

Тема 7. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

- 7.1. Причины электрического тока.
- 7.4. Сторонние силы и Э. Д. С.
- 7.5. Закон Ома для неоднородного участка цепи.
- 7.6. Закон Ома в дифференциальной форме.

7.1. Причины электрического тока

- Заряженные объекты являются причиной не только электростатического поля, но еще и электрического тока.

В этих двух явлениях, есть существенное отличие:

- Для возникновения электростатического поля требуются неподвижные, каким-то образом зафиксированные в пространстве заряды.
- Для возникновения электрического тока, требуется наличие свободных, не закрепленных заряженных частиц, которые в электростатическом поле неподвижных зарядов приходят в состояние *упорядоченного движения вдоль силовых линий поля*.
- ***Упорядоченное движение свободных зарядов вдоль силовых линий поля электрический ток.***

- Если, однако, движение свободных зарядов таково, что оно не приводит к перераспределению зарядов в пространстве, то есть к изменению со временем плотности зарядов ρ , то в этом частном случае электрическое поле – снова статическое.
- Этот частный случай есть случай постоянного тока.

Ток, не изменяющийся по величине со временем – называется постоянным током

$$I = \frac{q}{t} \quad (7.1.4)$$

- Отсюда видна **размерность силы тока** в СИ:

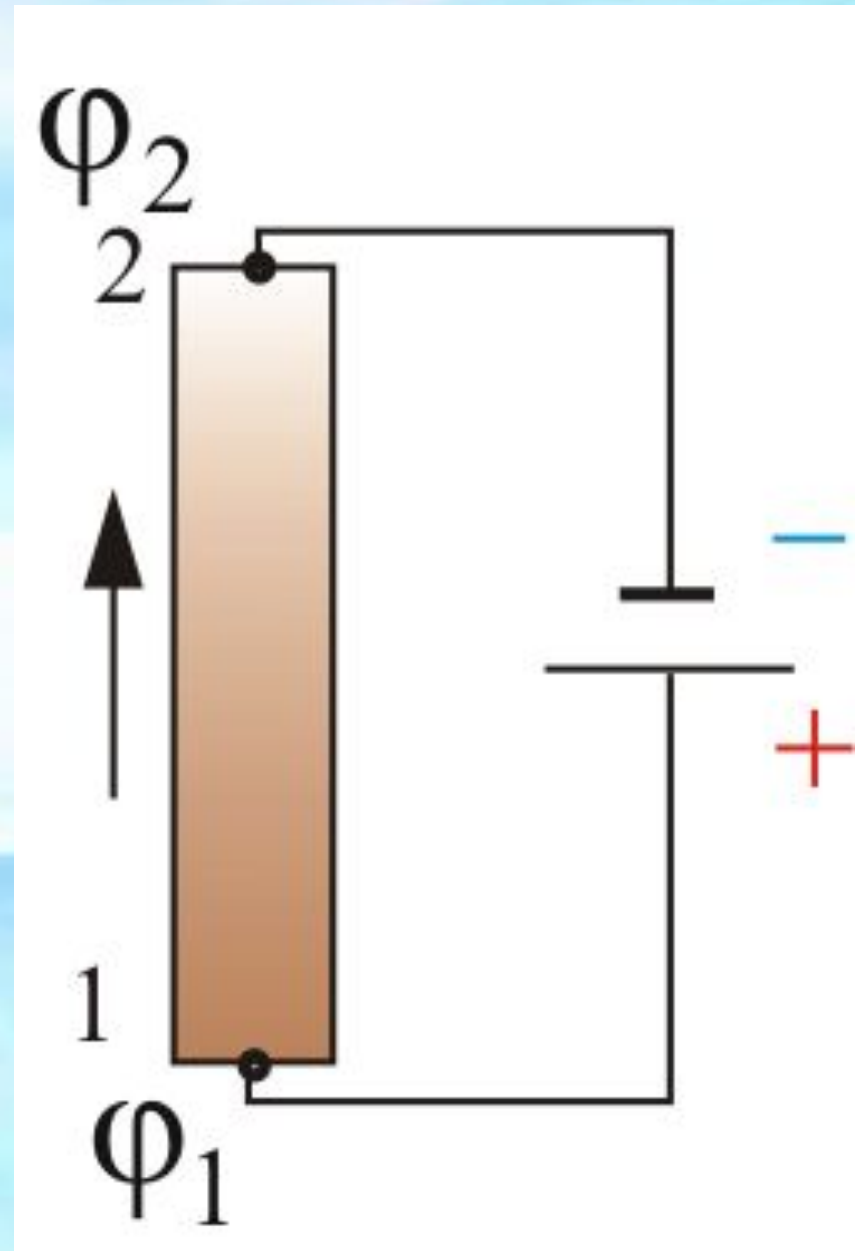
$$1A = \frac{Кл}{с};$$

- Сила тока является скалярной величиной и алгебраической.
- А знак определяется кроме всего прочего, выбором направления нормали к поверхности S .

7.4. Сторонние силы и ЭДС

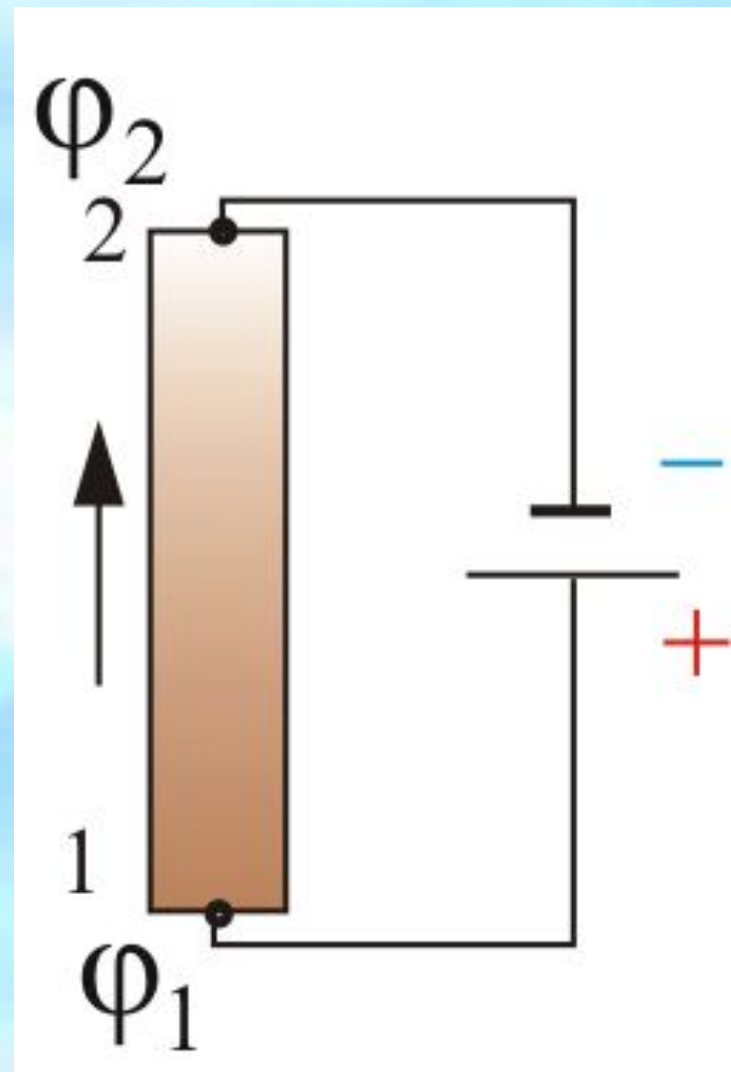
- Для того, чтобы поддерживать ток достаточно длительное время, необходимо от конца проводника с меньшим потенциалом непрерывно отводить, а к другому концу – с большим потенциалом – подводить электрические заряды.
- Т.е. **необходим круговорот зарядов.**

- Поэтому в замкнутой цепи, наряду с нормальным движением зарядов, должны быть **участки, на которых движение (положительных) зарядов происходит в направлении возрастания потенциала, т.е. против сил электрического поля**



Перемещение заряда на этих участках возможно лишь с помощью **сил неэлектрического происхождения (сторонних сил)**: химические процессы, диффузия носителей заряда, вихревые электрические поля.

Аналогия: насос, качающий воду в водонапорную башню, действует за счет негравитационных сил (электромотор).



- ***Сторонние силы можно характеризовать работой, которую они совершают над перемещающимися по замкнутой цепи зарядами***

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:

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}$$

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

- **Стороннюю силу, действующую на заряд, можно представить в виде:**

$$\vec{F}_{\text{СТ}} = \vec{E}_{\text{СТ}} q, \quad (7.4.2)$$

- $\vec{E}_{\text{СТ}}$ – напряженность поля сторонних сил.

Закон Ома

Закон Ома для участка цепи

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

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

7.6. Закон Ома в дифференциальной форме

- *Закон Ома в интегральной форме для однородного участка цепи (не содержащего ЭДС)*

$$I = \frac{U}{R} \quad (7.6.1)$$

- Для однородного линейного проводника выразим R через ρ :

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (7.6.2)$$

- ρ – удельное объемное сопротивление;
- $[\rho] = [\text{Ом} \cdot \text{м}]$.

7.5. Закон Ома для неоднородного участка цепи

- *Один из основных законов электродинамики был открыт в 1826 г. немецким учителем физики Георгом Омом.*
- *Он установил, что сила тока в проводнике пропорциональна разности потенциалов:*

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}$$

Закон Ома для неоднородного участка цепи

- Произведение силы тока I на сопротивление участка цепи R равно сумме разности потенциалов на этом участке и э.д.с. всех источников тока, включенных на данном участке цепи.

$$I \cdot R = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_{12}$$

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_{12}}{R}$$

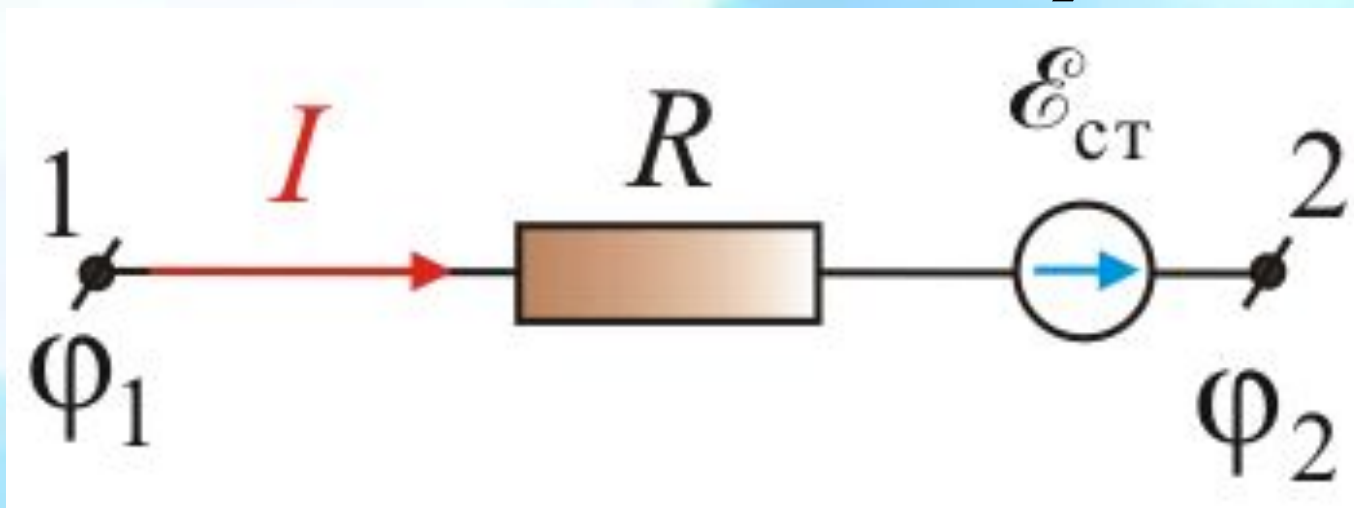
R - полное сопротивление участка цепи

- **Рассмотрим неоднородный участок цепи - участок, содержащий источник ЭДС**

(т.е. участок, где действуют неэлектрические силы).

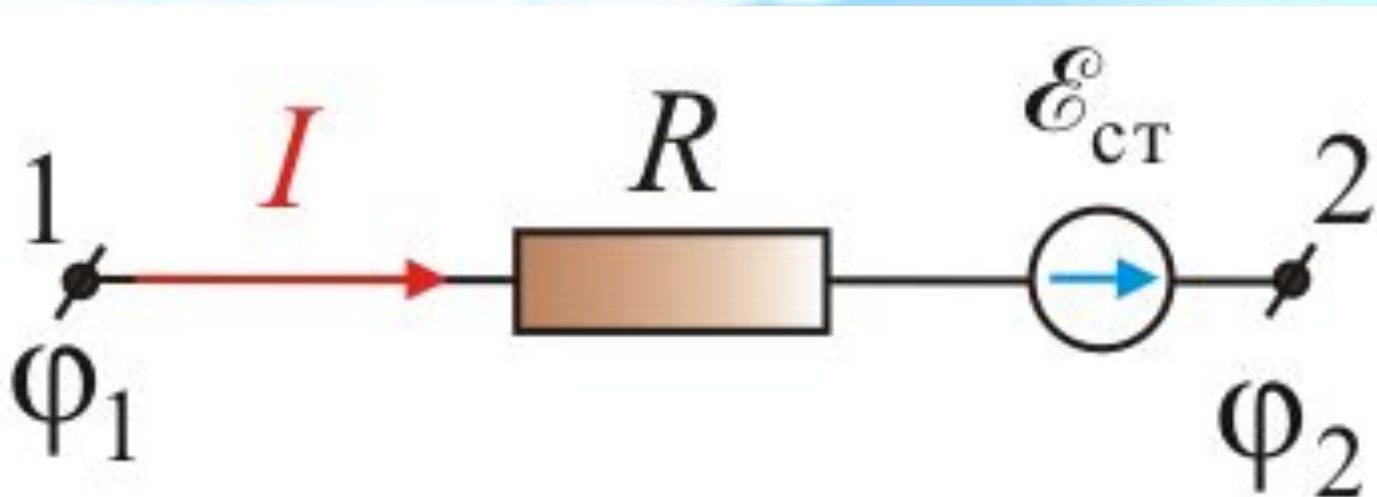
- **Напряженность \vec{E} поля в любой точке цепи равна векторной сумме поля кулоновских сил и поля сторонних сил:**

$$\vec{E} = \vec{E}_q + \vec{E}_{\text{ст}}.$$



- Величина, численно равная работе по переносу единичного положительного заряда суммарным полем кулоновских и сторонних сил на участке цепи (1 – 2), называется **напряжением на этом участке** U_{12} :

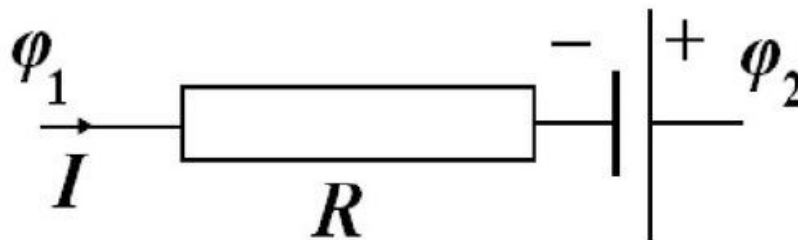
$$U_{12} = \int_1^2 \mathbf{E}_q \cdot d\mathbf{l} + \int_1^2 \mathbf{E}_{\text{СТ}} \cdot d\mathbf{l}$$



Для неоднородного участка цепи

Закон Ома для неоднородного участка цепи

Работа, совершаемая кулоновскими и сторонними силами по перемещению единичного положительного заряда q_{0+} – **падение напряжения (напряжение)**.



The diagram shows a circuit element consisting of a resistor R and a voltage source. The resistor is represented by a rectangle with an arrow pointing to the right, labeled I below it. The voltage source is represented by two vertical lines of unequal length, with the longer line on the right. The left terminal is labeled with a minus sign $-$ and the right terminal with a plus sign $+$. The potential at the left terminal is φ_1 and at the right terminal is φ_2 . The electromotive force \mathcal{E} is indicated by a plus-minus sign $\pm \mathcal{E}$ above the resistor.

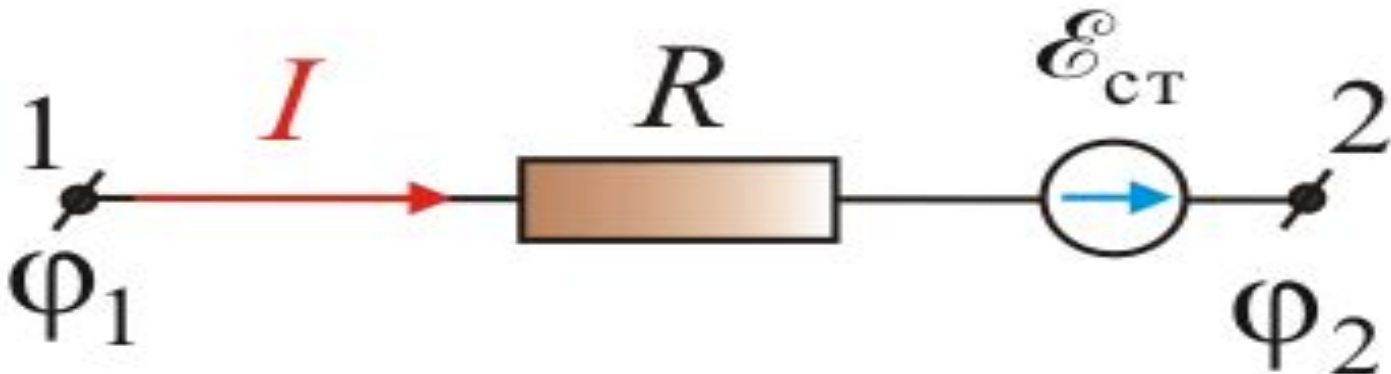
$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}}{R}$$

$$U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_{12}.$$

- Напряжение на концах участка цепи совпадает с разностью потенциалов только в случае, если на этом участке нет ЭДС, т.е. на однородном участке цепи.
- **Обобщенный закон Ома для участка цепи содержащей источник ЭДС:**

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}$$

(7.5.3)



- **Обобщенный закон Ома выражает закон сохранения энергии применительно к участку цепи постоянного тока.**
- **Он в равной мере справедлив как для пассивных участков (не содержащих ЭДС), так и для активных.**

- В электротехнике часто используют термин ***падение напряжения*** – *изменение напряжения вследствие переноса заряда через сопротивление*

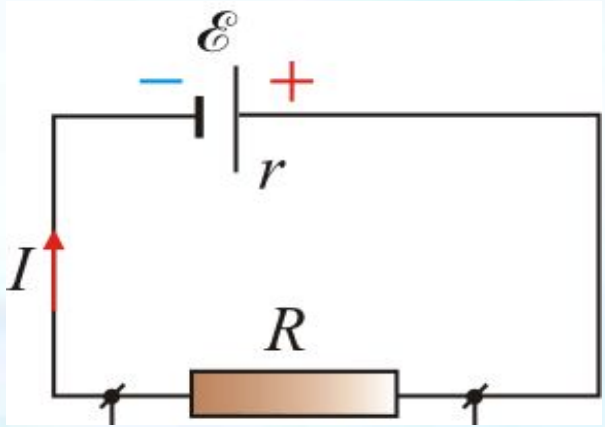
$$U = IR.$$

• В замкнутой цепи: $\varphi_1 = \varphi_2$; $IR_{\Sigma} = E$

• или $I = \frac{E}{R_{\Sigma}}$, здесь E это эдс \mathcal{E}

$$R_{\Sigma} = R + r$$

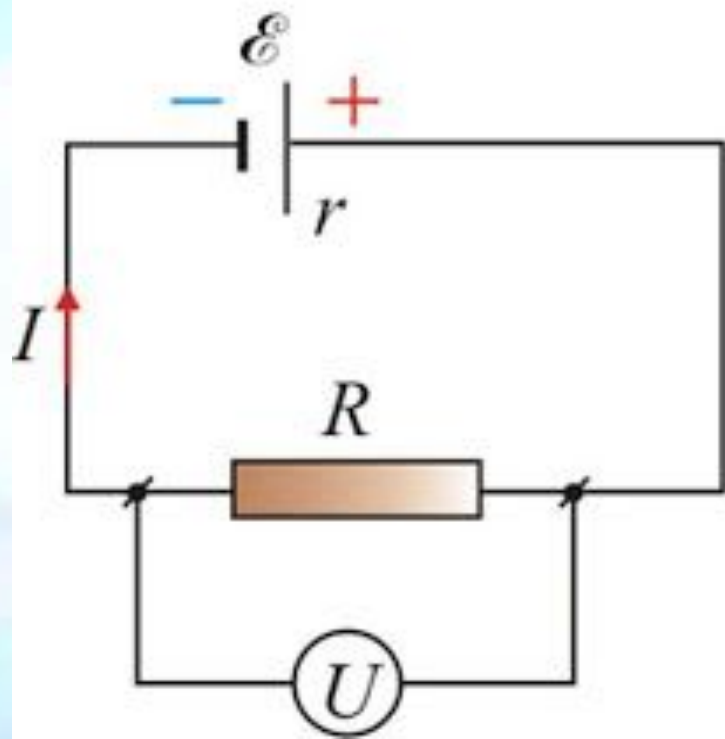
• где R- внешнее сопротивление ; r – внутреннее сопротивление активного участка цепи
Тогда **закон Ома** для замкнутого участка цепи, содержащего источник ЭДС запишется в виде



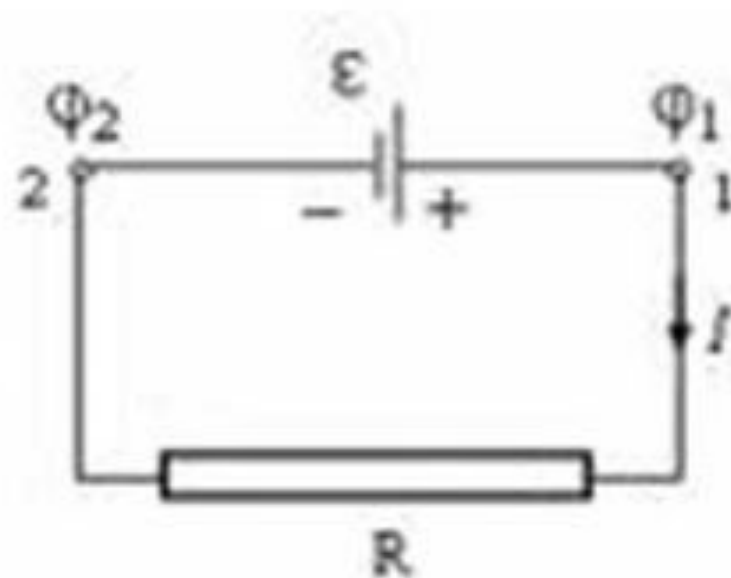
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r'} \quad (7.5.5)$$

• Закон Ома для замкнутого участка цепи, содержащего источник ЭДС

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



Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС



- При выбранном направлении обхода по часовой стрелке

$$I > 0, \varepsilon > 0, \varphi_1 - \varphi_2 = U_{1,2} > 0$$

$$\varepsilon = IR + Ir$$

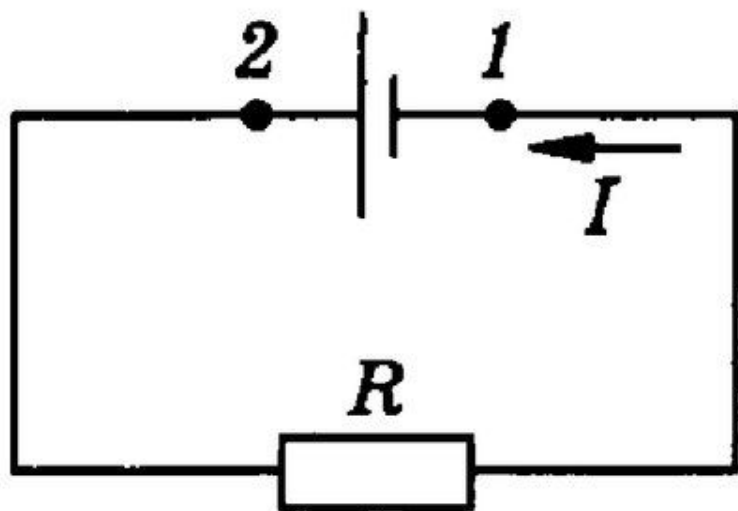
$$IR = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = Ir - \varepsilon$$

Закон Ома для полной цепи

Простейшая полная (замкнутая) электрическая цепь

Источник тока
(гальванический
элемент/аккумулятор)



Резистор сопротивлением R

**Закон Ома для
полной цепи:**

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

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

11.2. Закон Ома в дифференциальной форме

- Закон Ома в интегральной форме для однородного участка цепи (не содержащего ЭДС)

$$I = \frac{U}{R} \quad (11.2.1)$$

- Для однородного линейного проводника выразим R через ρ :

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (11.2.2)$$

- ρ – удельное объемное сопротивление; $[\rho] = [\text{Ом} \cdot \text{м}]$.