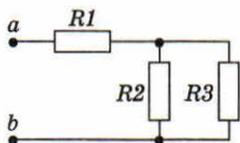
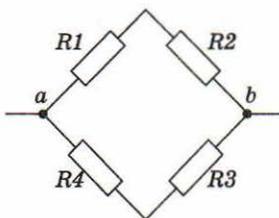


З А Д А Ч И

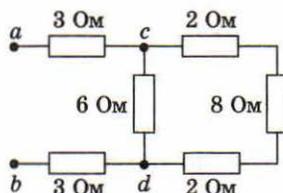
1. Найдите сопротивление  $R_{ab}$ , если  $R_1 = 12 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 30 \text{ Ом}$  (рис. 18).
2. Найдите  $R_{ab}$ , если  $R_1 = 12 \text{ Ом}$ ;  $R_2 = 18 \text{ Ом}$ ;  $R_3 = 5 \text{ Ом}$ ;  $R_4 = 10 \text{ Ом}$  (рис. 19).
3. Найдите  $R_{ab}$  (рис. 20).



▲ 18



▲ 19

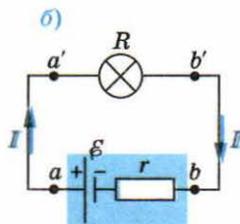
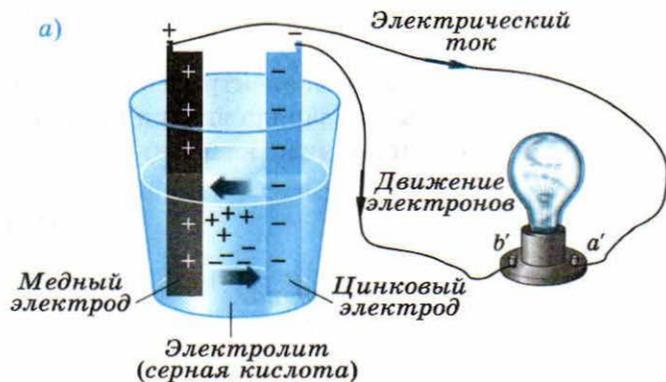


▲ 20

## § 7. Закон Ома для замкнутой цепи

**Замкнутая цепь с источником тока.** Рассмотрим простейшую замкнутую (полную) цепь, состоящую из источника тока (например, гальванического элемента) с ЭДС  $\mathcal{E}$  и лампы сопротивлением  $R$  (рис. 21, а). Найдём направление тока и силу тока в этой цепи.

В рассматриваемой цепи (рис. 21, б) лампа вместе с подводящими проводами ( $aa'$  и  $bb'$ ) образует *внешнюю цепь* — *участок цепи* ( $aa'b'b$ ) *вне источника тока*.



▲ 21

Простейшая замкнутая цепь:

- а) лампа, подключённая к гальваническому элементу;
- б) эквивалентная схема

Направление тока в цепи определяется направлением движения положительных зарядов. Положительные заряды во внешней цепи движутся от положительного полюса источника к отрицательному. Таким же является и направление тока во внешней цепи.

Согласно формуле (6) разность потенциалов между полюсами источника зависит от его ЭДС и работы силы сопротивления по перемещению единичного положительного заряда внутри источника между его полюсами:

$$U_{ab} = \mathcal{E} - \frac{|A_c|}{q}. \quad (15)$$

Напомним, что сила сопротивления характеризует противодействие движению заряженной частицы (иона) со стороны молекул и ионов, с которыми она сталкивается в процессе движения в электролите.

**Закон Ома для замкнутой цепи.** Пренебрегая сопротивлением подводющих проводов, можно сказать, что

$$\Phi_{a'} = \Phi_a, \quad \Phi_{b'} = \Phi_b,$$

поэтому

$$U_{ab} = U_{a'b'} = IR, \quad (16)$$

где  $I$  — сила тока, протекающего через лампу, или, как говорят, во внешней цепи.

*Полное сопротивление проводников, подключённых к источнику тока, называют сопротивлением внешней цепи или внешним сопротивлением ( $R$  — внешнее сопротивление).*

По определению (см. Ф-10, § 62) работа силы электрического поля по перемещению единичного положительного заряда внутри источника равна разности потенциалов на внутреннем участке цепи:

$$\frac{|A_c|}{q} = Ir, \quad (17)$$

где  $r$  — внутреннее сопротивление источника тока.

Подставляя выражение (17) в уравнение (15), получаем *напряжение на зажимах источника тока*:

$$U_{ab} = \mathcal{E} - Ir, \quad (18)$$

или, с учётом (16),

$$IR = \mathcal{E} - Ir.$$

## Закон Ома для замкнутой цепи

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

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}. \quad (19)$$

Внешнее и внутреннее сопротивления цепи соединены последовательно, поэтому полное сопротивление цепи равно их сумме.

Обычно внешнее сопротивление значительно превосходит внутреннее ( $R \gg r$ ), так что

$$I \approx \frac{\mathcal{E}}{R}. \quad (20)$$

При коротком замыкании, когда  $R \rightarrow 0$ , сила тока увеличивается до

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}}{r},$$

возрастая по сравнению с обычным значением (20) в  $R/r$  раз.

Например, если лампочка фары автомобиля имеет сопротивление  $R = 10$  Ом, а внутреннее сопротивление аккумулятора  $r = 0,01$  Ом, то сила тока может возрасти в 1000 раз. Такое возрастание силы тока может привести к выделению большого количества теплоты и стать причиной пожара. Чтобы избежать этого, в цепь последовательно включают предохранители, которые плавятся при увеличении силы тока сверх нормы и размыкают электрическую цепь.

В О П Р О С Ы

1. Как определить направление тока в замкнутой цепи?
2. От чего зависит разность потенциалов между полюсами источника тока?
3. Что такое внешнее сопротивление цепи?
4. Чему равно напряжение на зажимах источника тока?
5. Сформулируйте и запишите закон Ома для замкнутой цепи.

З А Д А Ч И

1. В замкнутой цепи, содержащей источник тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 12$  В, сила тока  $I = 2$  А. Напряжение на зажимах источника  $U = 10$  В. Найдите внутреннее сопротивление источника  $r$  и сопротивление нагрузки.
2. При замыкании источника тока на резистор сопротивлением  $R_1 = 10$  Ом сила тока в цепи  $I_1 = 1$  А, а при замыкании на резистор сопротивлением  $R_2 = 4$  Ом сила тока  $I_2 = 2$  А. Найдите ЭДС источника и его внутреннее сопротивление.

3. В цепи, содержащей источник с ЭДС  $\mathcal{E} = 6$  В, замкнутый на внешнее сопротивление  $R = 9$  Ом, сила тока  $I = 0,6$  А. Найдите внутреннее сопротивление источника тока и силу тока короткого замыкания.

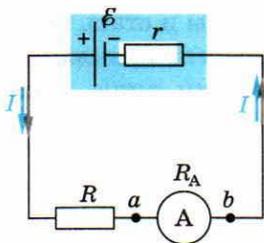
## § 8. Измерение силы тока и напряжения

**Амперметр.** Электрические приборы для измерения силы тока и напряжения бывают *цифровые* и *аналоговые*.

В качестве цифровых приборов используют электронные устройства, усиливающие электрический сигнал, количественно оценивающие (оцифровывающие) его и выводящие информацию на дисплей.

В наиболее часто встречающихся в школе аналоговых приборах используется поворот катушки в магнитном поле при протекании по ней электрического тока. Количественное измерение силы тока оказывается возможным, так как угол поворота рамки пропорционален силе тока, протекающего через неё (см. § 14).

**Амперметр — прибор для измерения силы электрического тока.**



### ▲ 22

*Включение в цепь амперметра*

Амперметр включается в цепь последовательно. Включение амперметра увеличивает сопротивление цепи (рис. 22), которое становится равным

$$R_{\text{ц}} = r + R + R_A.$$

Следовательно, амперметр покажет силу тока, меньшую, чем та, которая была до его включения. Для того чтобы включение амперметра не влияло на работу цепи, сопротивление амперметра должно быть малым по сравнению с сопротивлением цепи:  $R_A \ll (r + R)$ .

**Вольтметр.** Измерение разности потенциалов оказывается возможным, так как угол поворота катушки в магнитном поле пропорционален приложенному к ней напряжению.

**Вольтметр — прибор для измерения электрического напряжения.**

Принцип действия вольтметра такой же, как и у амперметра. При силе тока  $I$ , протекающего через вольтметр, он показывает напряжение  $U = IR_V$ . Вольтметр включается параллельно тому участку цепи, напряжение на котором измеряется (рис. 23).

Включение вольтметра уменьшает сопротивление участка цепи, которое становится равным

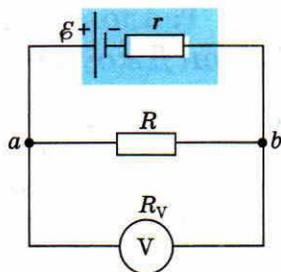
$$R_{ab} = \frac{R_V R}{R_V + R} = \frac{R}{1 + R/R_V}.$$

Следовательно, вольтметр покажет напряжение  $U_{ab}$ , меньше того, что было до его включения.

Для того чтобы включение вольтметра не искажало напряжение в цепи, сопротивление вольтметра должно значительно превосходить сопротивление цепи:  $R_V \gg R$ . В этом случае  $R_{ab} \approx R$ .

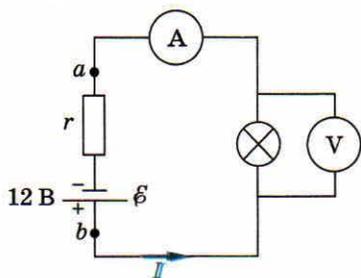
Обычно сопротивление вольтметра  $R_V \geq 1 \text{ МОм}$ .

Пример включения амперметра и вольтметра в электрическую цепь показан на рисунке 24.



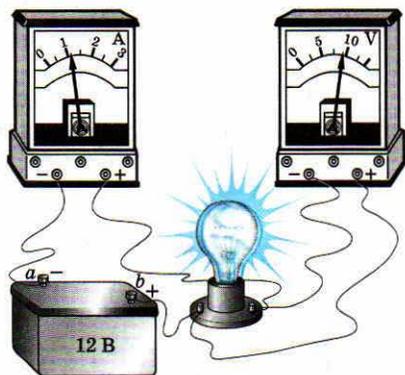
▲ 23

Включение в цепь вольтметра



▲ 24

Амперметр и вольтметр в электрической цепи



В О П Р О С Ы

1. В чём отличие цифровых и аналоговых электрических приборов?
2. Для измерения какой физической величины используется амперметр?
3. Почему сопротивление амперметра должно быть малым? Насколько малым?
4. Для измерения какой физической величины используется вольтметр?
5. Почему сопротивление вольтметра должно быть большим? Насколько большим?