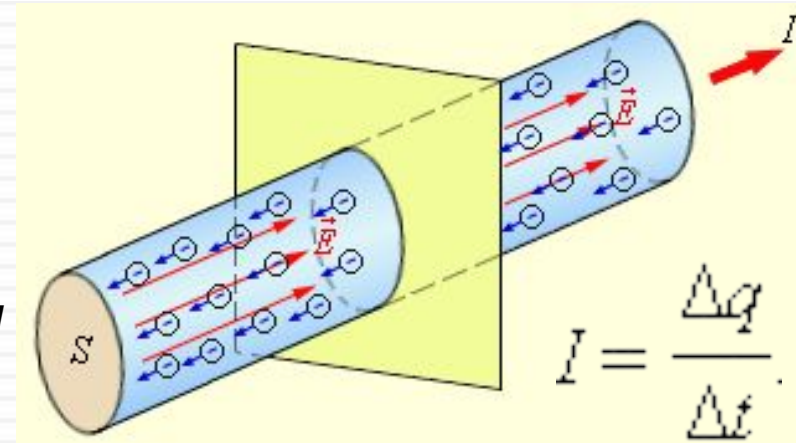


# ***ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА***



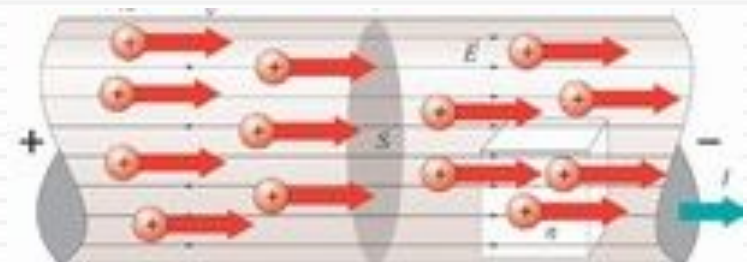
# Электрический ток. Сила тока, напряжение, электрическое сопротивление.

- Непрерывное **упорядоченное** движение свободных носителей электрического заряда называется **электрическим током**.
- **Сила тока  $I$**  – скалярная физическая величина, равная **отношению заряда  $\Delta q$** , переносимого через поперечное сечение проводника (рис. 1.8.1) **за интервал времени  $\Delta t$** , к этому интервалу времени:
- В Международной системе единиц СИ сила тока измеряется в **амперах (А)**.
- **Напряжение** — это отношение работы тока на определенном участке электрической цепи к заряду, протекающему по этому же участку цепи.
- Единицей измерения напряжения станет 1 **вольт**
- **1 Дж/Кл = 1В.**
- За **направление тока** принимается **направление движения положительных зарядов**



$S$  – площадь поперечного сечения проводника,  
 $\vec{E}$  – электрическое поле

$$U = \phi_2 - \phi_1 = \frac{A}{q}$$



Электрический ток. Сила тока, напряжение, электрическое сопротивление.

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



Электрическое сопротивление

физическая величина, характеризующая проводника и равная отношению напряжения на концах проводника к протекающему по нему электрическому току.

Материал	Удельное сопротивление (Ом · м)	Удельное сопротивление (Ом · мм <sup>2</sup> /м)
Алюминий	$2,82 \cdot 10^{-8}$	0,0282
Висмут	$1,2 \cdot 10^{-6}$	1,2
Вольфрам	$5,5 \cdot 10^{-8}$	0,055
Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$	0,098
Золото	$2,42 \cdot 10^{-8}$	0,0242
Константан	$4,9 \cdot 10^{-7}$	0,49
Латунь	$8 \cdot 10^{-8}$	0,08

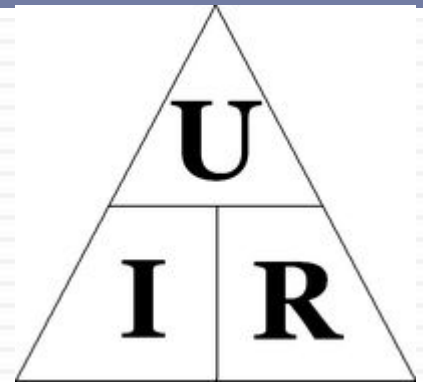
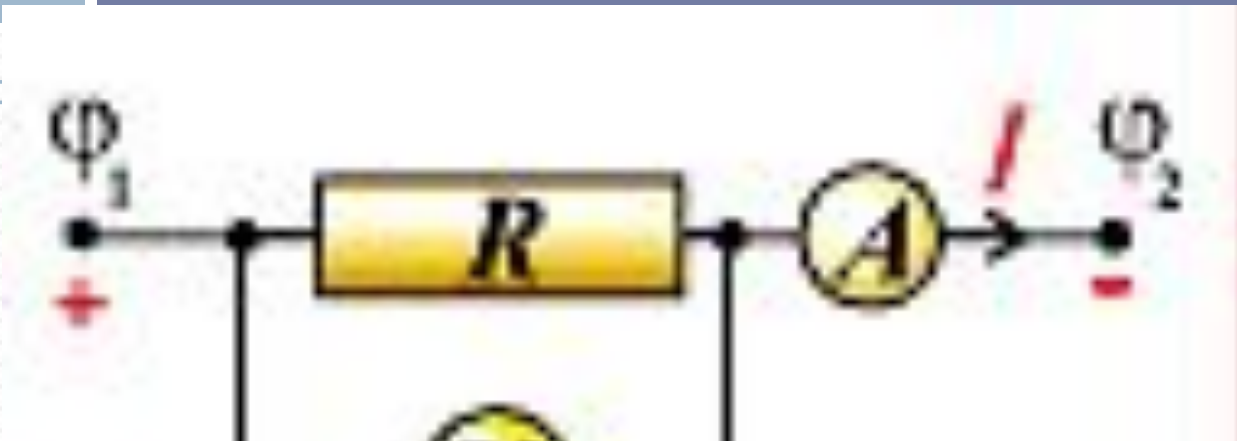
где  $\rho$  — удельное сопротивление проводника,

$l$  — длина проводника,

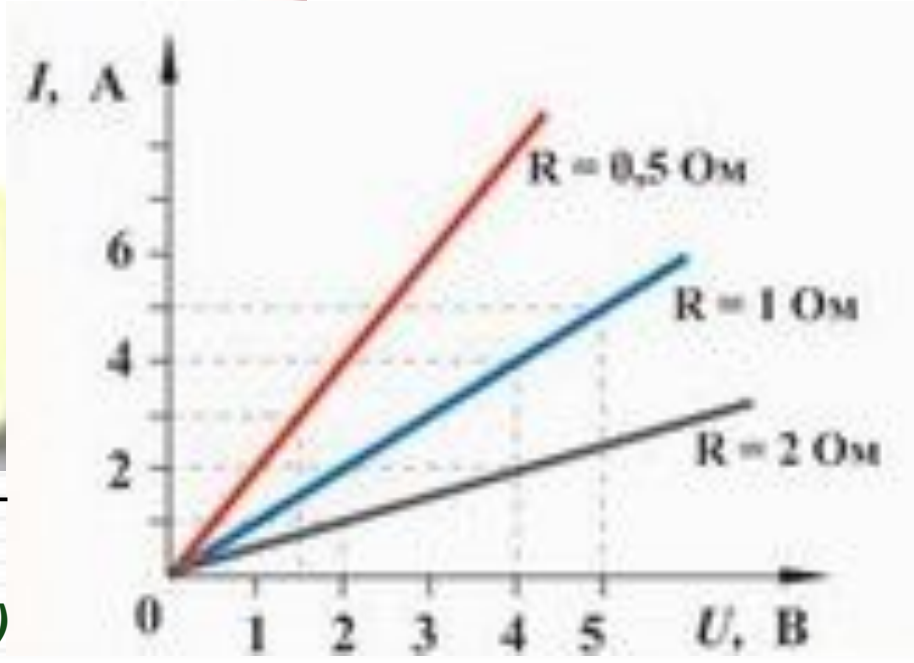
$S$  — площадь сечения.

# Закон Ома для участка цепи

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



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



Графическая зависимость силы тока  $I$  от напряжения  $U$  (такие графики называются **вольт-амперными характеристиками**)

# Электродвижущая сила

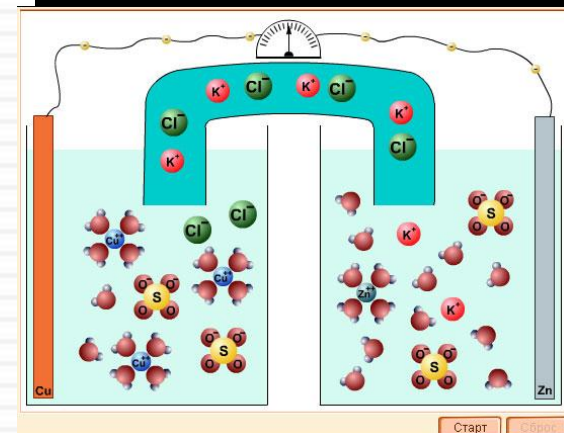
$$\text{ЭДС} = \delta = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$$

Для существования постоянного тока необходимо наличие в электрической цепи устройства, способного создавать и поддерживать разности потенциалов на участках цепи за счет работы сил неэлектростатического происхождения. Такие устройства называются **источниками постоянного тока**.

Силы неэлектростатического происхождения, действующие на свободные носители заряда со стороны источников тока, называются **сторонними силами**.

Физическая величина, равная отношению работы  $A_{\text{ст}}$  сторонних сил при перемещении заряда  $q$  от отрицательного полюса источника тока к положительному к величине этого заряда, называется **электродвижущей силой источника (ЭДС)**:

Электродвижущая сила, как и разность потенциалов, измеряется в **вольтах (В)**.



# СОЕДИНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

## Последовательное



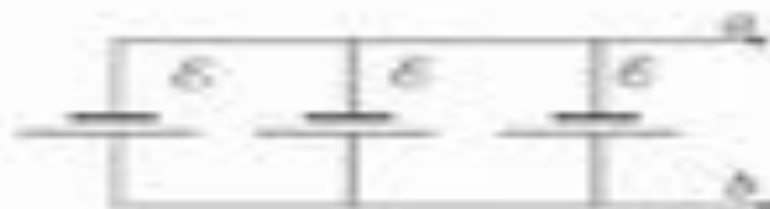
$$U_{\text{вс}} = n\epsilon$$



## Параллельное



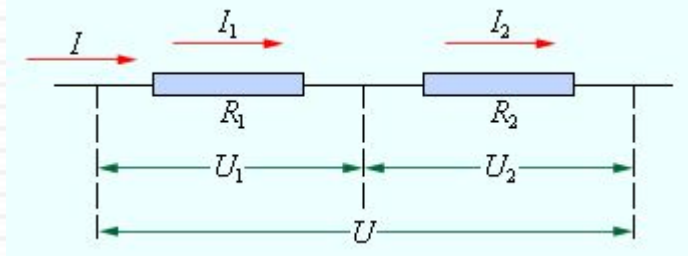
$$U_{\text{вс}} = \epsilon$$



c  
b

# Параллельное и последовательное соединение проводников

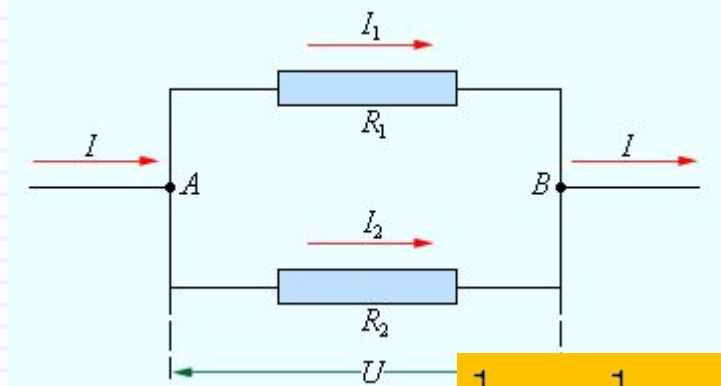
При последовательном соединении



- $I_1 = I_2 = I$
- $U = U_1 + U_2 = IR$
- $R = R_1 + R_2$

□ При последовательном соединении полное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений отдельных

При параллельном соединении



- $U_1 = U_2 = U$
- $I = I_1 + I_2$

□ При параллельном соединении проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлениям параллельно включенных проводников.

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

# Работа электрического тока.

## Закон Джоуля-Ленца

- Работа электрического тока:

- $\Delta A = UI \Delta t$

- Закон Джоуля-Ленца:

- $\Delta Q = \Delta A = RI^2 \Delta t$

### Закон Джоуля-Ленца



Работа  $A$  электрического поля по перемещению заряда равна:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2), \text{ Дж}$$

Работа тока ( $q = It$ )

$$A = It(\varphi_1 - \varphi_2) = IUt$$

Закон Ома

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

Закон Джоуля-Ленца

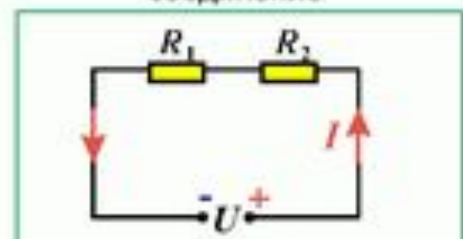
$$Q = A = IUt = \frac{U^2}{R} t = I^2 Rt$$

Мощность тока

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

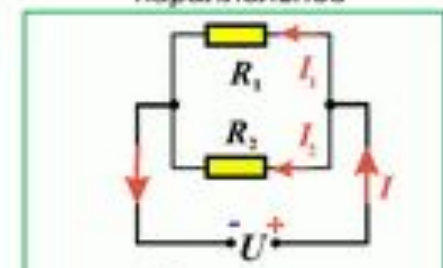
### Теплота, выделяемая в проводниках

последовательное соединение



$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= IR_1^2 t \\ Q_2 &= IR_2^2 t \end{aligned} \right\} \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

параллельное



$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \frac{U^2}{R_1} t \\ Q_2 &= \frac{U^2}{R_2} t \end{aligned} \right\} \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$$



# Мощность электрического тока

## МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

$$P = \frac{A}{t}$$

$$P = UI$$

Единица мощности

ватт (Вт)

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

ватт-час (Вт·ч)

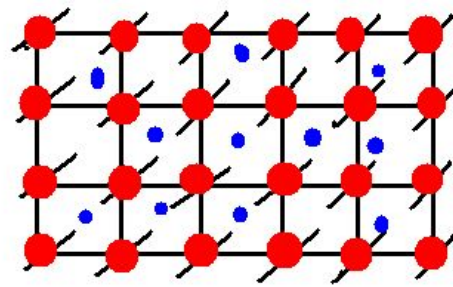
$$1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж}$$

# Носители электрического заряда в различных средах

Электрический ток может протекать в пяти  
**различных средах:**

- Металлах
- Вакууме
- Полупроводниках
- Жидкостях
- Газях

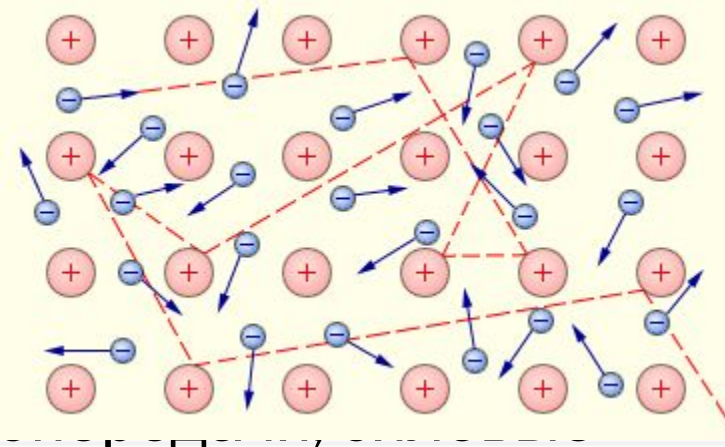
# Электрический ток в металлах:



СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛА

- ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ИОН
- ЭЛЕКТРОН

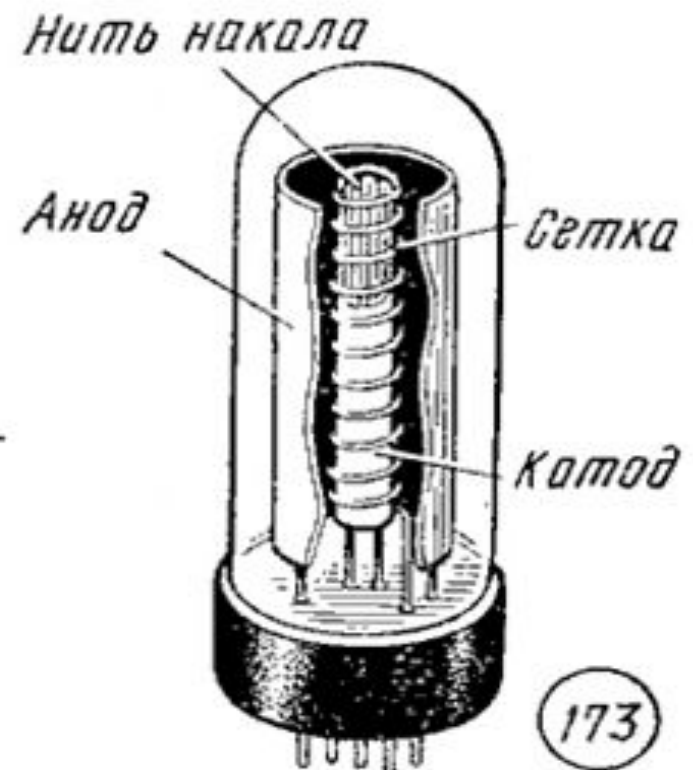
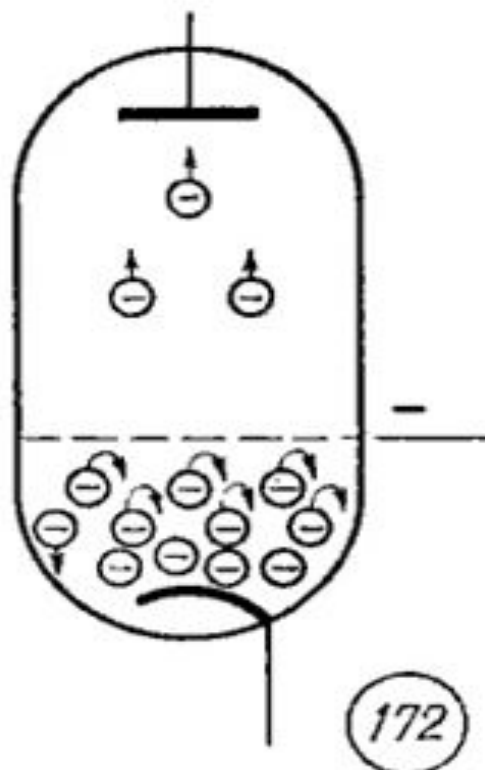
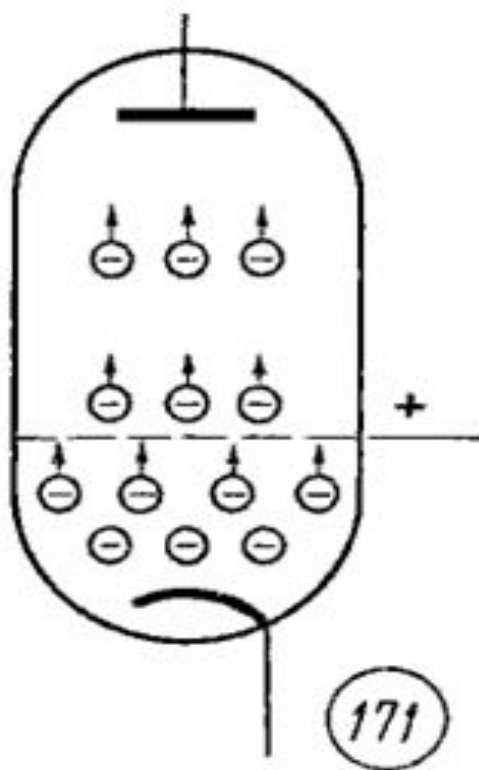
- Электрический ток **в металлах** – это упорядоченное движение **электронов** под действием электрического поля.
- Опыты показывают, что при протекании тока по металлическому проводнику **не происходит переноса вещества**, следовательно, ионы металла не принимают участия в переносе электрического заряда.
- Носителями заряда в металлах являются **электроны**;
- Процесс образования носителей заряда называется **обобществлением валентных электронов**.
- Сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника, выполняется **закон Ома**;
- Техническое применение электрического тока: обмотки двигателей, трансформаторы, проводка внутри зданий, сети электрических кабелей.



# Электрический ток в

## вакууме

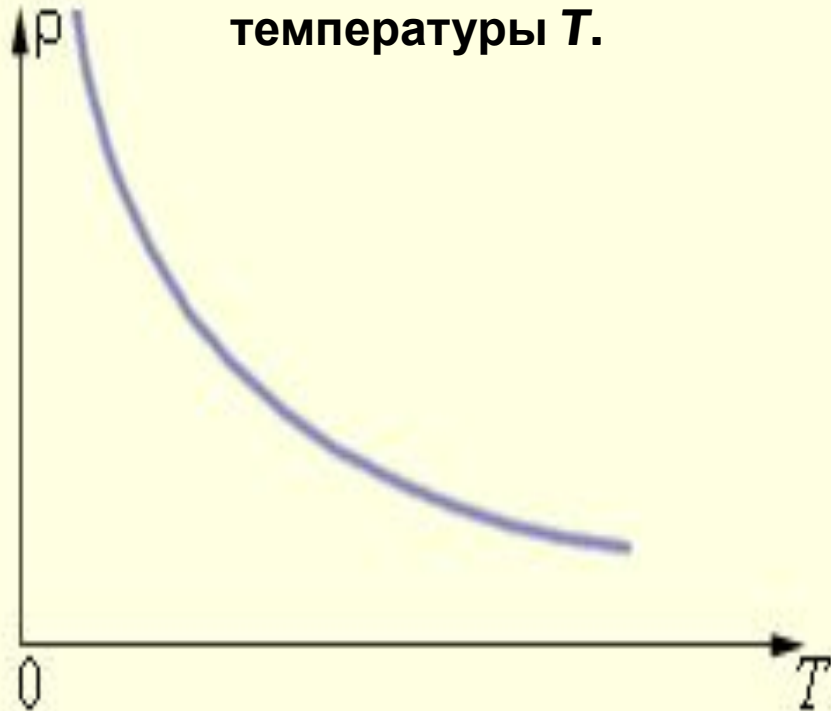
- вакуумный **ТРИОД** имеет **третий электрод** – сетку, знак потенциала на которой



# Электрический ток в полупроводниках

- **Полупроводники** - твердые вещества, проводимость которых зависит от внешних условий (в основном от нагревания и от освещения).
- При **нагревании** или **освещении** некоторые электроны приобретают возможность свободно перемещаться внутри кристалла, так что при приложении электрического поля **возникает направленное перемещение электронов**.
- полупроводники представляют собой **нечто среднее между проводниками и изоляторами**.
- У полупроводников **с понижением температуры сопротивление возрастает** и вблизи абсолютного нуля они практически становятся изоляторами.

Зависимость удельного сопротивления  $\rho$  чистого полупроводника от абсолютной температуры  $T$ .

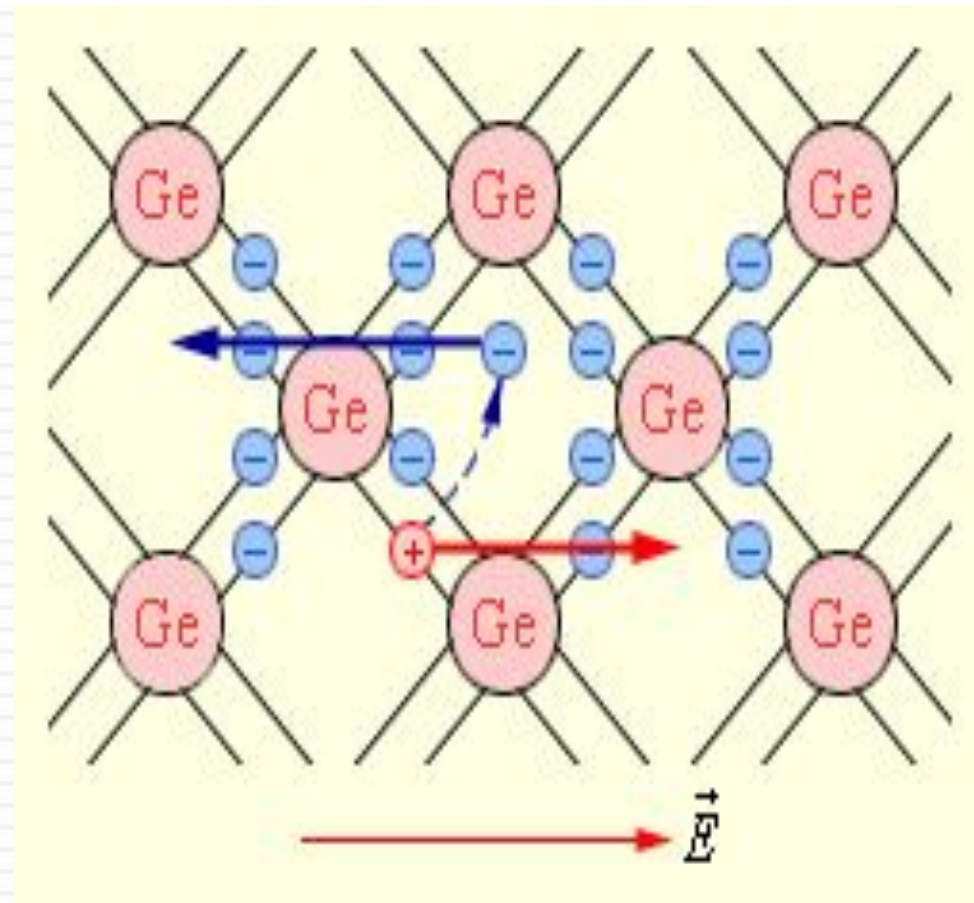


# Выводы:

1. **носители заряда – электроны и дырки;**
2. **процесс образования носителей заряда – нагревание, освещение или внедрение примесей;**
3. **закон Ома не выполняется;**
4. **техническое применение – электроника.**

# Образование электронно-дырочной пары

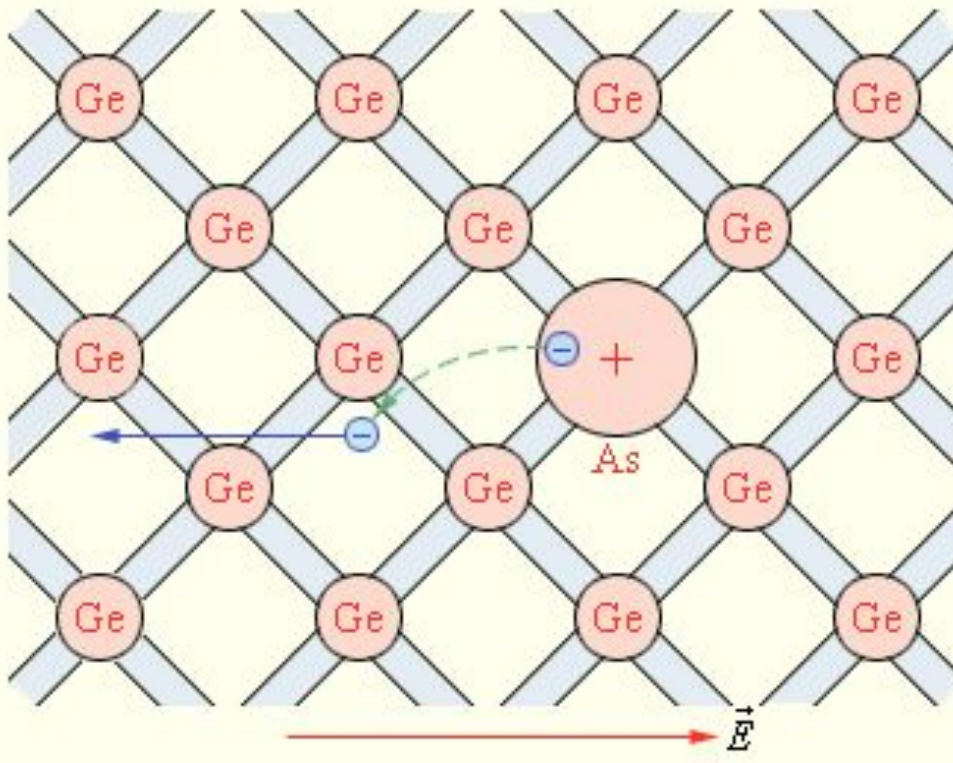
- При повышении температуры или увеличении освещенности в кристалле возникнут **свободные электроны** (**электроны проводимости**).
- одновременно в местах разрыва связей **образуются вакансии**, которые не заняты электронами. Эти вакансии получили название «**дырок**».
- Проводимость полупроводников при наличии примесей называется **примесной проводимостью**.



Возникает два типа

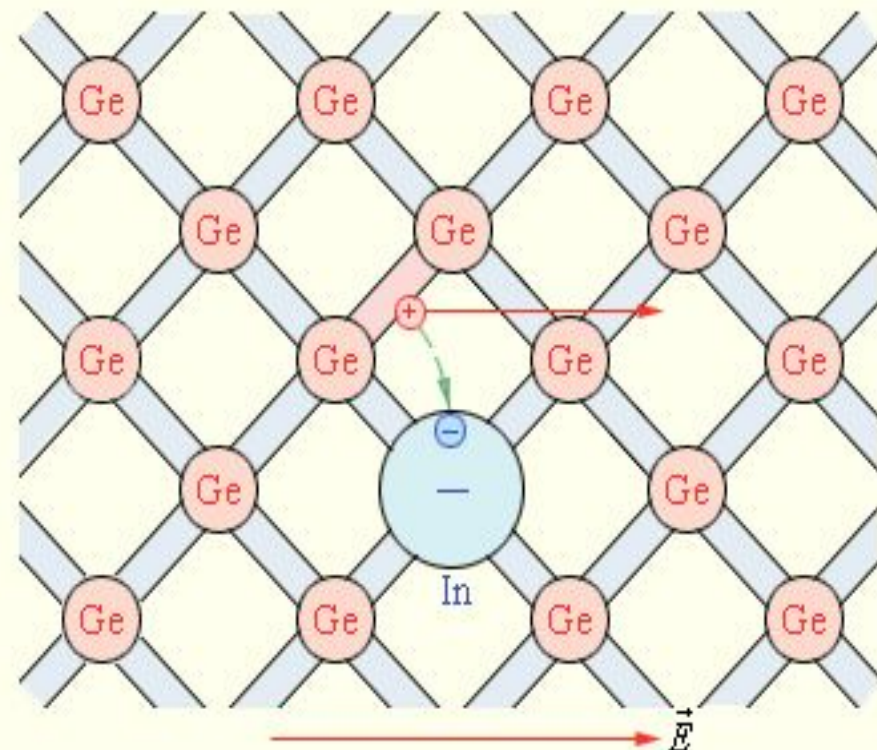
# Электронная и дырочная проводимости.

## Электронная проводимость



□ **ПОЛУПРОВОДНИК *n*-типа.**  
Атом мышьяка в решетке германия.  
***n*-тип.**  
Полупроводник *n*-типа.

## Дырочная проводимости



Атом индия в решетке германия.  
Полупроводник *p*-типа.

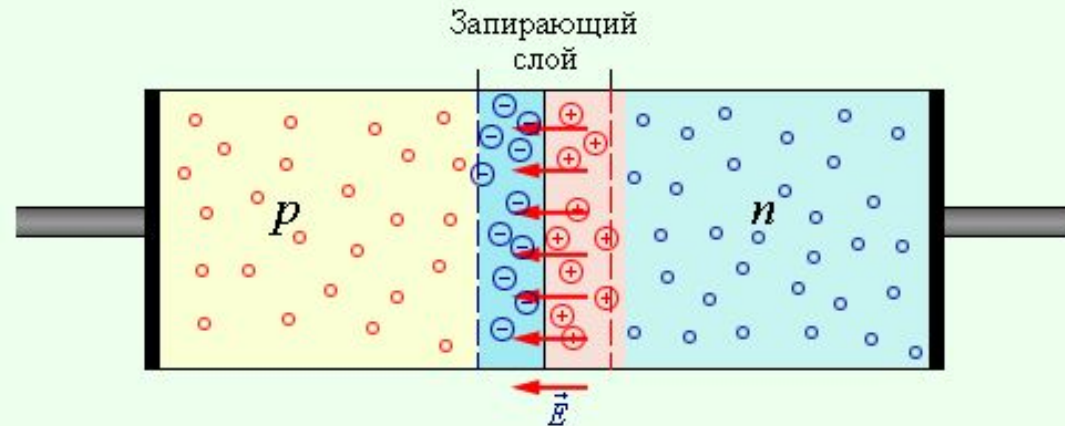


# Электронно-дырочный переход.

Электронно-дырочный переход (или *n-p-переход*) – это область контакта двух полупроводников с разными типами проводимости.

При контакте двух полупроводников *n*- и *p*-типов начинается процесс диффузии: дырки из *p*-области переходят в *n*-область, а электроны, наоборот, из *n*-области в *p*-область.

Пограничная область раздела полупроводников с разными типами проводимости (так называемый запирающий слой) обычно достигает толщины порядка десятков и сотен межатомных расстояний.

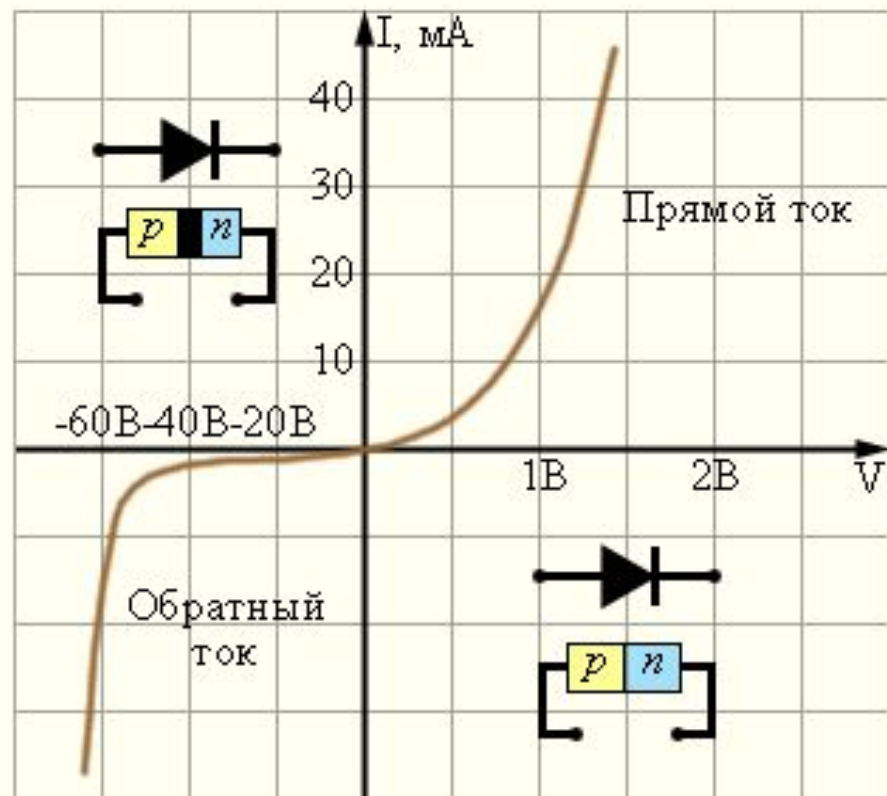


# Ток в прямом направлении

- Если  $n$ - $p$ -переход соединить с источником так, чтобы **положительный полюс** источника был соединен с  $p$ -областью, а **отрицательный с  $n$ -областью**, то **напряженность электрического поля в запирающем слое будет уменьшаться**.

- Дырки из  $p$ -области и электроны из  $n$ -области, **двигаясь навстречу друг другу**, будут пересекать  $n$ - $p$ -переход, создавая **ток в прямом направлении**.

- Сила тока** через  $n$ - $p$ -переход в этом случае **будет возрастать** при увеличении напряжения источника



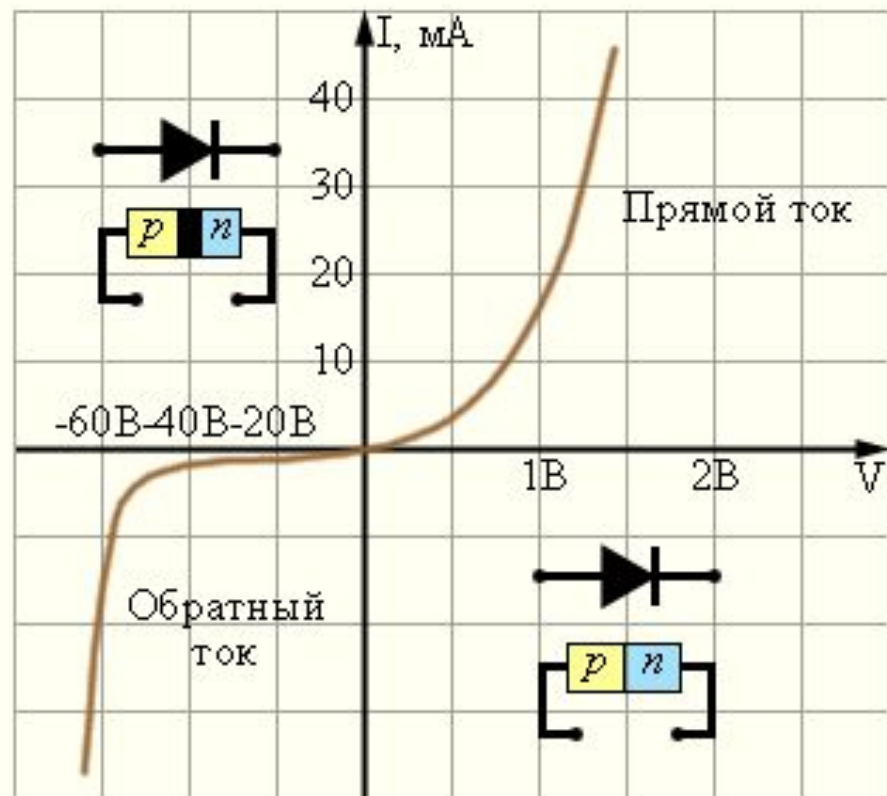
# Ток в обратном направлении

- Если полупроводник с  $n$ - $p$ -переходом подключен к источнику тока так, что **положительный полюс** источника соединен с  **$n$ -областью**, а **отрицательный - с  $p$ -областью**, то напряженность поля в запирающем слое возрастает

- Дырки в  $p$ -области и электроны в  $n$ -области **будут смещаться от  $n$ - $p$ -перехода**, увеличивая тем самым концентрации неосновных носителей в запирающем слое.

- Ток через  $n$ - $p$ -переход практически не идет.**

- Напряжение, поданное на  $n$ - $p$ -



# Транзистор

Полупроводниковые приборы не с одним, а с двумя **n-p-переходами** называются **транзисторами**.

Название происходит от сочетания английских слов: **transfer** – **переносить** и **resistor** – **сопротивление**.

Обычно для создания транзисторов используют **германий** и **кремний**.

Транзисторы бывают двух типов: **p-n-p-транзисторы** и **n-p-n-транзисторы**.

В транзисторе **n-p-n-типа** **основная** германиевая пластинка **обладает проводимостью p-типа**, а созданные на ней две области – проводимостью **n-типа**.

Пластинку транзистора называют **базой (Б)**,

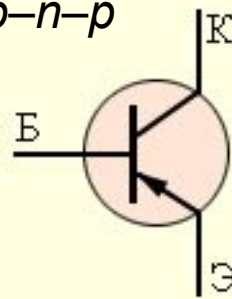
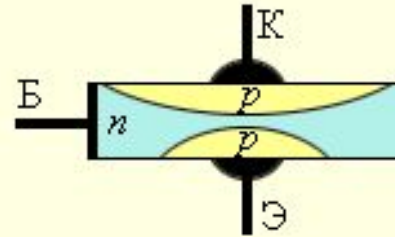
одну из областей с противоположным типом проводимости – **коллектором (К)**,

вторую – **эмиттером (Э)**.

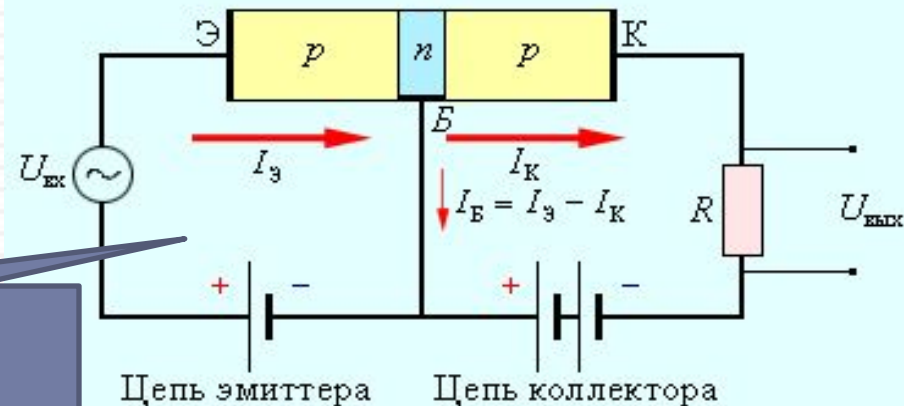
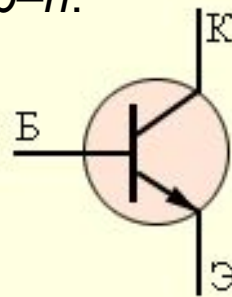
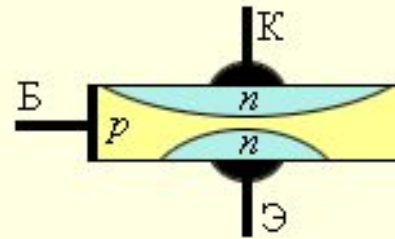
В условных обозначениях разных структур **стрелка эмиттера показывает направление тока**.

Включение в цепь транзистора p-n-p-структуры

Транзистор структуры p-n-p



Транзистор структуры n-p-n.



# Электрический ток в жидкостях

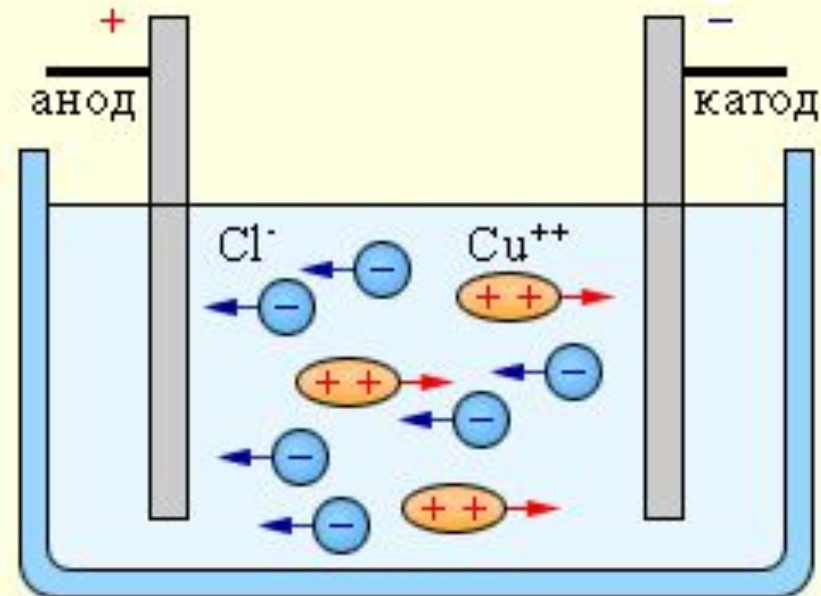
**Электролитами** принято называть **проводящие среды**, в которых протекание электрического тока **сопровождается переносом вещества**.

Носителями свободных зарядов в электролитах являются **положительно и отрицательно заряженные ионы**.

Электролитами являются **водные растворы** неорганических кислот, солей и щелочей, **расплавы**

Сопротивление электролитов **падает с ростом температуры**, так как с ростом температуры

электролиты



Электролиз водного раствора хлорида меди.

# Явление электролиза - это

выделение на электродах веществ,  
входящих в электролиты;

□ Положительно заряженные ионы (анионы) под действием электрического поля стремятся к отрицательному катоду,

□ а отрицательно заряженные ионы (катионы) - к положительному аноду,

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} It$$

$$F = eN_A = 96485 \text{ Кл / моль.}$$

$F = eN_A$  - постоянная Фарадея.

- Закон Фарадея определяет количества первичных продуктов, выделяющихся на электродах при электролизе:
- Масса  $m$  вещества, выделившегося на электроде, прямо пропорциональна заряду  $Q$ , прошедшему через электролит:

$$\bullet m = kQ = kIt$$

• Величину  $k$  называют электрохимическим эквивалентом.

$$k = \frac{m}{q_0} = \frac{m}{neN_A} = \frac{1}{F} \frac{M}{n}$$

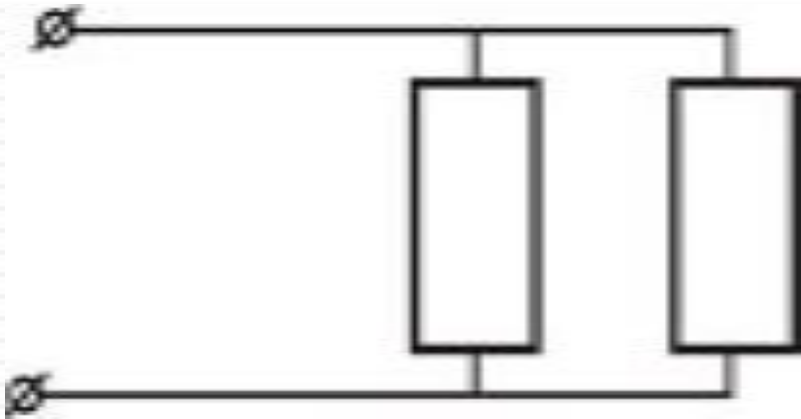
# Вывод:

- **носители заряда – положительные и отрицательные ионы;**
- **процесс образования носителей заряда – электролитическая диссоциация;**
- **электролиты подчиняются закону Ома;**
- **Применение электролиза :**
  - получение цветных металлов (очистка от примесей - рафинирование);*
  - гальваностегия - получение покрытий на металле (никелирование, хромирование, золочение, серебрение и т.д. );*
  - гальванопластика - получение отслаиваемых покрытий (рельефных копий).*

Рассмотрим задачи:



. Сопротивление каждого резистора на участке цепи, изображенном на рисунке, равно 3 Ом. Найдите общее сопротивление участка.

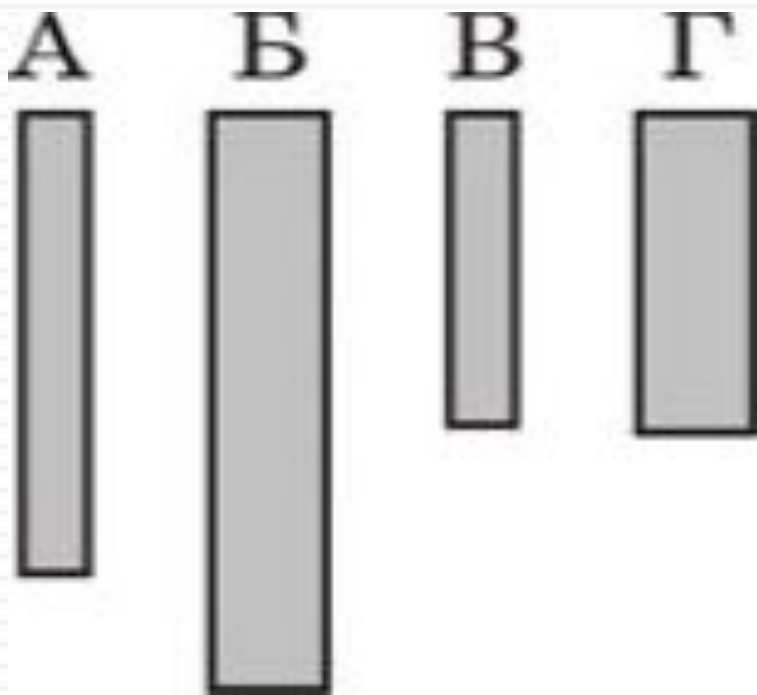


1. **2/3 Ом**
2. **1,5 Ом**
3. **3 Ом**
4. **6 Ом**

При ремонте электроплитки ее спираль укоротили в 2 раза. Как изменилась мощность электроплитки?

1. увеличилась в 2 раза
2. увеличилась в 4 раза
3. уменьшилась в 2 раза
4. уменьшилась в 4 раза

Необходимо экспериментально проверить, зависит ли электрическое сопротивление круглого угольного стержня от его диаметра. Какие использовать для такой проверки?



1. А и Г
2. Б и В
3. Б и Г
4. В и Г

нагревательного элемента  
электрического чайника 20 Ом.

Определите мощность тока,  
проходящего через

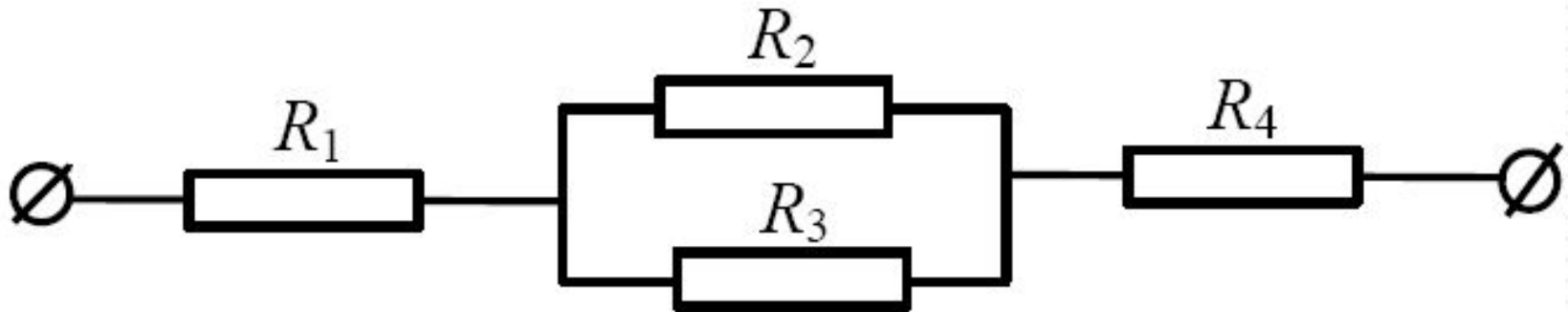
нагревательный элемент при

на  $U = 110$  В. Ответ: \_\_\_\_\_ Вт

$$P = U^2 / R$$

2420

Чему равно общее сопротивление участка цепи, изображенного на рисунке, если  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 5 \text{ Ом}$ ?



1. 9 Ом
2. 11 Ом
3. 16 Ом
4. 26 Ом

соединены последовательно и включены в сеть с напряжением 220 В. Через какое время на этой плитке закипит вода массой 1 кг, если ее начальная температура составляла 20°C, а КПД процесса

80%  
ЭНЭ  
наг

*Дано:*  
 $R_1 = R_2 = R = 10 \text{ Ом}$   
 $U = 220 \text{ В}$   
 $m = 1 \text{ кг}$   
 $t_1^\circ = 20 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $t_2^\circ = 100 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $\eta = 0,8$   
 $c = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{ }^\circ\text{C)}$

$t — ?$

$$A\eta = Q$$

$$A = \frac{U^2}{2R}t; Q = mc(t_2^\circ - t_1^\circ);$$

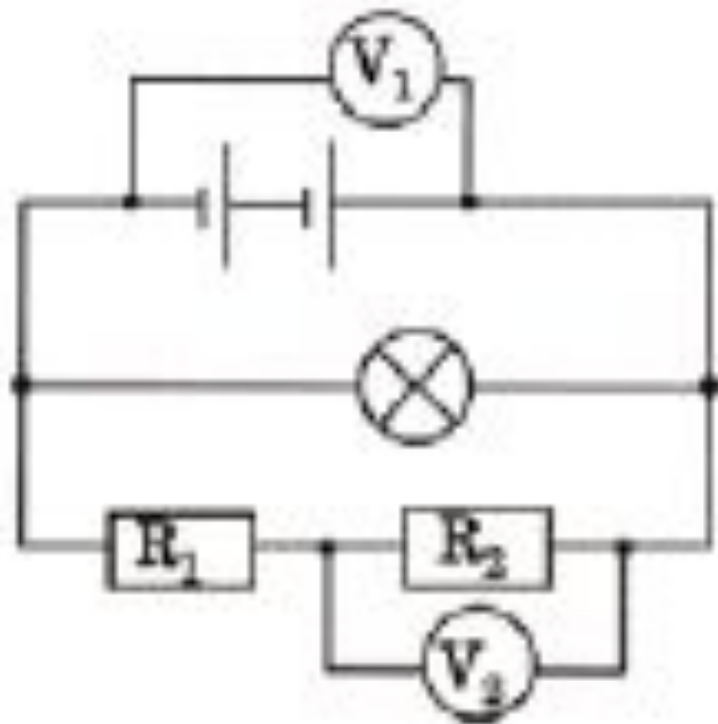
$$\eta \frac{U^2}{2R}t = mc(t_2^\circ - t_1^\circ);$$

$$t = \frac{cm(t_2^\circ - t_1^\circ)2R}{U^2\eta}.$$

*Ответ:*  $t \approx 174 \text{ с.}$

рисунок) вольтметр  $V_1$   
показывает напряжение 2 В,  
вольтметр  $V_2$  – напряжение  
0,5 В. Напряжение  
равно

1. 0,5 В
2. 1,5 В
3. 2 В
4. 2,5 В



разными резисторами, измеряя значения

силы тока, проходящего через них при разных напряжениях на

$U, \text{В}$	0	1	2	3
$I_1, \text{А}$	0	0,2	0,4	0,6
$I_2, \text{А}$	0	0,1	0,3	0,6

ПРЯМАЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ СИЛОЙ ТОКА В РЕЗИСТОРЕ И НАПРЯЖЕНИЕМ НА КОНЦАХ РЕЗИСТОРА

1. выполняется только для первого резистора
2. выполняется только для второго резистора
3. выполняется для обоих резисторов
4. не выполняется для обоих резисторов



Среднее время разрядов молнии равно 0,002 с. Сила тока в канале молнии около  $2 \cdot 10^4$  А. Какой заряд проходит по каналу молнии?

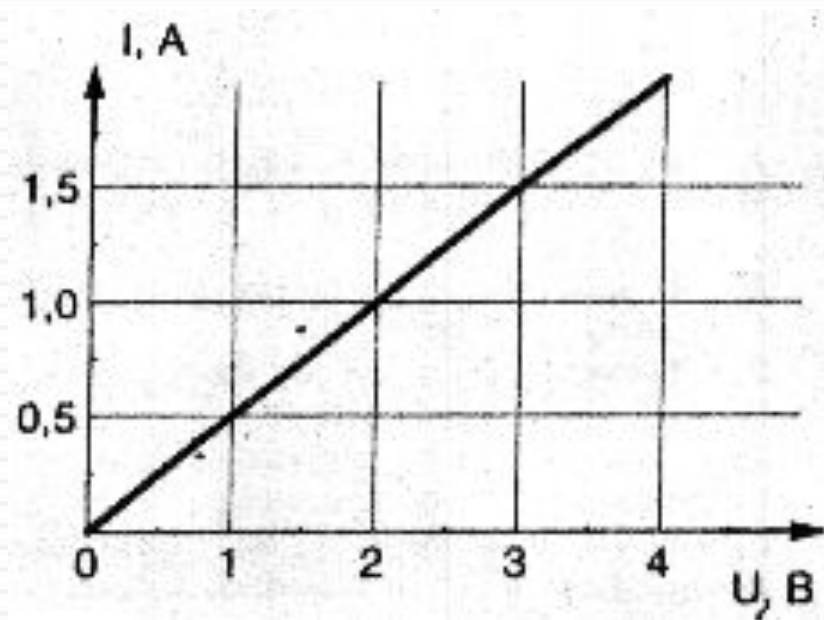
1. 40 Кл
2.  $10^{-7}$  Кл
3. 10 Кл
4.  $4 \cdot 10^{-8}$  Кл

Спираль электрической плитки нагревается при прохождении через нее электрического тока. С каким из приведенных ниже утверждений вы согласны?

1. Внутренняя энергия спирали увеличивается.
2. Внутренняя энергия спирали уменьшается.
3. Внутренняя энергия спирали не изменяется.
4. Механическая энергия спирали увеличивается.

Исследуя зависимость силы тока от напряжения на концах резистора, ученик получил изображенный на рисунке график. По этому графику он рассчитал значение сопротивления резистора, которое оказалось равным ...

1. 0,5 Ом
2. 1 Ом
3. 1,5 Ом
4. 2 Ом



альванический элемент с ЭДС  $1,6\text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $0,3\text{ Ом}$  замкнут проводником с сопротивлением  $3,7\text{ Ом}$ . Сила тока в цепи равна...

1.  $0,3\text{ А}$ .
2.  $0,4\text{ А}$ .
3.  $2,5\text{ А}$ .
4.  $6,4\text{ А}$ .

В каких из перечисленных ниже технических устройствах использованы достижения в области физики полупроводников?

А. солнечная батарея

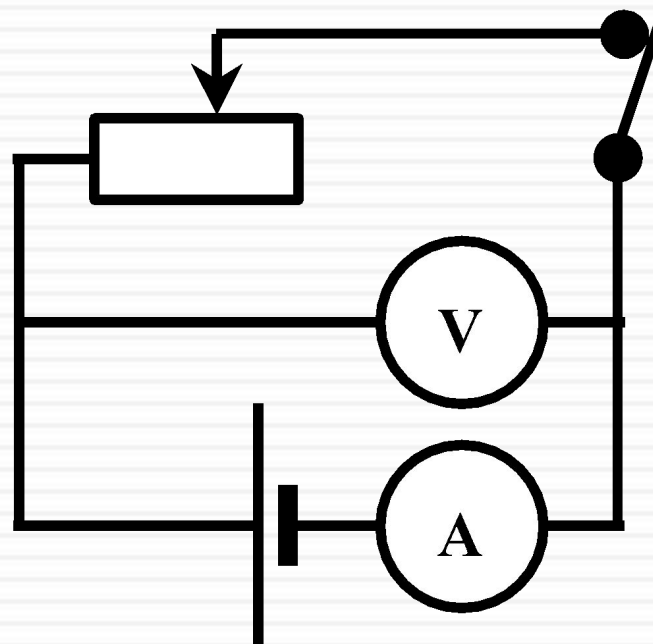
Б. компьютер

В. радиоприемники

1. только в А
2. только в Б
3. только в В
4. и в А, и в Б, и в В

В электрической цепи, изображенной на рисунке, ползунок реостата перемещают вправо. Как изменились при этом показания вольтметра и амперметра?

1. показания обоих приборов увеличились
2. показания обоих приборов уменьшились
3. показания амперметра увеличились, вольтметра уменьшились
4. показания амперметра уменьшились, вольтметра увеличились



Сопротивление резистора увеличили в 2 раза, а приложенное к нему напряжение уменьшили в 2 раза. Как изменилась сила тока, протекающего через резистор?

1. уменьшилась в 2 раза
2. увеличилась в 4 раза
3. уменьшилась в 4 раза
4. не изменилась

В четырехвалентный кремний добавили в первый раз трехвалентный индий, а во второй раз пентавалентный фосфор. Каким типом проводимости в основном будет обладать полупроводник в каждом случае?

1. в обоих случаях электронной
2. в I – электронной, во II – дырочной
3. в I – дырочной, во II – электронной
4. в обоих случаях дырочной



**Е**сли площадь поперечного сечения однородного цилиндрического проводника и электрическое напряжение на его концах увеличатся в 2 раза, то сила тока, протекающая по нему.

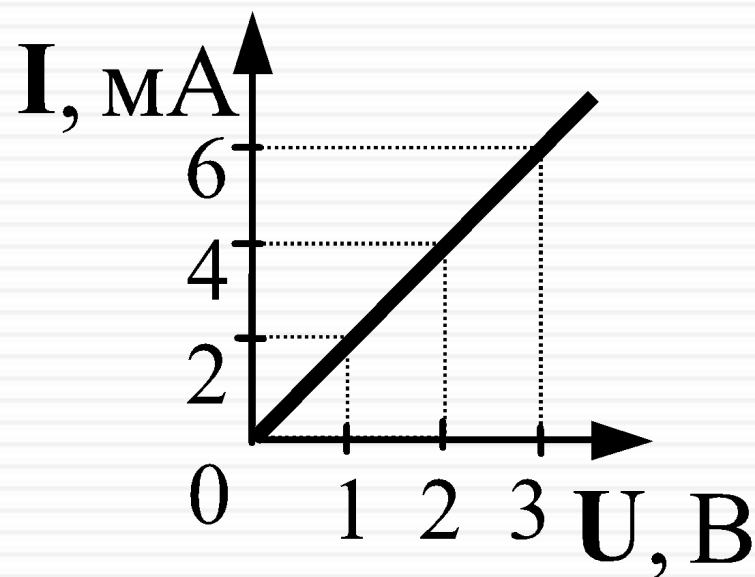
1. не изменится
2. увеличится в 2 раза
3. увеличится в 4 раза
4. уменьшится в 4 раза

Как изменится мощность, потребляемая электрической лампой, если, не изменяя её электрическое сопротивление, уменьшить напряжение на ней в 3 раза?

1. уменьшится в 3 раза
2. уменьшится в 9 раз
3. не изменится
4. увеличится в 9 раз

При увеличении напряжения  $U$  на участке электрической цепи сила тока  $I$  в цепи изменяется в соответствии с графиком (см. рисунок). Электрическое сопротивление на этом участке цепи равно

1. 2 Ом
2. 0,5 Ом
3. 2 мОм
4. 500 Ом

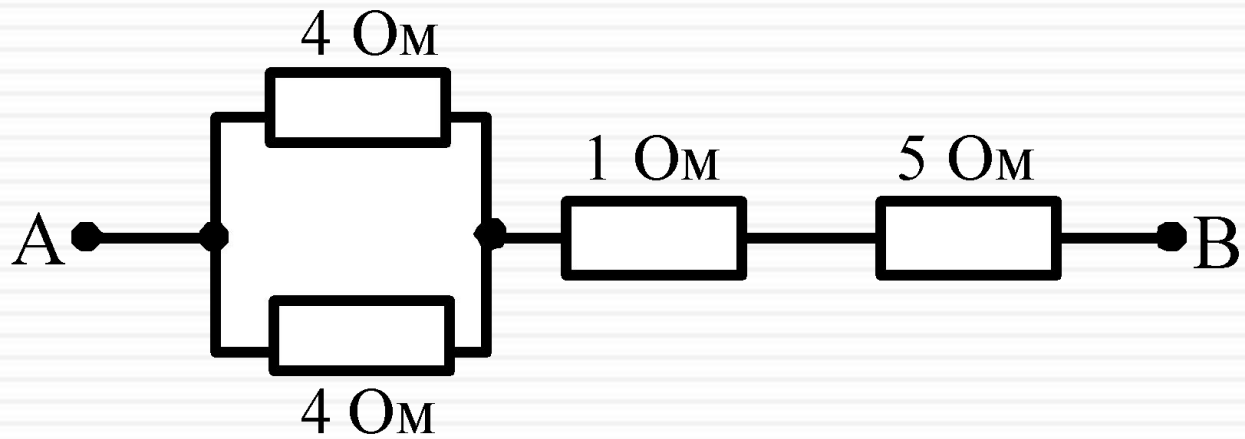


При силе тока в электрической цепи  $0,3$  А сопротивление лампы равно  $10$  Ом. Мощность электрического тока, выделяющаяся на нити лампы, равна

1.  $0,03$  Вт
2.  $0,9$  Вт
3.  $3$  Вт
4.  $30$  Вт

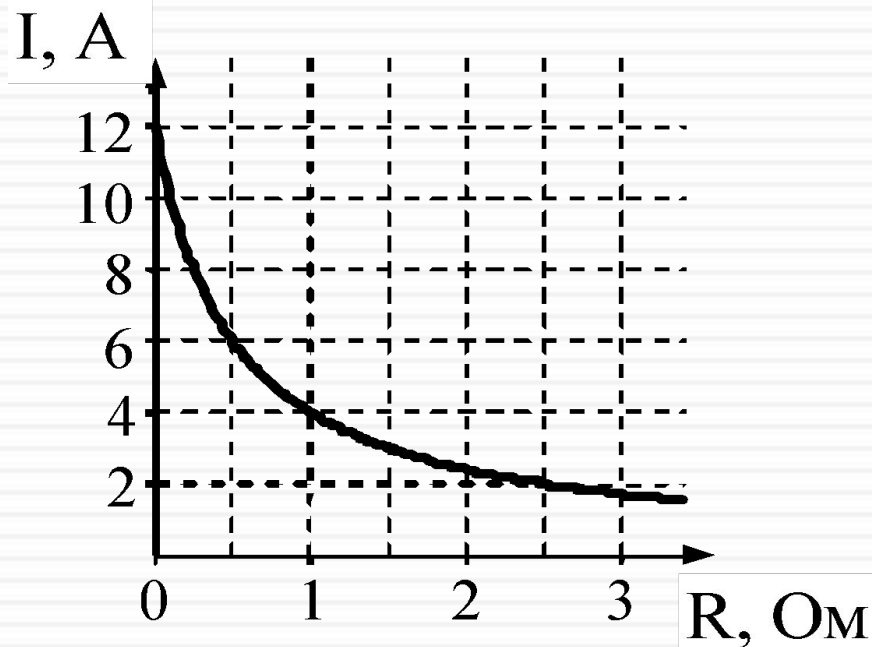
Сопротивление между точками А и В участка электрической цепи, представленной на рисунке, равно

1. 14 Ом
2. 8 Ом
3. 7 Ом
4. 6 Ом



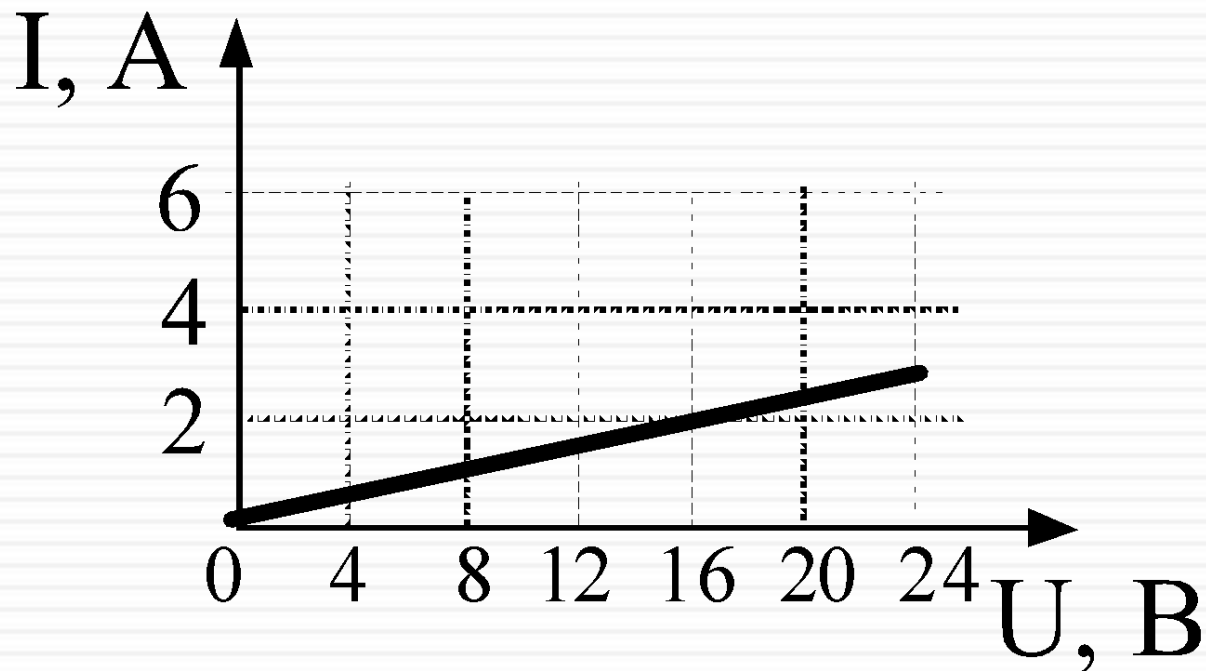
К источнику тока с ЭДС = 6 В подключили реостат. На рисунке показан график изменения силы тока в реостате в зависимости от его сопротивления. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

1. 0 Ом
2. 0,5 Ом
3. 1 Ом
4. 2 Ом



На рисунке изображен график зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах. Чему равно сопротивление проводника?

1. 0,125 Ом
2. 2 Ом
3. 16 Ом
4. 8 Ом



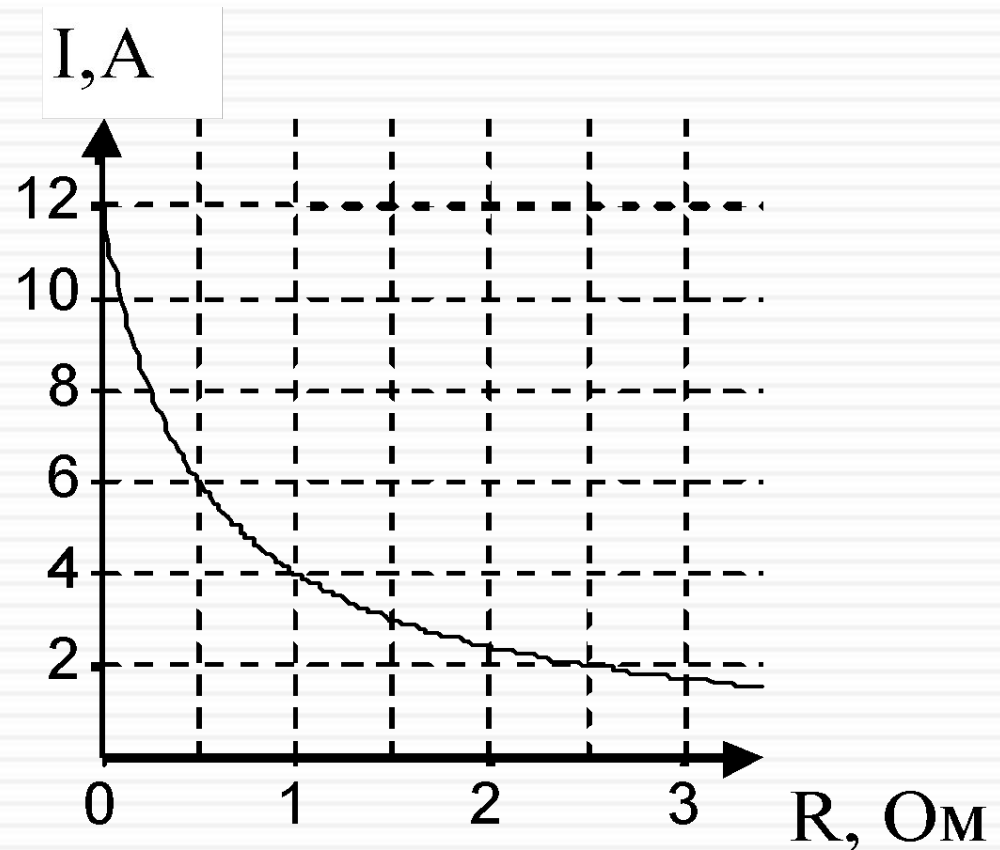
Какими носителями электрического заряда создается ток в водном растворе соли?

1. только ионами
2. электронами и «дырками»
3. электронами и ионами
4. только электронами



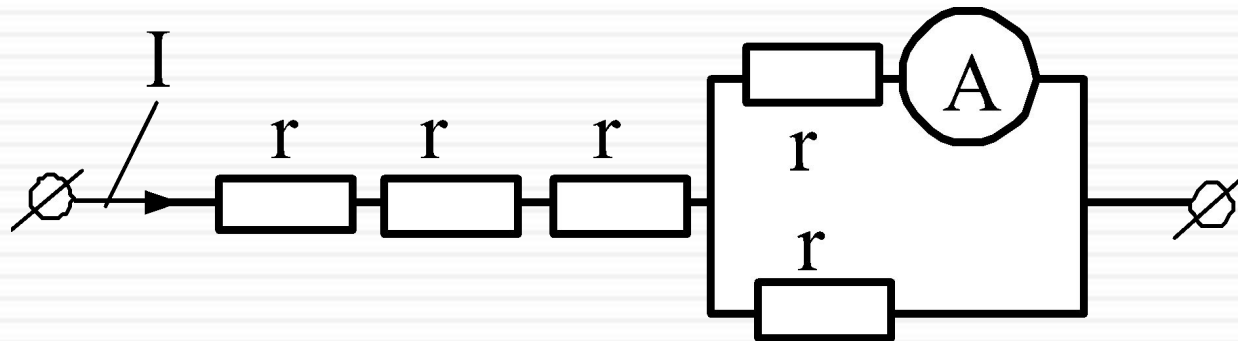
К источнику тока с внутренним сопротивлением  $0,5 \text{ Ом}$  подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. Чему равна ЭДС источника тока?

1.  $12 \text{ В}$
2.  $6 \text{ В}$
3.  $4 \text{ В}$
4.  $2 \text{ В}$



Через участок цепи (см. рисунок) течет постоянный ток  $I = 10$  А. Какую силу тока показывает амперметр?

Сопротивлением амперметра пренебречь.

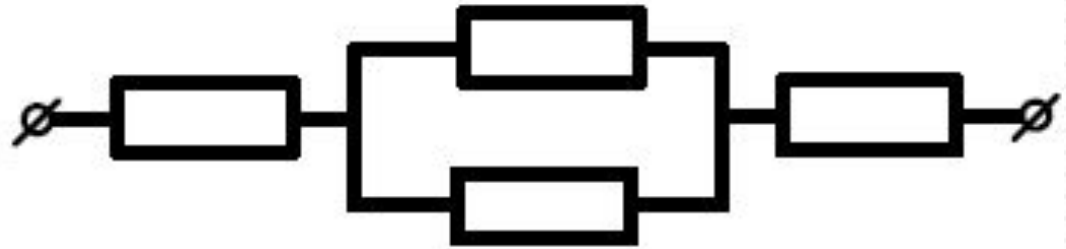


1. 2 А
2. 3 А
3. 5 А
4. 10 А

В электронагревателе, через который течет постоянный ток, за время  $t$  выделяется количество теплоты  $Q$ . Если сопротивление нагревателя и время  $t$  увеличить вдвое, не изменяя силу тока, то количество выделившейся теплоты будет равно

1.  $8Q$
2.  $4Q$
3.  $2Q$
4.  $Q$

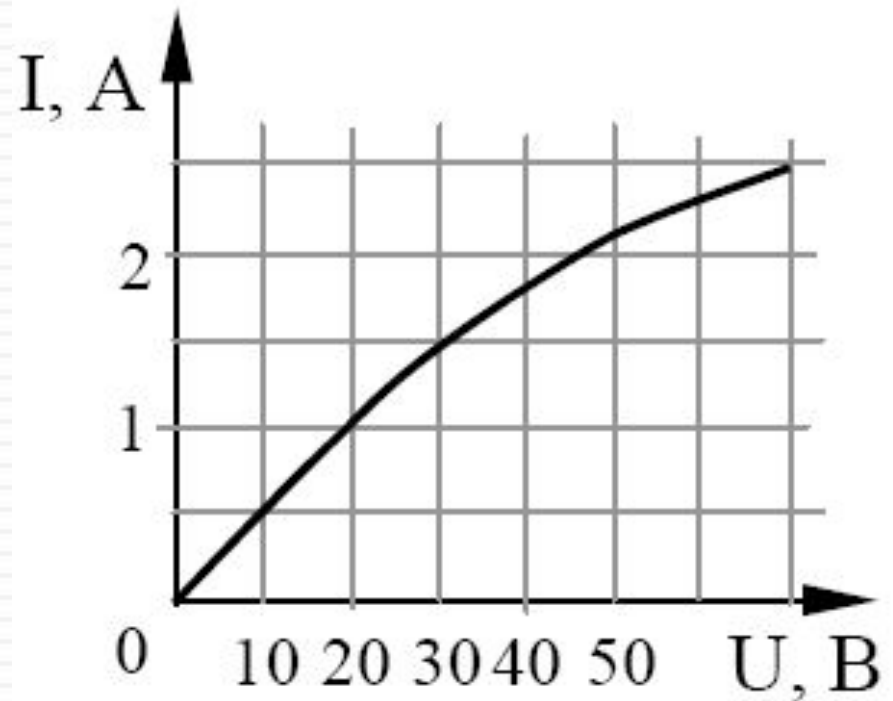
В участке цепи, изображенном на рисунке, сопротивление каждого из резисторов равно 2 Ом. Полное сопротивление участка равно



1. 8 Ом
2. 6 Ом
3. 5 Ом
4. 4 Ом

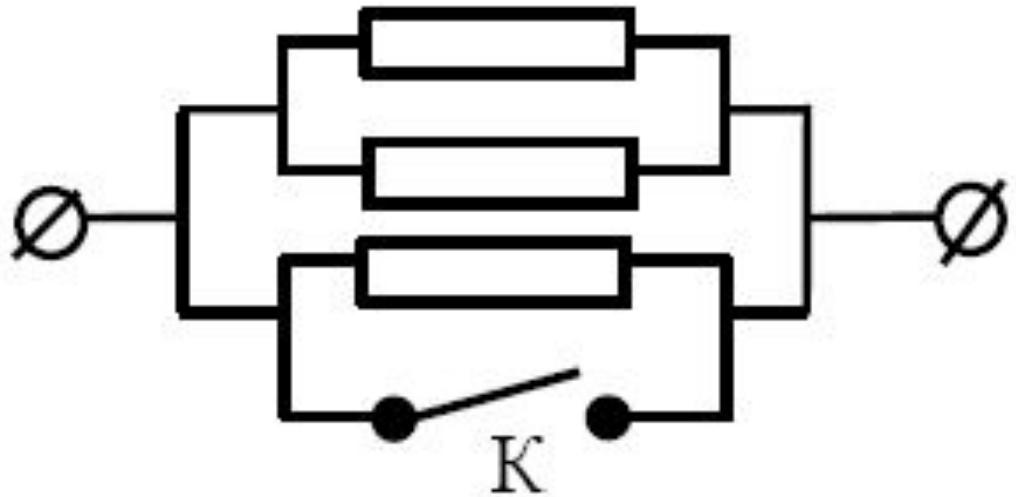
На рисунке показан график зависимости силы тока в лампе накаливания от напряжения на ее клеммах. При напряжении 30 В мощность тока в лампе равна

1. 135 Вт
2. 67,5 Вт
3. 45 Вт
4. 20 Вт



Каким будет сопротивление участка цепи (см. рисунок), если ключ  $K$  замкнуть? (Каждый из резисторов имеет сопротивление  $R$ .)

1.  $R$
2.  $2R$
3.  $3R$
4.  $0$



На входе в электрическую цепь квартиры стоит предохранитель, размыкающий цепь при силе тока 10 А. Подаваемое в цепь напряжение равно 110 В. Какое максимальное число электрических чайников, мощность каждого из которых равна 400 Вт, можно одновременно включить в квартире?

1. 2,7
2. 2
3. 3
4. 2,8

На фотографии – электрическая цепь. Показания включенного в цепь амперметра даны в амперах.

Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, если его подключить параллельно резистору 3 Ом?

1. 0,8 В
2. 1,6 В
3. 2,4 В
4. 4,8 В

