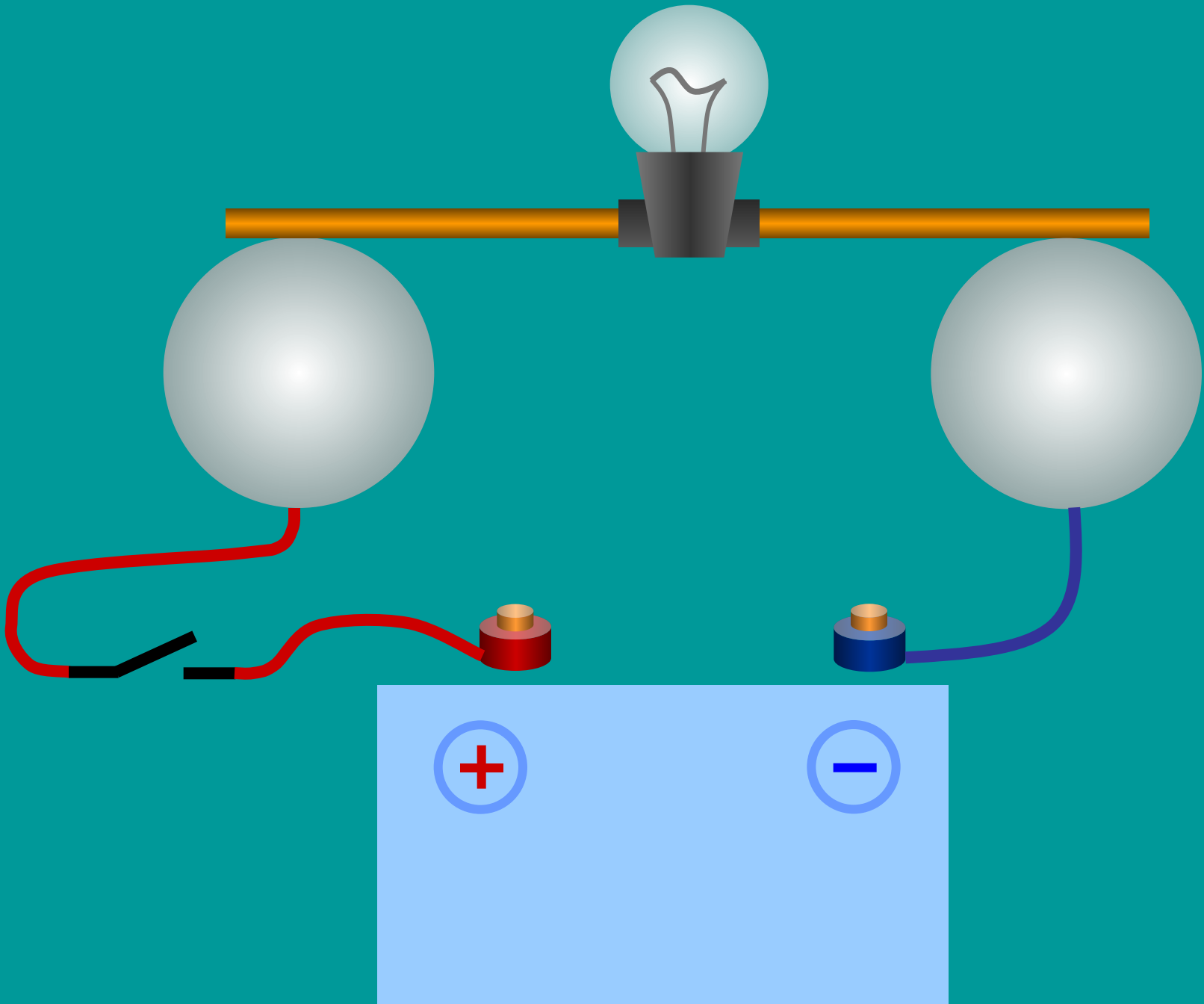
Что нужно сделать, чтобы лампочка горела непрерывно?

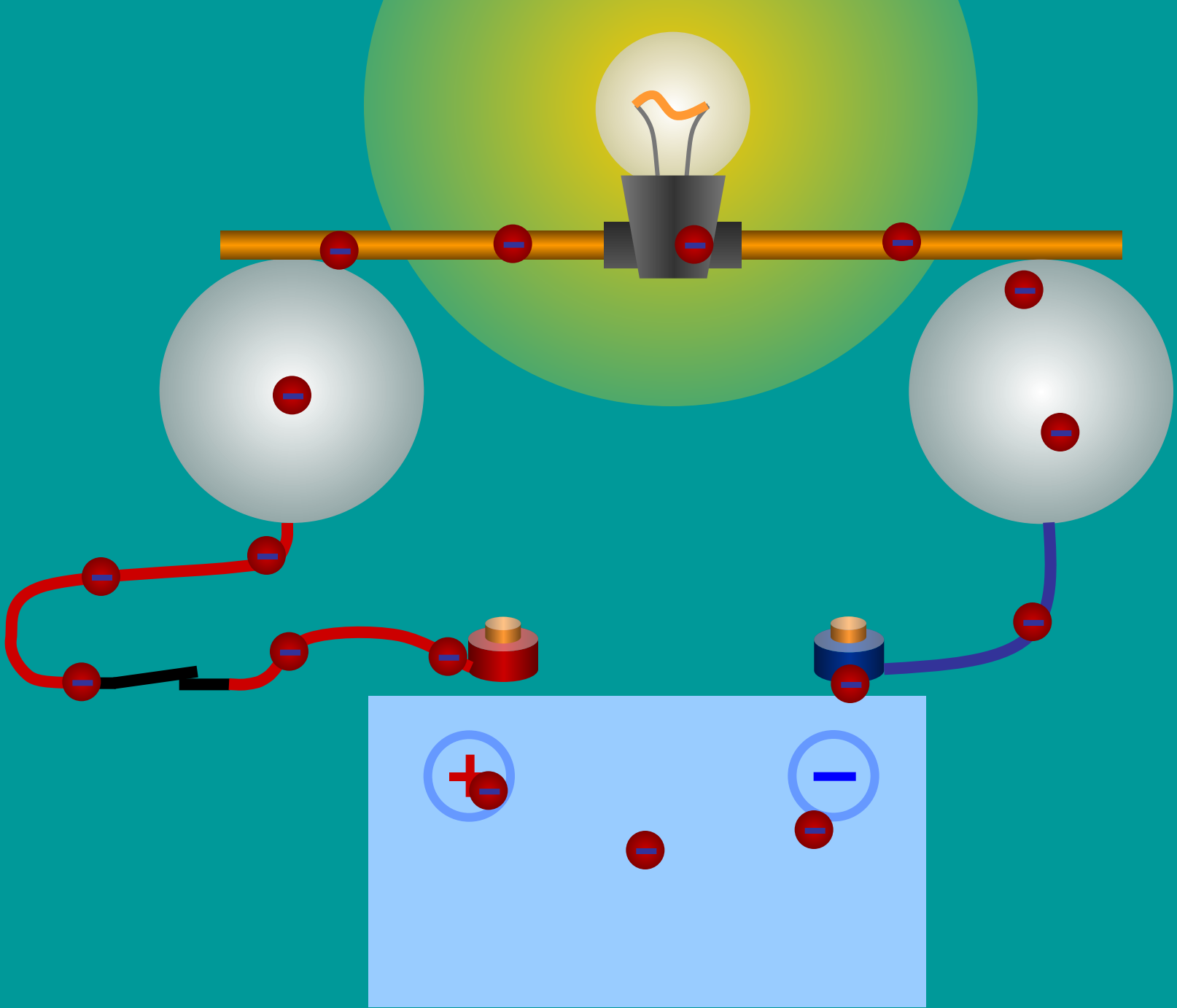


Для этого необходимо на ее контактах поддерживать разность потенциалов.

С помощью какого устройства это можно осуществить?

**С помощью источника тока**



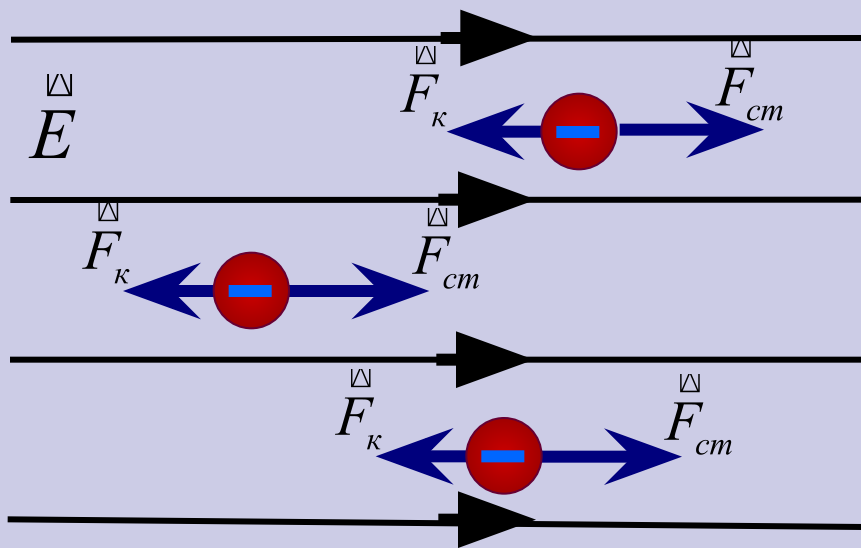




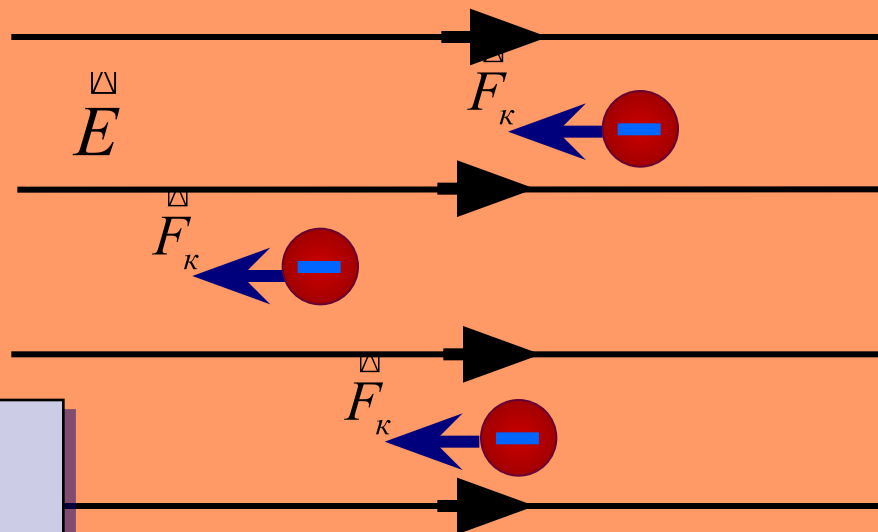
**Под действием каких сил  
движутся электроны по  
замкнутой цепи?**

На внешнем и  
внутреннем участках  
на них действует  
кулоновская сила

Внутренний участок



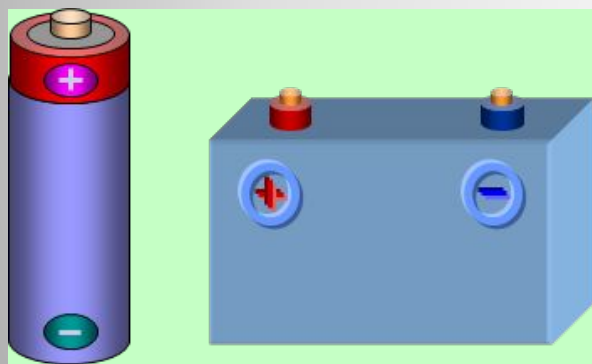
Внешний участок



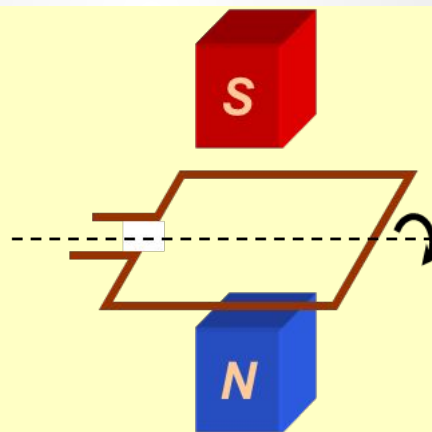
Здесь, кроме  
Кулоновской, на  
электроны действуют  
сторонние силы,  
заставляя их двигаться  
в противоположном  
направлении

**Сторонние силы** – это силы, действующие на заряженные частицы, не электрического происхождения.

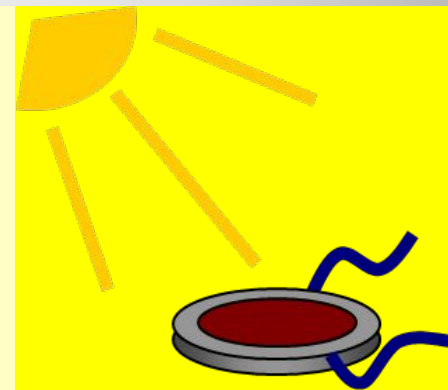
Природа происхождения таких сил может быть разной, например:



**химические  
реакции**



**механическая и энергия  
магнитного поля**



**солнечная  
энергия**

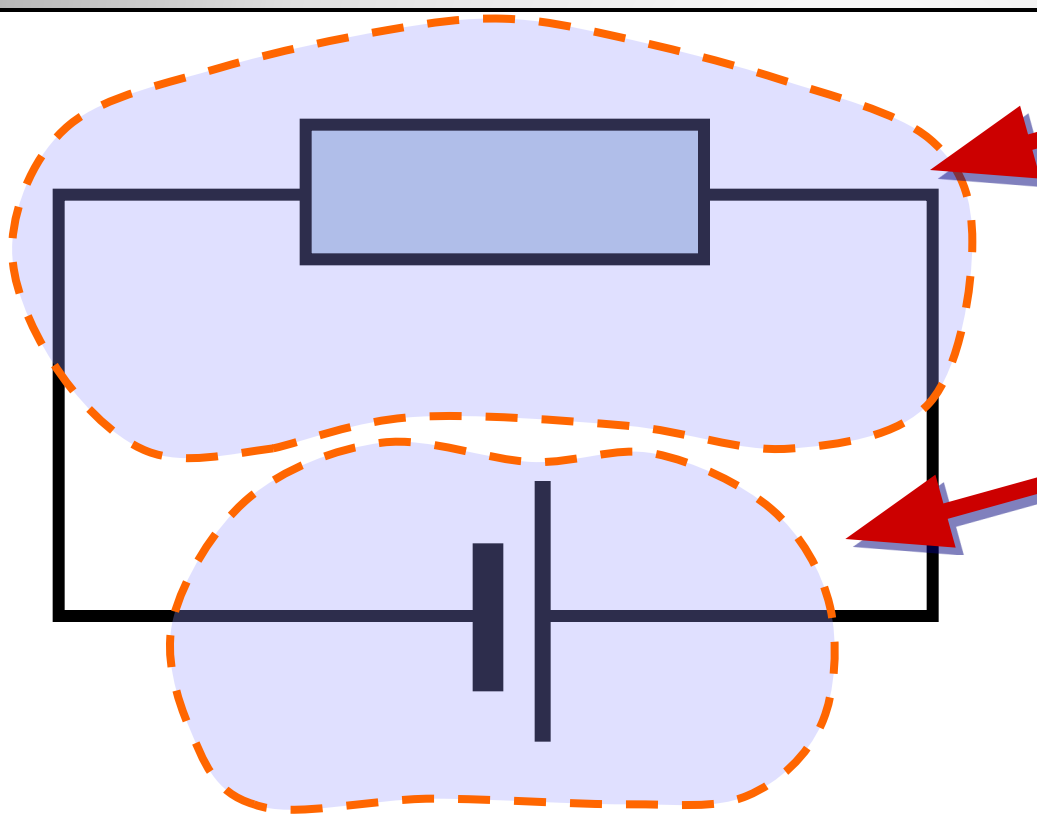
Действие сторонних сил характеризуется физической величиной – электродвижущей силой (ЭДС).

Сторонние силы, перемещая заряды внутри источника, совершают работу, которую называют работой сторонних сил.

ЭДС – физическая величина, численно равная отношению работы сторонних сил по перемещению заряда внутри источника к величине этого заряда:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q} \quad [\mathcal{E}] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}$$

Лампочка, замкнутая на источник тока с помощью соединительных проводов, и источник тока составляют *полную электрическую цепь*.  
Она состоит из



**ВНЕШНЕГО**  
(нагрузка)

**И**

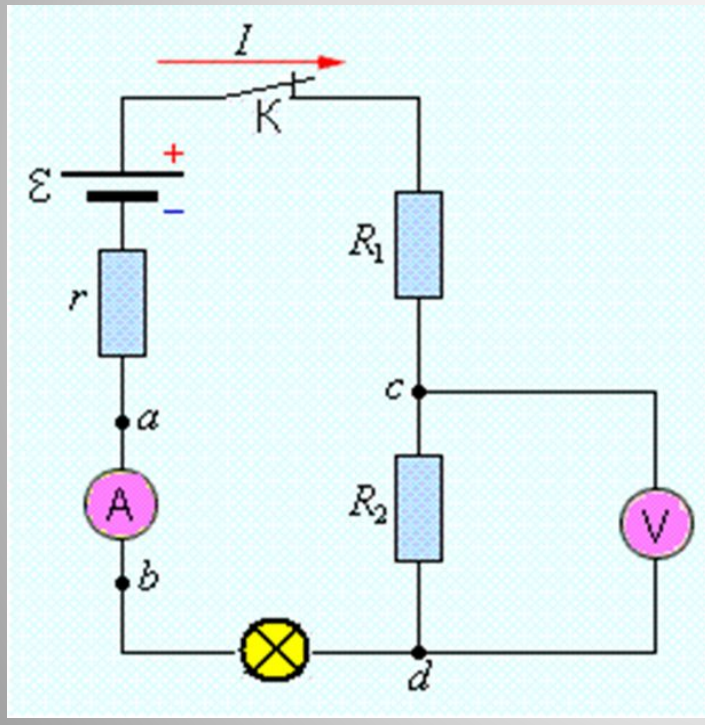
**ВНУТРЕННЕГО**  
(источник тока)  
**участков**

Итак, участки, на которых не действуют сторонние силы (т. е. участки, не содержащие источников тока), называются *внешними*. Участки, состоящие только из источников тока, называются *внутренними*.



**Электрические цепи.  
Последовательное и  
параллельное соединения  
проводников.**

Для передачи энергии от источника тока к потребителям этой энергии с помощью соединительных проводов составляют *электрическую цепь*.



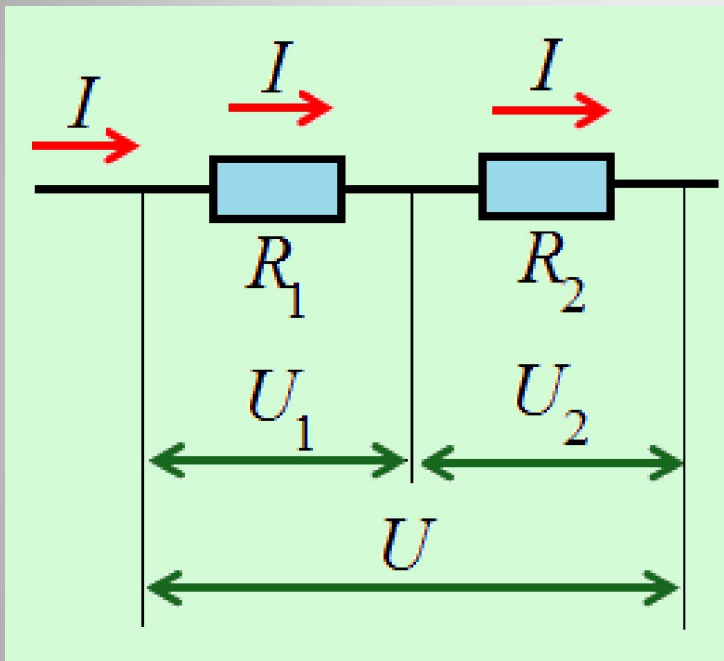
*Основным* элементом цепи является источник тока, а все остальные элементы называются *вспомогательными*.

Элементы цепи соединяются между собой

последовательно, параллельно или смешанно



# 1. Последовательное соединение проводников.



$$I_1 = I_2 = I$$

$$U_1 + U_2 = U$$

$$U_1 = IR_1$$

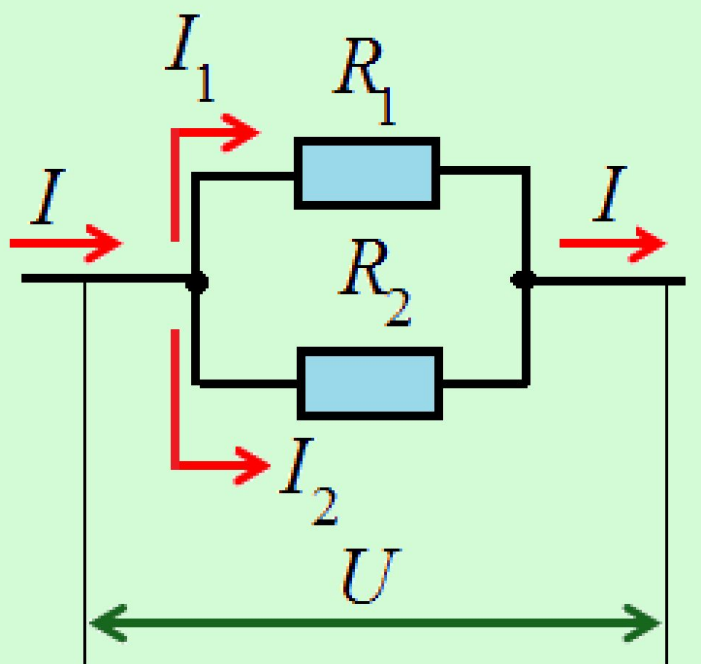
$$U_2 = IR_2$$

$$U = IR$$

$$IR = IR_1 + IR_2$$

$$R = R_1 + R_2$$

## 2. Параллельное соединение проводников.



$$U_1 = U_2 = U$$

$$I_1 + I_2 = I$$

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

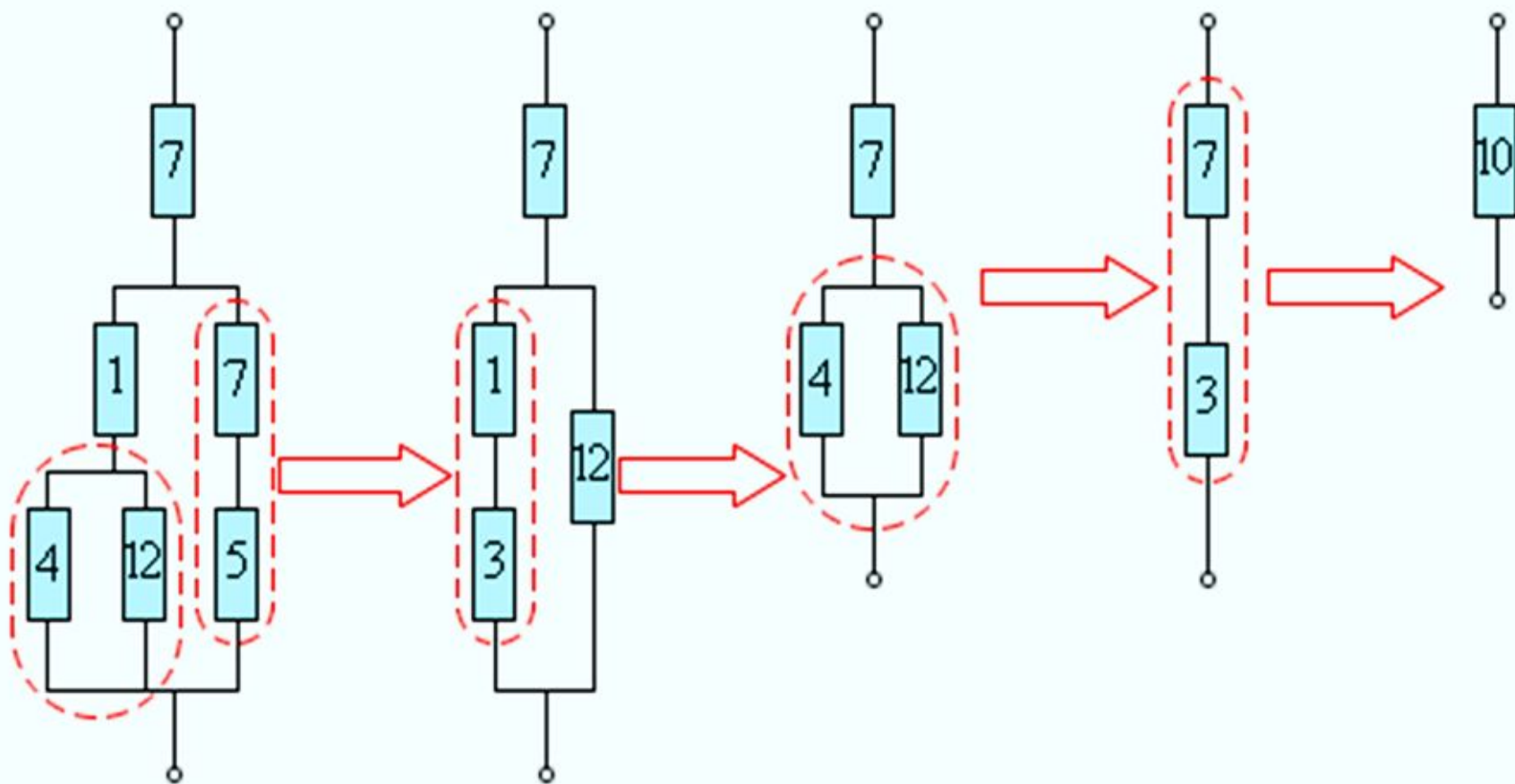
$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

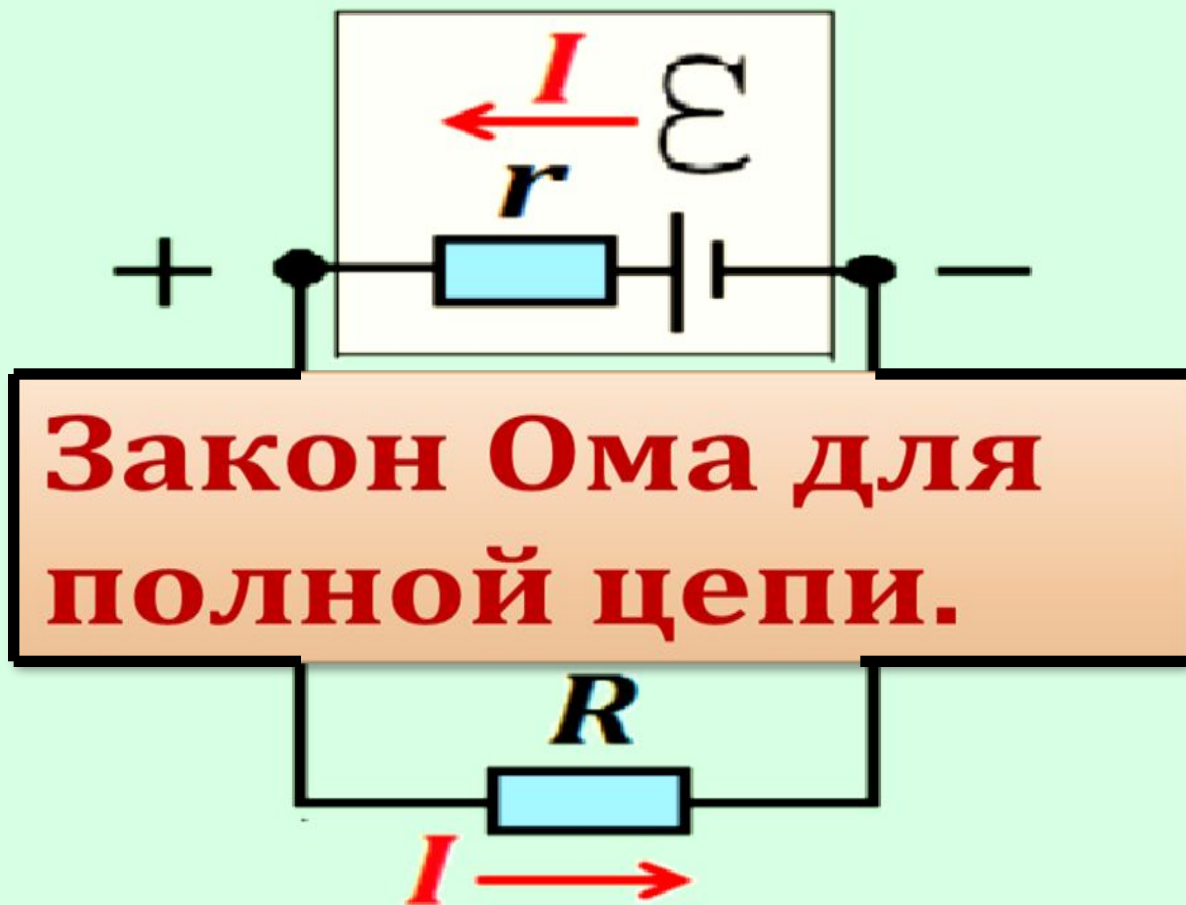
$$I = \frac{U}{R}$$

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

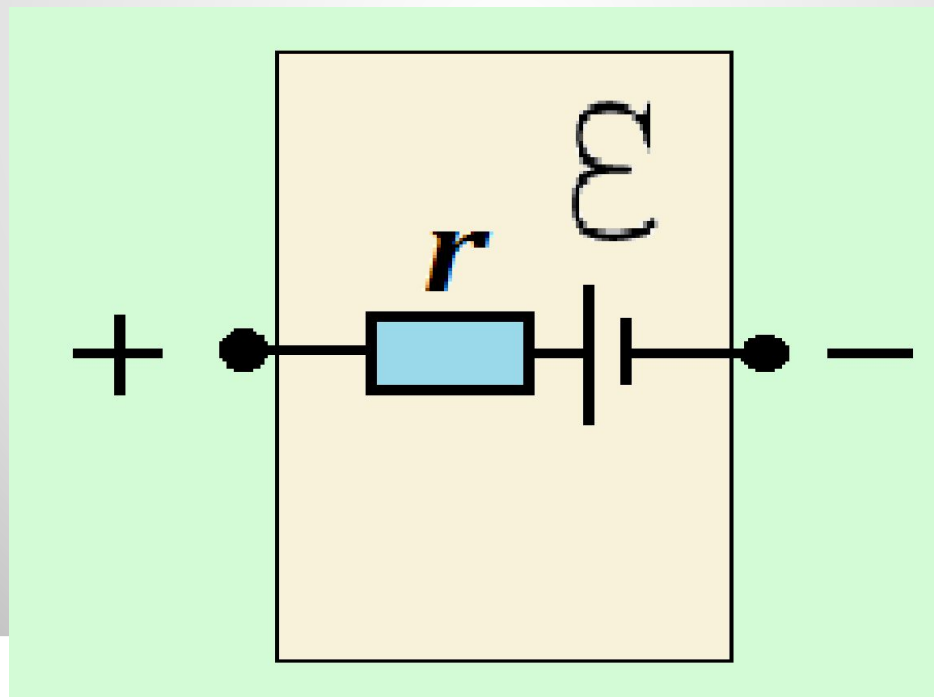
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

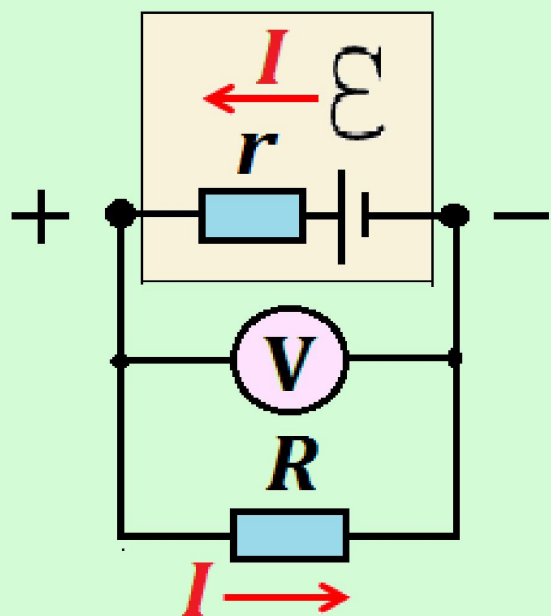
### 3. Пример расчёта сложной цепи





Источник электрической энергии является проводником и всегда имеет некоторое сопротивление, поэтому ток выделяет в нём тепло. Это сопротивление называется *внутренним сопротивлением* источника.





ЭДС  $\mathcal{E}$  численно равна энергии, полученной единичным электрическим зарядом во внутренней цепи, а напряжение  $U$  равно той энергии, которую он теряет во внешней цепи.

Кроме того, этот заряд теряет во внутренней цепи энергию  $Ir$ , которая идёт на выделение тепла в источнике электроэнергии.

По закону сохранения энергии сколько заряд получает еѐ, столько же теряет, пройдя всю цепь:

$$\mathcal{E} = U + Ir$$

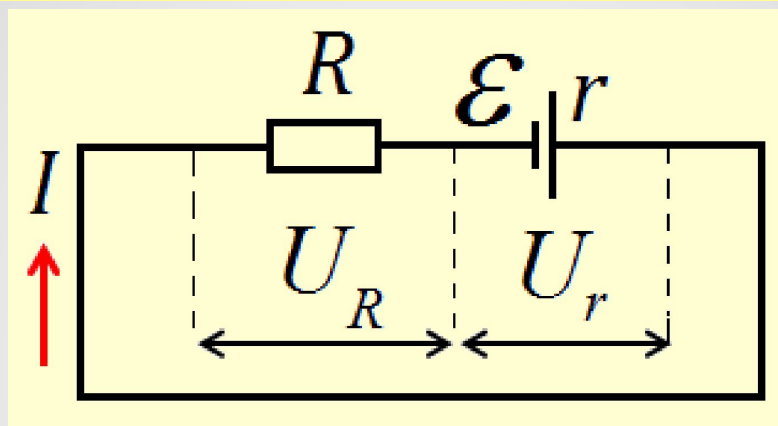
Так как  $U = IR$ , то  $\mathcal{E} = IR + Ir$ . Отсюда:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

*-закон Ома для полной цепи*

*Сила тока в электрической цепи с источником ЭДС прямо пропорциональна ЭДС и обратно пропорциональна сумме сопротивлений внешней и внутренней цепей.*

## 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

$$I_{кз} = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

3.  $R=\infty$  (обрыв цепи), тогда

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



$$8 + 6 = 14$$

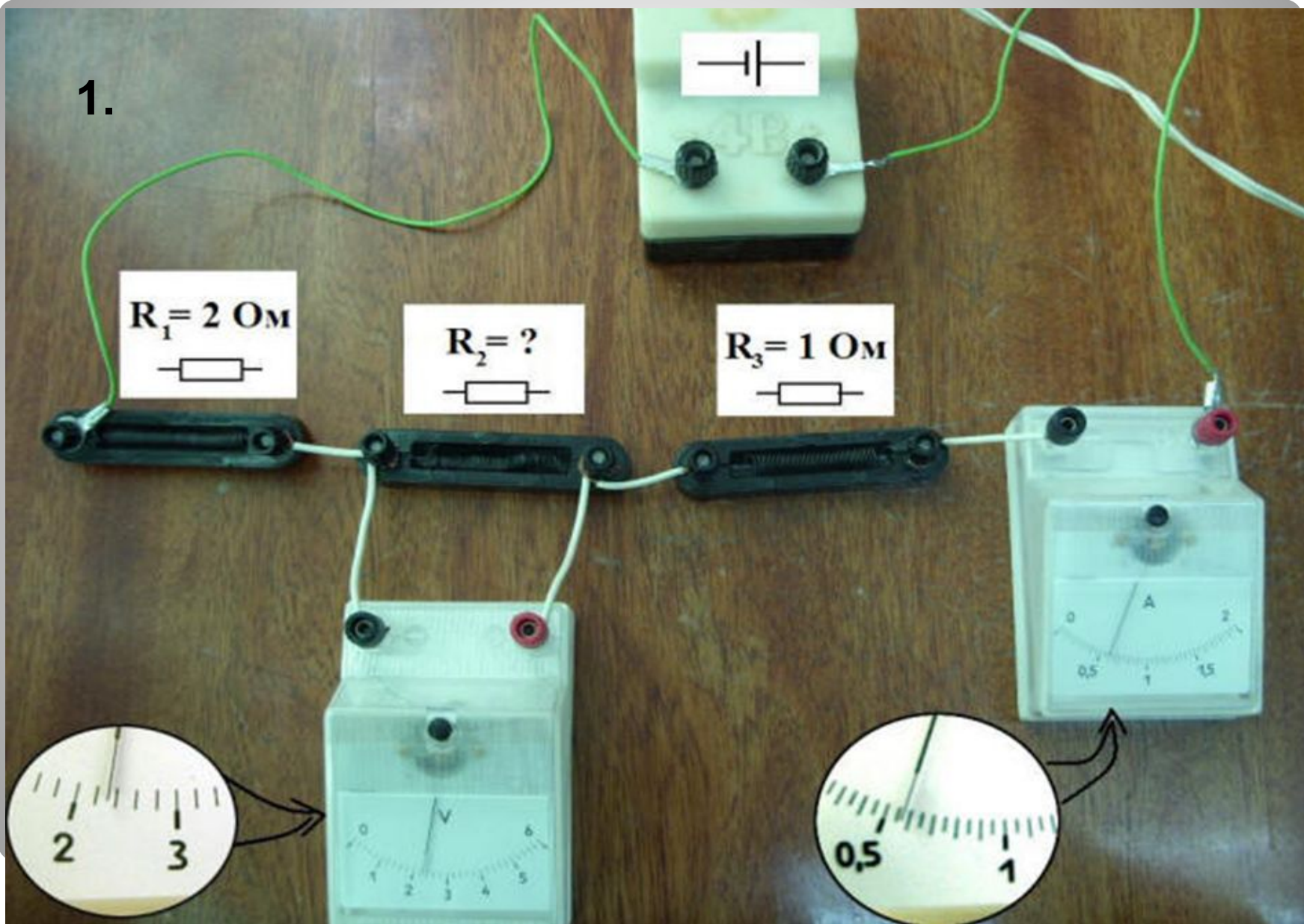
$$b = a + c$$

$$b_n = b_{n-1} - 1$$



# Решение задач

1.



**2. Общее сопротивление двух последовательно соединённых проводников 50 Ом, параллельно соединённых 12 Ом. Определите сопротивление каждого проводника.**

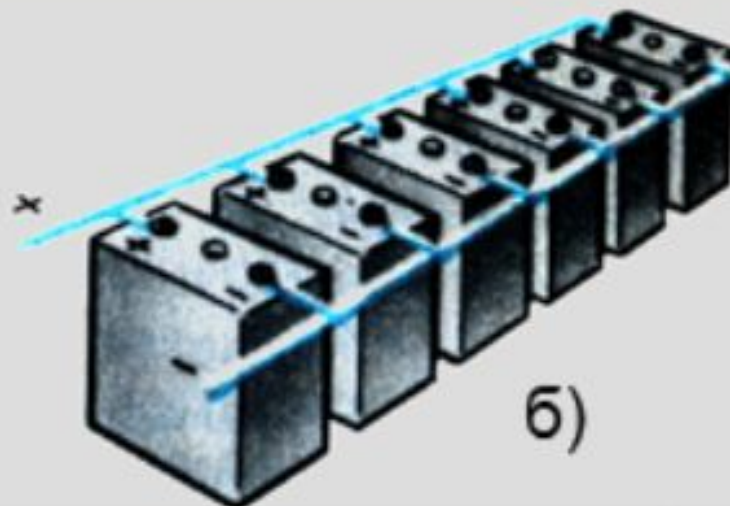
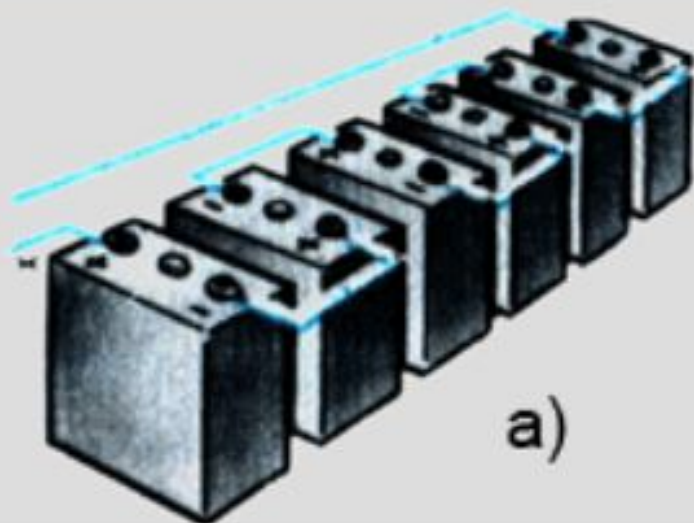
**3. Аккумулятор с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 0,1 Ом питает внешнюю цепь сопротивлением 12,4 Ом. Чему равно напряжение на внешнем сопротивлении?**

**4. Э.Д.С. источника тока 1,5 В. При замыкании источника сопротивлением 2 Ом сила тока составляет 0,3 А. Определите силу тока короткого замыкания.**

**5. Как нужно выполнить электропроводку, чтобы одну лампочку можно было включать из двух мест?**

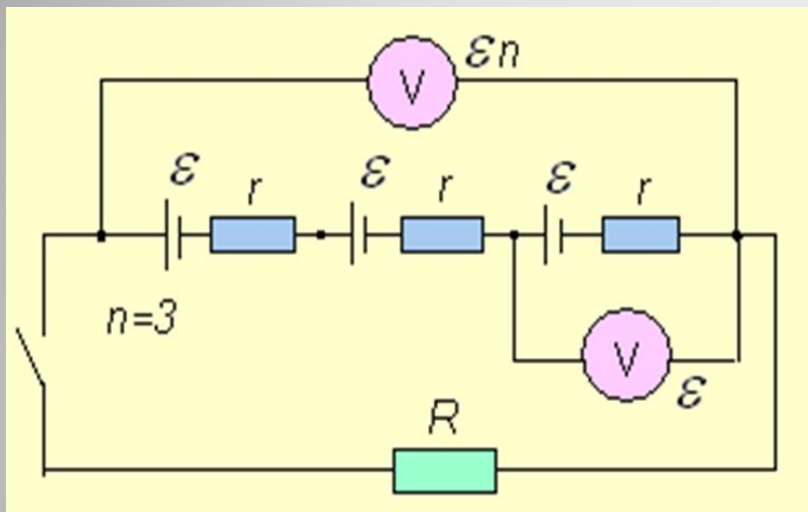
**6. Составьте электрическую цепь так, чтобы две лампочки зажигались одновременно от одного выключателя.**

**7. Как надо соединить четыре одинаковых резисторов по 60 Ом, чтобы общее сопротивление составило:**  
**а) 45 Ом; б) 60 Ом; в) 80 Ом; г) 150 Ом.**



**Соединение одинаковых  
источников электрической  
энергии в батарею**

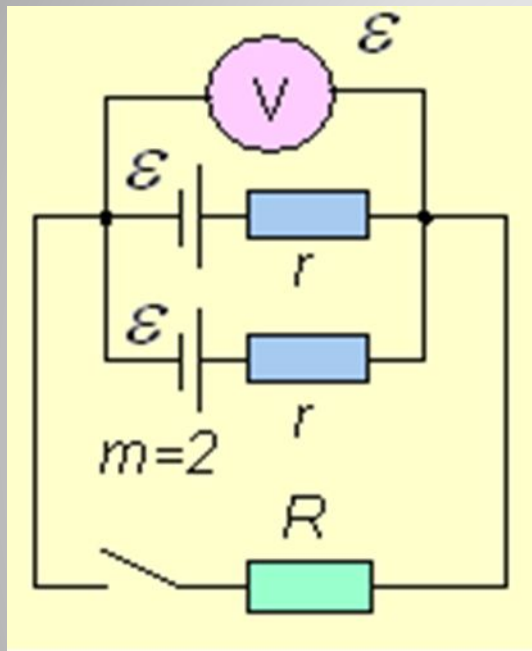
## 1. Последовательное соединение:



$$I = \frac{\mathcal{E}n}{R + rn}$$

Последовательное соединение элементов даёт значительное увеличение тока в том случае, когда внутреннее сопротивление одного элемента много меньше сопротивления внешней цепи  $R$ .

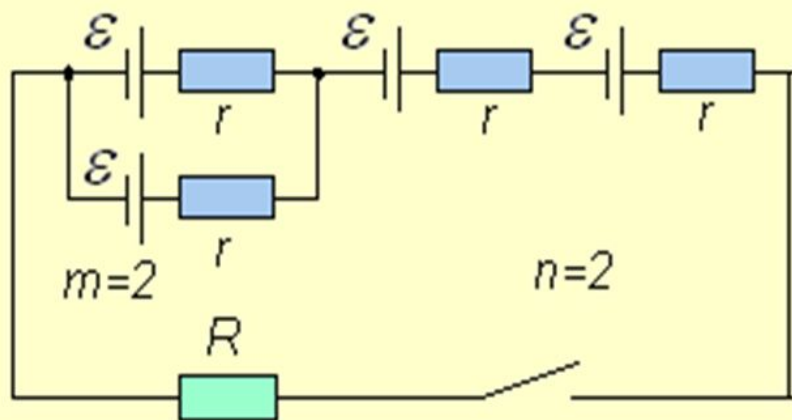
## 2. Параллельное соединение:



**Параллельное соединение элементов даёт значительное увеличение тока в том случае, когда внутреннее сопротивление одного элемента много больше сопротивления внешней цепи  $R$ .**

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

### 3. Смешанное соединение:

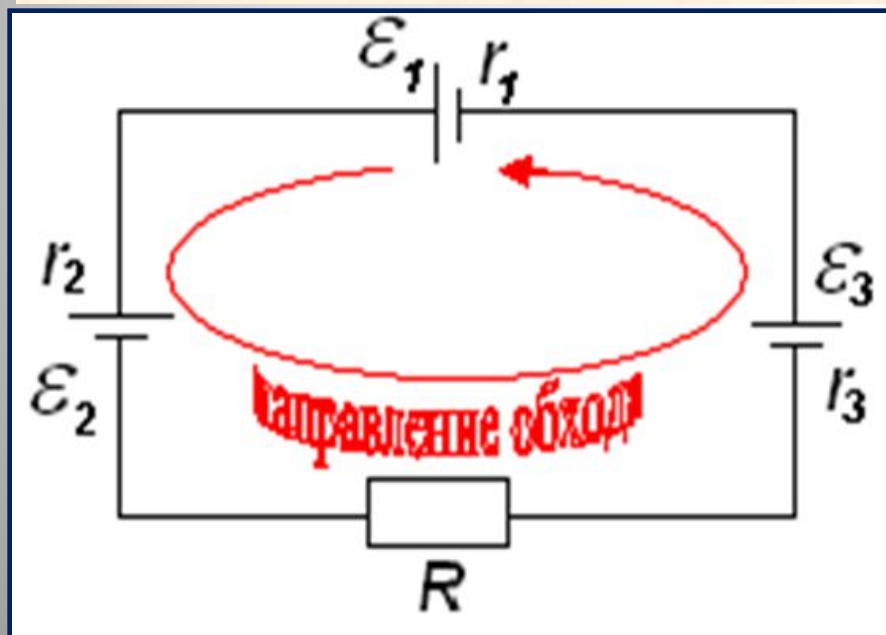


В этом случае закон  
Ома для всей цепи  
имеет вид:

$$I = \frac{\mathcal{E} + \mathcal{E}n}{R + \left(\frac{r}{m} + r \cdot n\right)} = \frac{\mathcal{E}(1+n)}{R + r\left(\frac{1+m \cdot n}{m}\right)}$$



Если цепь содержит несколько последовательно соединённых источников с **различными** ЭДС, то полная ЭДС цепи равна алгебраической сумме ЭДС отдельных источников:



$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$$

$$R_{\text{ц}} = R + r_1 + r_2 + r_3$$



**Работа и  
МОЩНОСТЬ  
ПОСТОЯННОГО  
ТОКА**

**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:

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

**МОЩНОСТЬ ТОКА**- отношение работы тока за время  $t$  к этому интервалу времени:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{U \cdot q}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = UI$$

В системе СИ мощность измеряется в ваттах:

$$[P] = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 1 \text{ Вт}$$

**1 киловатт: 1 кВт=1000 Вт**

**1 мегаватт: 1 МВт=1 000 000 Вт**

**При прохождении тока по проводнику он нагревается, и происходит теплообмен с окружающей средой, т.е. проводник отдает теплоту окружающим его телам.**

**По закону сохранения энергии:  
работа равна изменению энергии участка цепи,  
поэтому выделяемая проводником энергия  
равна работе тока:**

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

## ЗАКОН ДЖОУЛЯ – ЛЕНЦА (1840)

**Г.)** Количество теплоты, выделяемое проводником с током в окружающую среду, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока по проводнику:

$$Q = I^2 R \cdot t$$

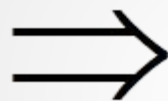
$$[Q] = [A] = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = \text{Вт} \cdot \text{с} = 1 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3\,600\,000 \text{ Дж}$$

Для участка цепи с двумя последовательно соединенными проводниками, имеющих сопротивления  $R_1$  и  $R_2$

$$Q_1 = I^2 \cdot R_1 \cdot t$$

$$Q_2 = I^2 \cdot R_2 \cdot t$$



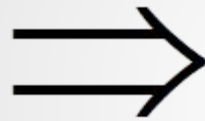
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

*Количество теплоты, выделяемое электрическим током на отдельных участках при последовательном соединении, прямо пропорционально сопротивлениям этих участков.*

При параллельном соединении закон Джоуля – Ленца для каждого потребителя с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  можно записать:

$$Q_1 = \frac{U^2}{R_1} \cdot t$$

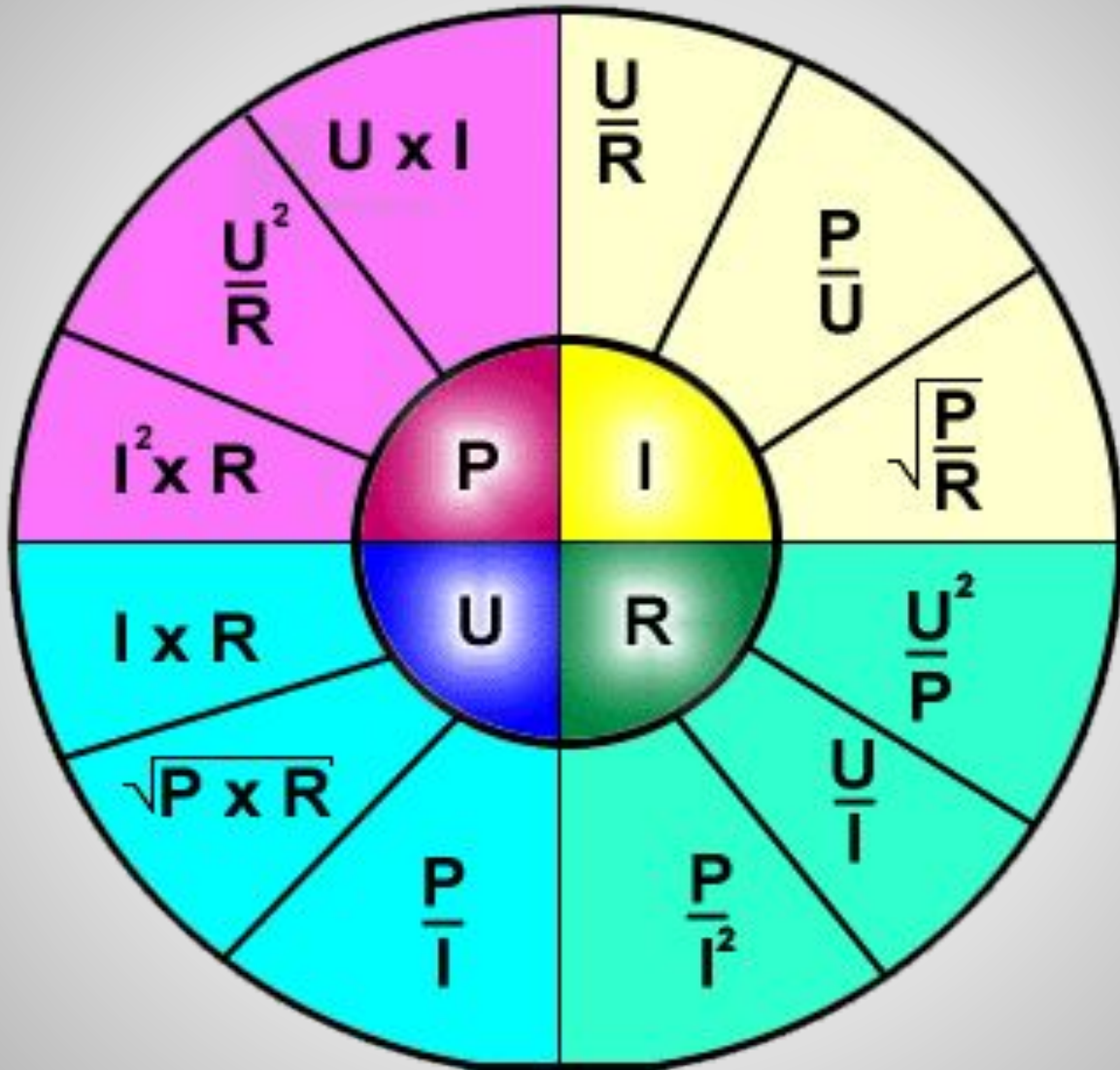
$$Q_2 = \frac{U^2}{R_2} \cdot t$$



$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

*Количество теплоты, выделенное током в параллельно соединённых участках цепи, обратно пропорционально сопротивлениям этих участков.*





$$8 + 6 = 14$$

$$b = a + c$$

$$b_n = b_{n-1} - 1$$



# Решение задач

- 1. По спирали электролампы проходит 540 Кл электричества за каждые 5 мин. Чему равна сила тока в лампе?**
- 2. При электросварке сила тока достигает 200 А. Какой электрический заряд проходит через поперечное сечение электрода за 1 мин?**
- 3. При прохождении одинакового количества электричества в одном проводнике совершена работа 100 Дж, а в другом - 250 Дж. На каком проводнике напряжение больше? Во сколько раз?**

**4. Определите напряжение на участке цепи, если при прохождении по нему заряда в 15 Кл током была совершена работа 6 кДж.**

**5. При переносе 60 Кл электричества из одной точки электрической цепи в другую за 12 мин совершена работа 900 Дж. Определите напряжение и силу тока в цепи.**

**БУДЬТЕ ОСТОРОЖНЫ ПРИ  
ОБРАЩЕНИИ С ТОКОМ!**

