

Тема урока
Закон Ома для полной цепи

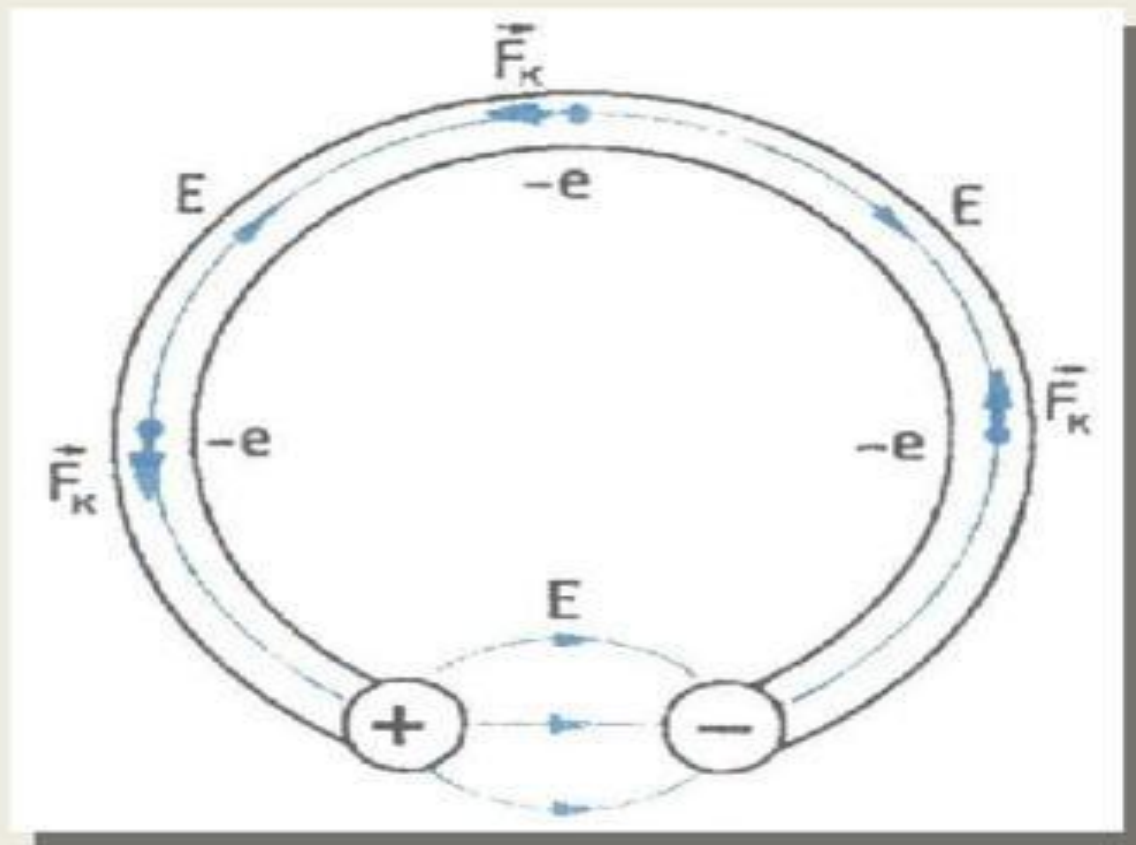
Цель:

Выяснить назначение источника тока

Сформулировать закон Ома
для полной цепи



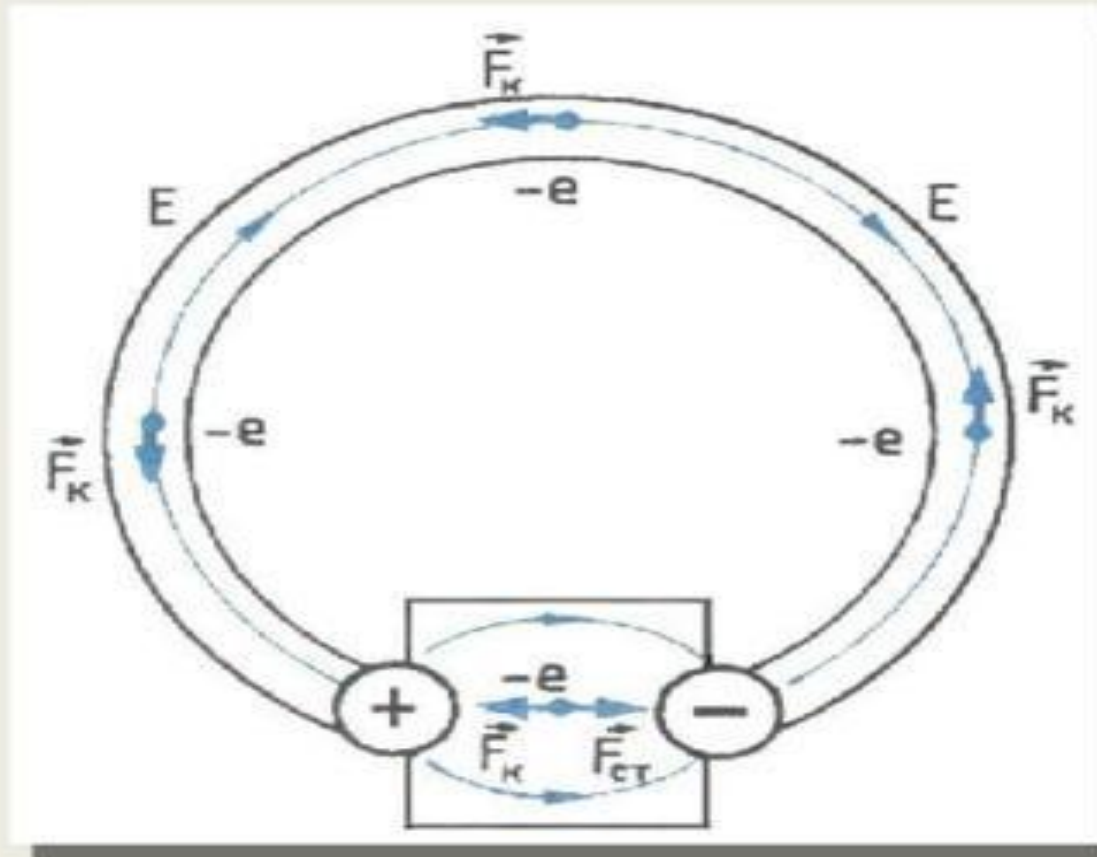
Любой источник тока характеризуется электродвижущей силой (ЭДС). Так, на круглой батарейке для карманного фонарика написано: 1,5 В. Что это значит?



Соединим проводником два металлических шарика, несущих заряды противоположных знаков. Под влиянием электрического поля этих зарядов в проводнике возникает электрический ток.

Но этот ток будет очень кратковременным. Заряды быстро нейтрализуются, потенциалы шариков станут одинаковыми, и электрическое поле исчезнет.

Сторонние силы



Для того чтобы ток был постоянным, надо поддерживать постоянное напряжение между шариками.

Для этого необходимо устройство (источник тока), которое перемещало бы заряды от одного шарика к другому в направлении, противоположном направлению сил, действующих на эти заряды со стороны электрического поля шариков.

В таком устройстве на заряды, кроме электрических сил, должны действовать силы неэлектрического происхождения.

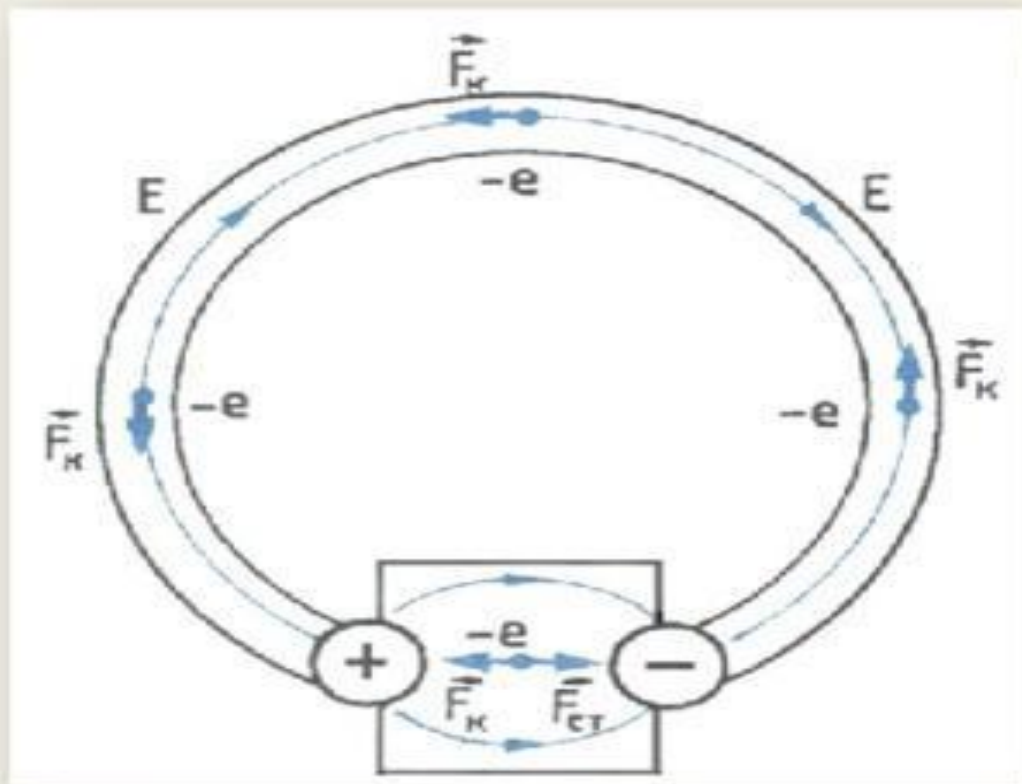
Одно лишь электрическое поле заряженных частиц (кулоновское поле) не способно поддерживать постоянный ток в цепи.

Сторонние силы

Сторонние силы — это любые силы, действующие на электрические заряды, которые при этом не являются силами электрического происхождения.

Работа кулоновских сил при перемещении зарядов по замкнутому контуру равна нулю, поэтому поддержание разности потенциалов должно быть обеспечено сторонними силами.





При замыкании цепи создаётся электрическое поле во всех проводниках цепи.

Внутри источника тока заряды движутся под действием сторонних сил против кулоновских сил (электроны от положительного заряженного электрода к отрицательному), а во всей остальной цепи их приводит в движение электрическое поле.

ЭДС источника тока

Источник тока — это устройство для поддержания электрического тока.

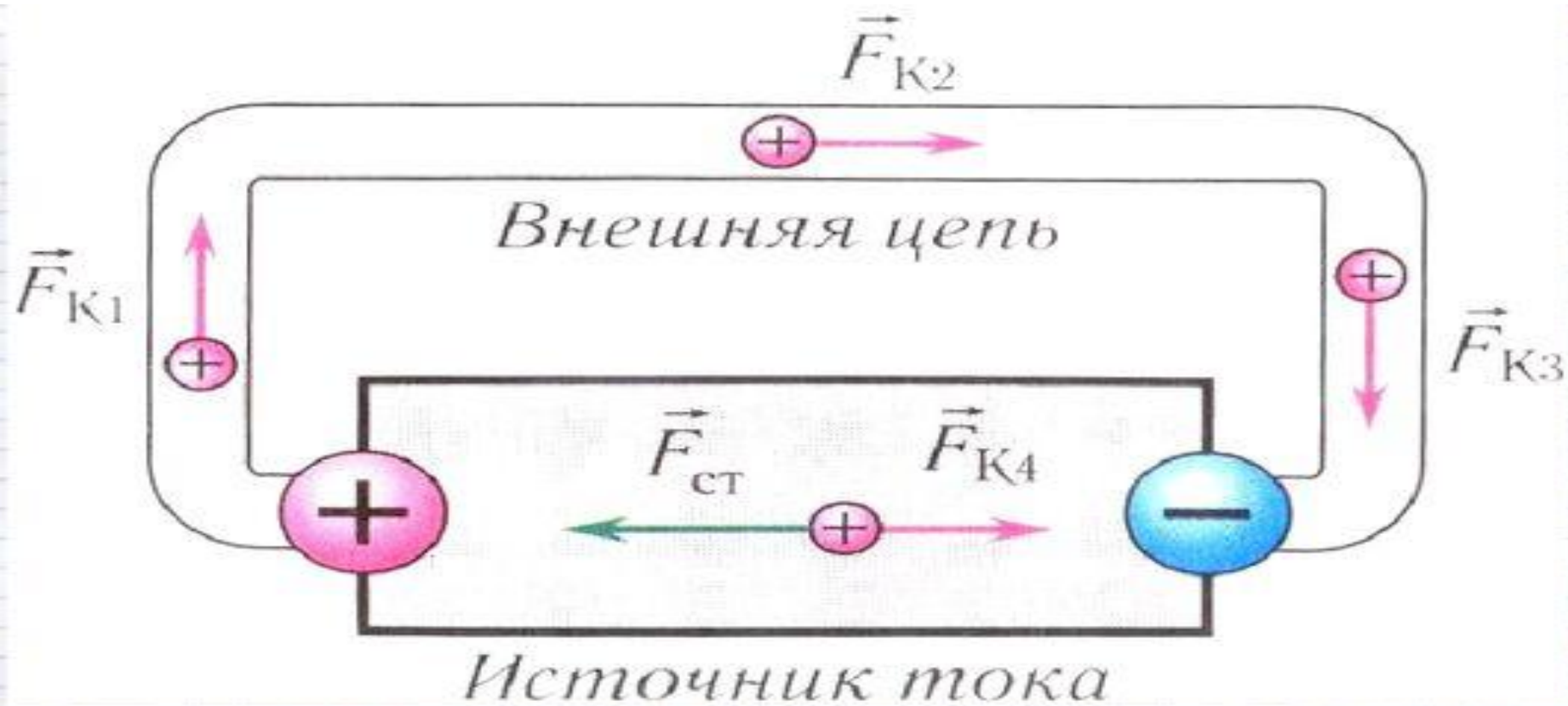
Сторонние силы в источнике тока совершают работу по разделению зарядов.

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:

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}$$

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



Внутри источника тока заряды движутся под действием сторонних сил против кулоновских сил (электроны от положительного заряженного электрода к отрицательному), а во всей остальной цепи их приводит в движение электрическое поле.

Сторонние силы приводят в движение заряженные частицы внутри всех источников тока: в генераторах на электростанциях, в гальванических элементах, аккумуляторах и т.д.



Генератор переменного тока, Россия



Аккумулятор



Гальванические элементы, СССР

Природа сторонних сил

Источники тока	Сторонняя сила
Генератор электростанции	Сила, действующая со стороны магнитного поля на электроны в движущемся проводнике
Гальванический элемент (элемент Вольта)	Химические силы, растворяющие цинк в растворе серной кислоты

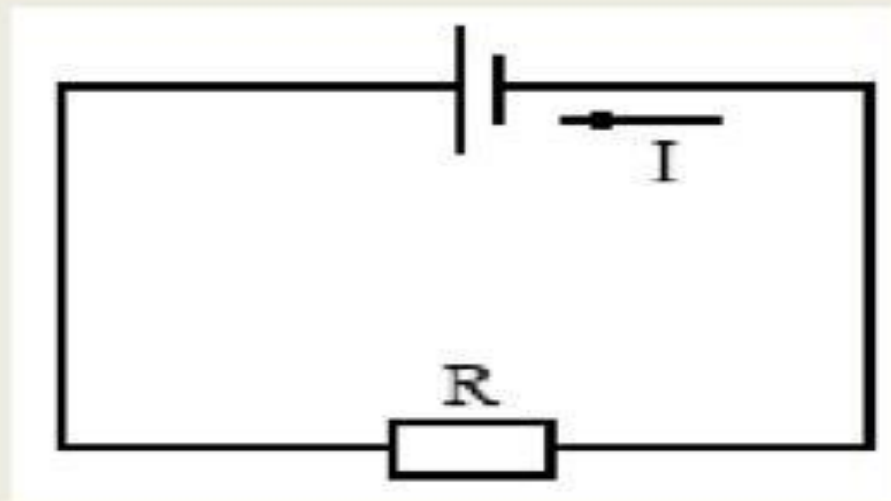
Электродвижущая сила

Действие сторонних сил характеризуется важной физической величиной, называемой электродвижущей силой (сокращённо ЭДС).

Электродвижущая сила в замкнутом контуре представляет собой отношение работы сторонних сил при перемещении заряда вдоль контура к заряду:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}$$

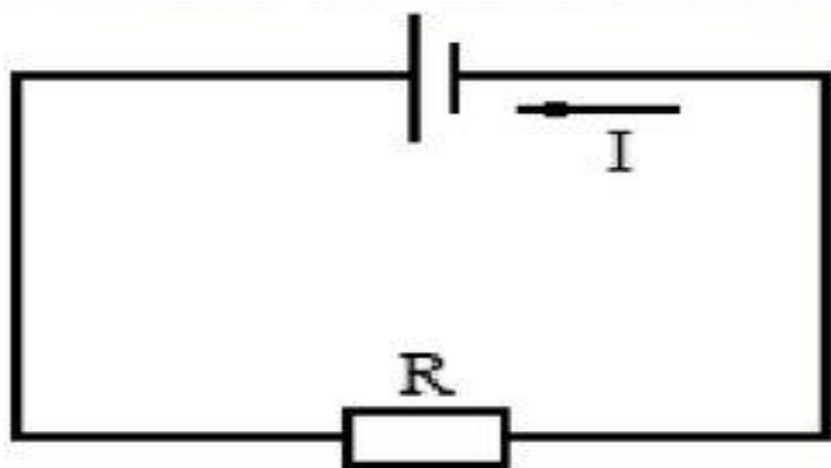
ЭДС выражают в вольтах: $[\mathcal{E}] = \text{Дж/Кл} = \text{В}$



Рассмотрим простейшую полную (замкнутую) цепь, состоящую из источника тока и резистора сопротивлением R .

- \mathcal{E} – ЭДС источника тока,
- r – внутреннее сопротивление источника тока,
- R – внешнее сопротивление цепи,
- $R + r$ – полное сопротивление цепи.

Закон Ома для замкнутой цепи связывает силу тока в цепи, ЭДС и полное сопротивление $R + r$ цепи.
Установим эту связь теоретически пользуясь законами сохранения энергии и Джоуля – Ленца.

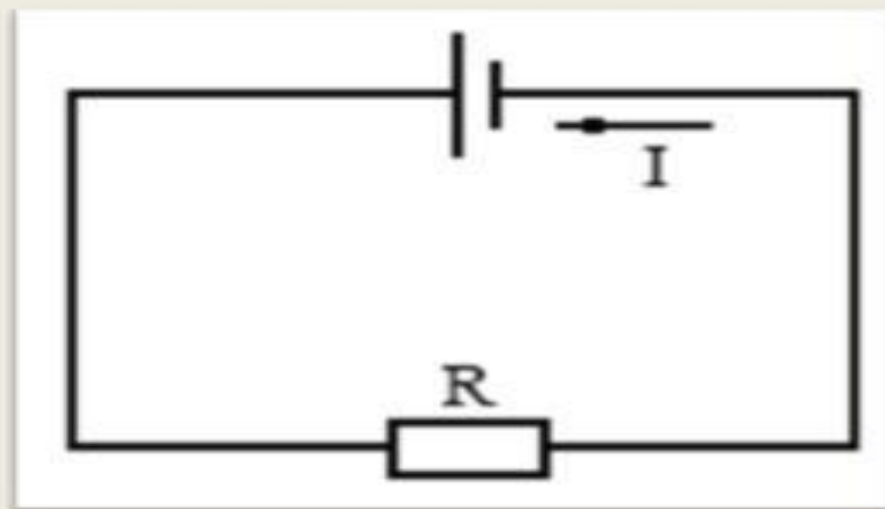


Рассмотрим простейшую полную (замкнутую) цепь, состоящую из источника тока и резистора сопротивлением R .

- \mathcal{E} – ЭДС источника тока,
- r – внутреннее сопротивление источника тока,
- R – внешнее сопротивление цепи,
- $R + r$ – полное сопротивление цепи.

Закон Ома для замкнутой цепи связывает силу тока в цепи, ЭДС и полное сопротивление $R + r$ цепи.

Установим эту связь теоретически пользуясь законами сохранения энергии и Джоуля – Ленца.



Пусть за время Δt через поперечное сечение проводника пройдёт электрический заряд.

$$A_{\text{ст}} = \varepsilon \cdot \Delta q$$

$$\Delta q = I \cdot \Delta t \quad \rightarrow \quad A_{\text{ст}} = \varepsilon \cdot I \cdot \Delta t$$

При совершении этой работы на внутреннем и внешнем участках цепи выделяется количество теплоты, равное согласно закону Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \Delta t + I^2 \cdot r \cdot \Delta t$$

$$A_{\text{ст}} = Q \quad \rightarrow \quad \varepsilon = I \cdot R + I \cdot r \quad \rightarrow \quad \varepsilon = I \cdot (R + r)$$

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

Сила тока в полной цепи равна отношению ЭДС цепи к её полному сопротивлению.

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

Сила тока в полной цепи равна отношению ЭДС цепи к её полному сопротивлению.

Закон Ома для полной цепи

Закон Ома для полной цепи:

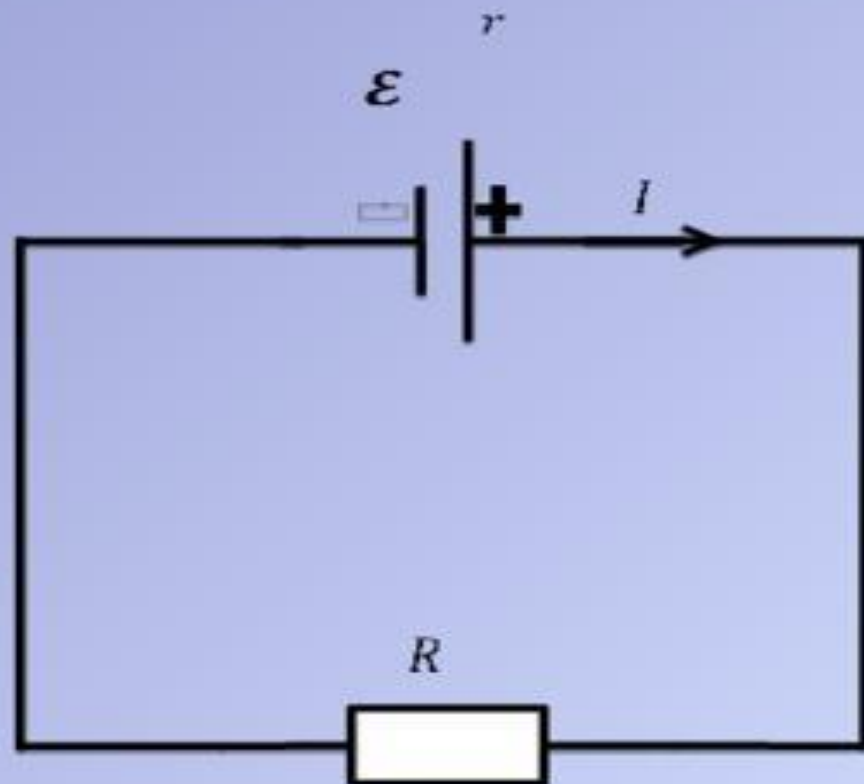
Если $r \ll R$, то: $I \approx \frac{\mathcal{E}}{R + r}$

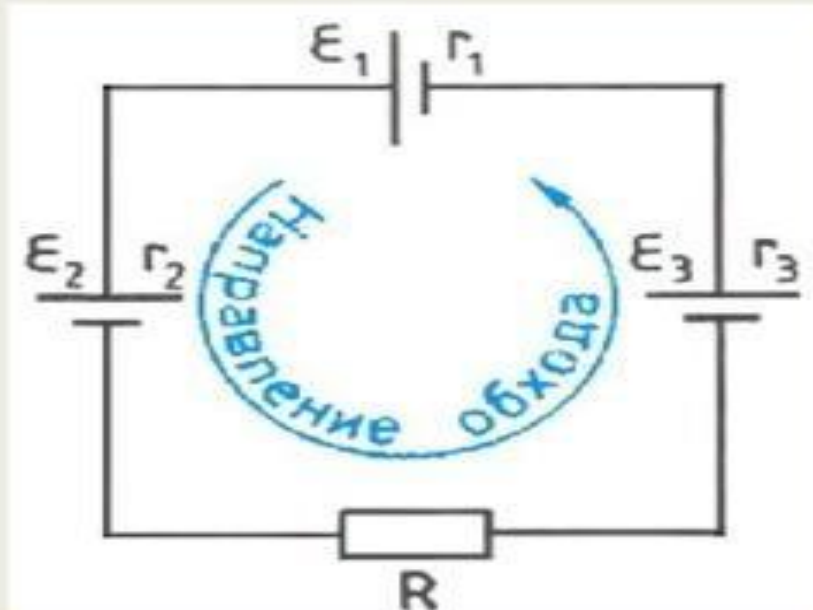
Если , то:

$$I \approx \frac{\mathcal{E}}{R} \Rightarrow \mathcal{E} \approx U_R$$

При коротком замыкании
($R \approx 0$):

$$I \approx \frac{\mathcal{E}}{r}$$





Если цепь содержит несколько последовательно соединённых элементов с ЭДС $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ и т.д., то полная ЭДС цепи равна алгебраической сумме ЭДС отдельных элементов.

Для определения знака ЭДС выберем положительное направление обхода контура.

Если при обходе цепи переходят от «-» полюса к «+», то ЭДС $\mathcal{E} > 0$.

Для данной цепи: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$ и $R_{\text{п}} = R + r_1 + r_2 + r_3$

Если $\mathcal{E} > 0$, то $I > 0 \rightarrow$

направление тока совпадает с направлением обхода контура

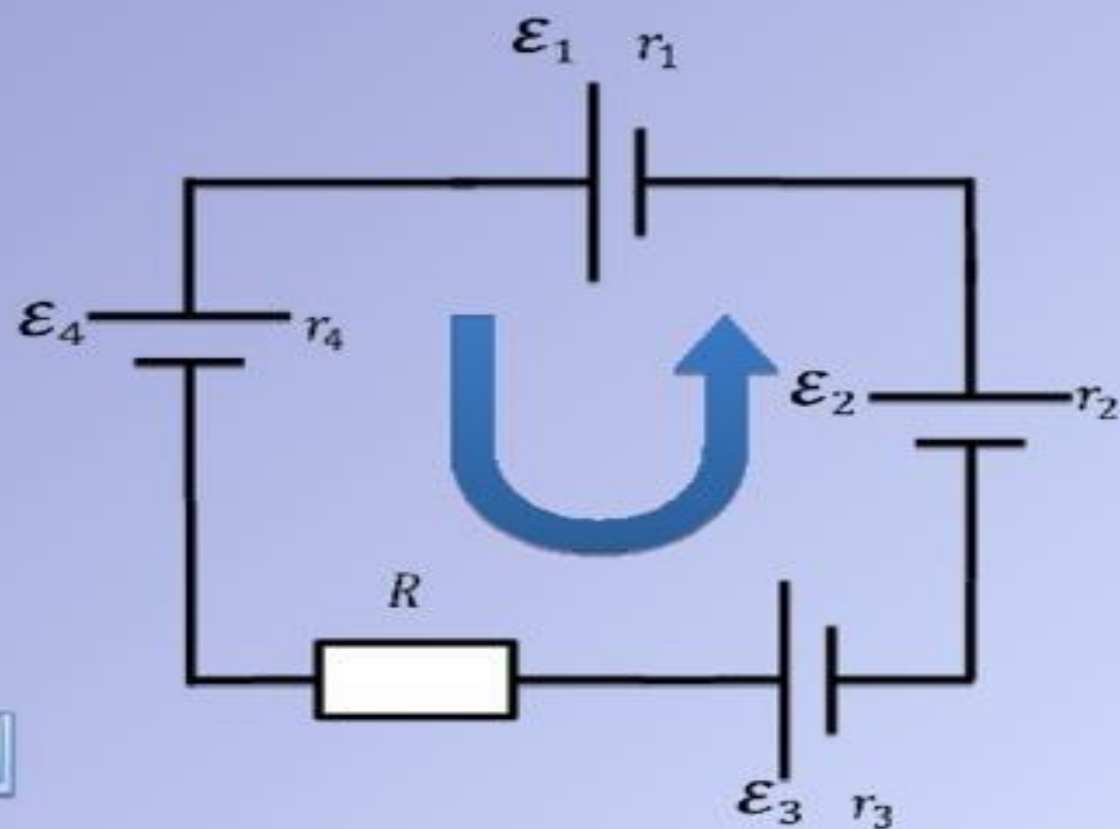
Несколько источников тока

$$\mathcal{E}_1 > 0; \mathcal{E}_2 > 0$$

$$\mathcal{E}_3 < 0; \mathcal{E}_4 < 0$$

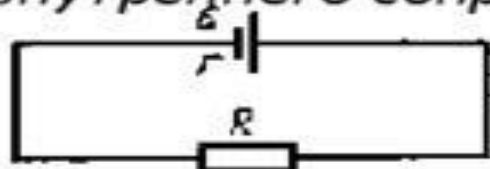
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_4$$

$$R_{\text{общ}} = R + r_1 + r_2 + r_3 + r_4$$



Закон Ома для полной цепи

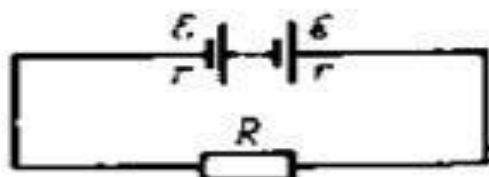
Сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна ЭДС источника тока и обратно пропорциональна сумме внешнего и внутреннего сопротивления



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

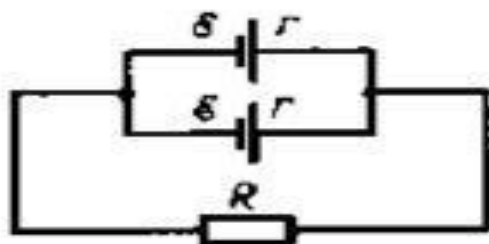


Виртуальная лаборатория



$$I = \frac{2\mathcal{E}}{R + 2r}$$

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



$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + \frac{r}{2}}$$

$$I = \frac{n\mathcal{E}}{R_{\Sigma} + r}$$

$$\eta = \frac{U}{\mathcal{E}} 100\%$$

- КПД электрической цепи

Закон Ома для полной цепи

$$U_{\text{внеш}} = IR$$

$$U_{\text{внутр}} = Ir$$

$$E = U_{\text{внеш}} + U_{\text{внутр}}$$

$$E = IR + Ir$$

$$E = I(R + r)$$

$$I = \frac{E}{R + r} \quad \text{— Закон Ома для полной цепи}$$

$R + r$ — полное сопротивление цепи

Исследовательские задания в группах

- *Как и почему меняется напряжение на полюсах источника и внутри него при увеличении сопротивления?*
- *Любой ли вольтметр измеряет ЭДС?*
- *Как и почему меняется напряжение на полюсах источника и внутри него при изменении внутреннего сопротивления источника?*
- *Насколько опасно короткое замыкание?*

R	r	R+r	$I = \frac{1}{(R+r)}$	$U_{\text{внутр}} = Ir$	$U_{\text{внеш}} = U_{\text{источник}} - U_{\text{внутр}}$	Выводы
Уменьшается	Постоянно	Уменьшается	Возрастает	Возрастает	Уменьшается	Напряжение перераспределяется между внешним и внутренним участками
Увеличивается	Постоянно	Увеличивается	Уменьшается	Уменьшается	Возрастает	Напряжение перераспределяется между внешним и внутренним участками
$R \rightarrow \infty$	Постоянно	$\rightarrow \infty$	$\rightarrow 0$	$\rightarrow 0$	\rightarrow	участками Цепь разомкнута, измеряется ЭДС
Постоянно	Уменьшается	Уменьшается	Возрастает	Уменьшается	Возрастает	Напряжение перераспределяется между внешним и внутренним участками
$R \rightarrow 0$	Постоянно	$\rightarrow r$	$\rightarrow \frac{1}{r}$	\rightarrow	$\rightarrow 0$	Короткое замыкание $I_{\text{к.з.}} = \frac{1}{r}$

Задача 1. При подключении лампочки к батарее элементов с ЭДС 4,5 В вольтметр показал напряжение на лампочке 4 В, а амперметр – силу тока 0,25 А. Каково внутреннее сопротивление батареи?

Дано:

$$\mathcal{E} = 4,5 \text{ В}$$

$$U = 4 \text{ В}$$

$$I = 0,25 \text{ А}$$

$$r = ?$$

Решение:

Из закона Ома для полной цепи

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I} - R = \frac{\mathcal{E}}{I} - \frac{U}{I} = \frac{\mathcal{E} - U}{I} = \frac{4,5 \text{ В} - 4 \text{ В}}{0,25 \text{ А}} = 2 \text{ Ом.}$$

Здесь мы использовали тот факт, что если напряжение на лампочке U и через нее протекает ток I , то ее сопротивление $R = U/I$ (закон Ома для однородного участка цепи).

Ответ: $r = 2 \text{ Ом.}$

Задача 2. В проводнике сопротивлением 2 Ом, подключенном к элементу с ЭДС 1,1 В, сила тока равна 0,5 А. Какова сила тока при коротком замыкании элемента?

Дано:

$$\mathcal{E} = 1,1 \text{ В}; R = 2 \text{ Ом}$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$$I_{\text{кз}} = ?$$

Решение:

Сила тока при коротком замыкании (когда сопротивление нагрузки $R = 0$) $I_{\text{кз}} = \mathcal{E}/r$. Найдем внутреннее сопротивление источника ЭДС. Из закона Ома для полной цепи

$$r = \frac{\mathcal{E} - IR}{I}$$

Тогда

$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r} = \frac{I\mathcal{E}}{\mathcal{E} - IR} = \frac{0,5 \text{ А} \cdot 1,1 \text{ В}}{1,1 \text{ В} - 0,5 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом}} = 5,5 \text{ А.}$$

Ответ: $I_{\text{кз}} = 5,5 \text{ А.}$

К источнику тока с внутренним сопротивлением 1 Ом подключили резистор с сопротивлением 15 Ом . После этого в цепь включили амперметр, который показал, что сила тока равна 5 А . Найдите работу сторонних сил внутри источника, совершенную за 2 минуты .

$$r = 1 \text{ Ом}$$

$$\text{Дано: } R = 15 \text{ Ом}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$t = 2 \text{ мин}$$

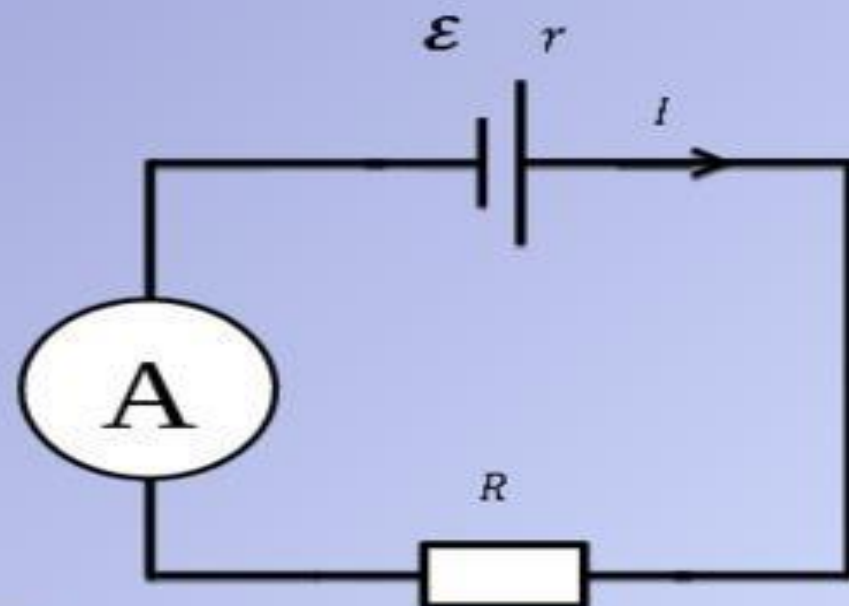
$$A_{\text{ст}} = ?$$

$$A_{\text{ст}} = \mathcal{E} I t$$

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

$$A_{\text{ст}} = 5^2 \cdot (15 + 1) \cdot 120$$

$$A_{\text{ст}} = 48000 \text{ Дж} = 48 \text{ кДж}$$



На рисунке указана цепь, ток в которой равен 2 А . Известно, что при коротком замыкании, ток становится равным 82 А . Внешнее сопротивление равно 20 Ом . Тогда какой источник нужно включить в эту цепь, чтобы увеличить в ней силу тока до 4 А и полную ЭДС до 90 В ?

$$I_1 = 2 \text{ А}$$

$$I_{\text{к}} = 82 \text{ А}$$

$$I_2 = 4 \text{ А}$$

$$R = 20 \text{ Ом}$$

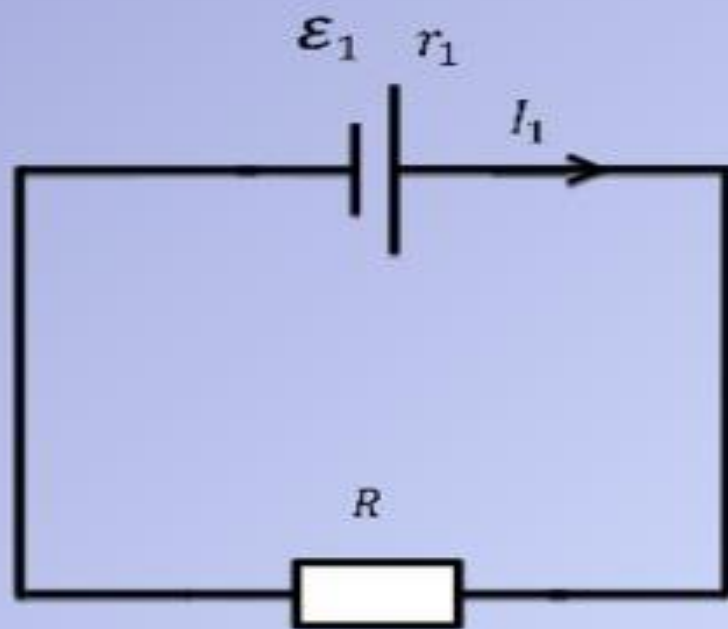
$$\mathcal{E} = 90 \text{ В}$$

$$\mathcal{E}_2, r_2 - ?$$

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}_1}{R + r_1} \quad I_{\text{к}} = \frac{\mathcal{E}_1}{r_1}$$

$$\frac{I_{\text{к}}}{I_1} = \frac{R + \mathcal{E}_1 / r_1 R}{\mathcal{E}_1 / r_1} = 1$$

$$\frac{R}{r_1} = \frac{I_{\text{к}}}{I_1} - 1$$



На рисунке указана цепь, ток в которой равен 2 А. Известно, что при коротком замыкании, ток становится равным 82 А. Внешнее сопротивление равно 20 Ом. Тогда какой источник нужно включить в эту цепь, чтобы увеличить в ней силу тока до 4 А и полную ЭДС до 90 В?

$$I_1 = 2 \text{ А}$$

$$I_{\text{к}} = 82 \text{ А}$$

$$I_2 = 4 \text{ А}$$

$$R = 20 \text{ Ом}$$

$$\mathcal{E} = 90 \text{ В}$$

$$\mathcal{E}_2, r_2 - ?$$

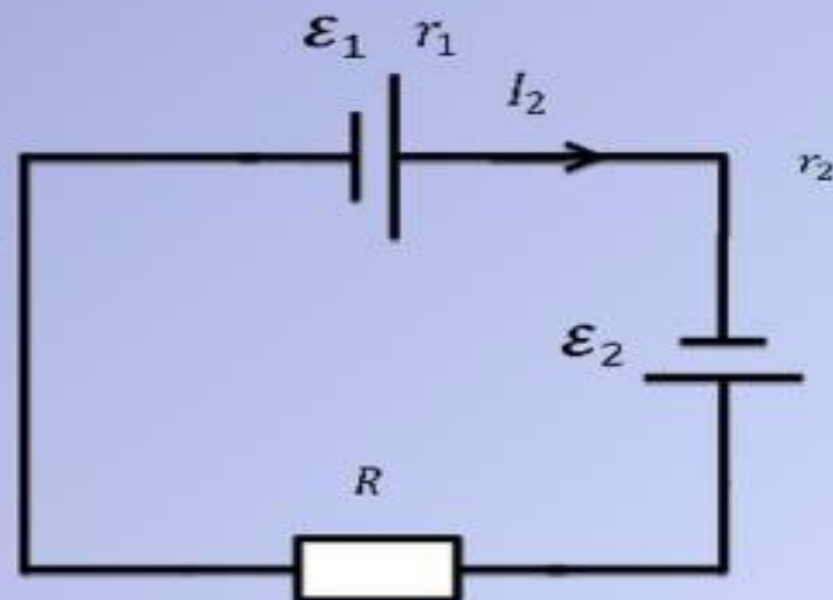
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$$

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E} - \mathcal{E}_1 = 90 - 41 = 49 \text{ В}$$

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R + r_1 + r_2}$$

$$r_2 = \frac{\mathcal{E}}{I_2} - R - r_1$$

$$r_2 = \frac{90}{4} - 20 - 0,5 = 2 \text{ Ом}$$



На рисунке указана цепь, ток в которой равен 2 А. Известно, что при коротком замыкании, ток становится равным 82 А. Внешнее сопротивление равно 20 Ом. Тогда какой источник нужно включить в эту цепь, чтобы увеличить в ней силу тока до 4 А и полную ЭДС до 90 В?

$$I_1 = 2 \text{ А}$$

$$\text{Дано: } I_K = 82 \text{ А}$$

$$I_2 = 4 \text{ А}$$

$$R = 20 \text{ Ом}$$

$$\mathcal{E} = 90 \text{ В}$$

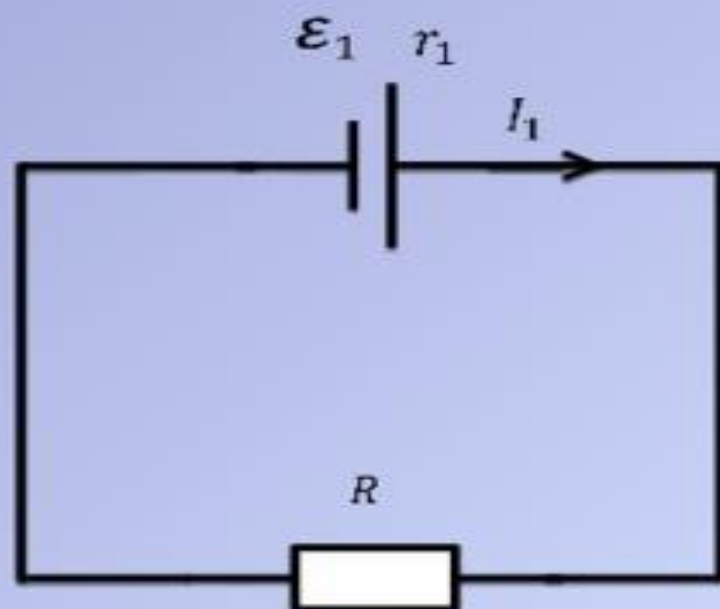
$$\mathcal{E}_2, r_2 - ?$$

$$\frac{R}{r_1} = \frac{I_K}{I_1} - 1$$

$$r_1 = \frac{R}{\frac{I_K}{I_1} - 1} = \frac{20}{\frac{82}{2} - 1} = 0,5 \text{ Ом}$$

$$\mathcal{E}_1 = I_1(R + r_1)$$

$$\mathcal{E}_1 = 2 \times (20 + 0,5) = 41 \text{ В}$$



Основные выводы:

- ❑ Электродвижущая сила (ЭДС) является главной характеристикой источника тока.
- ❑ Электродвижущая сила равна отношению работы сторонних сил при перемещении заряда к величине этого заряда:

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

- ❑ Сторонние силы — силы незлектрического происхождения, действующие на электрические заряды.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ:

- ❑ Закон Ома для полной цепи: сила тока в замкнутой цепи равна отношению ЭДС источника тока к полному сопротивлению цепи:

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

- ❑ Полная цепь — замкнутая цепь, включающая в себя источник тока.
- ❑ При последовательном подключении нескольких источников, полная ЭДС цепи равна алгебраической сумме ЭДС отдельных источников:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n$$

Решение задач

- 1 Какое количество аккумуляторов нужно соединить последовательно, чтобы получить в цепи ток $I = 4$ А при разности потенциалов на полюсах батареи $U = 220$ В? ЭДС каждого аккумулятора $\epsilon = 2$ В, внутреннее сопротивление $r = 0,25$ Ом.
- 2 Когда к источнику ЭДС подключили резистор сопротивлением $R_1 = 5,0$ Ом, сила тока стала $I_1 = 1,0$ А, а когда подключили резистор сопротивлением $R_2 = 15$ Ом, то $I_2 = 0,50$ А. Определите внутреннее сопротивление источника.
- 3 К батарейке с ЭДС $\epsilon = 3,0$ В подключили резистор сопротивлением $R = 20$ Ом. Падение напряжения на резисторе оказалось $U = 2,0$ В. Определите ток короткого замыкания батарейки.