Электродинамика

Электродинамика –
это наука о свойствах и закономерностях
особого вида материи –
электромагнитного поля,
которое осуществляет взаимодействие
между электрическими заряженными
телами или частицами.

Классическая электродинамика не затрагивает квантовых эффектов при изучении электромагнитного поля. Обычно когда говорят «Электродинамика», имеют в виду именно классическую электродинамику.

Когда речь идёт о современной квантовой теории электромагнитного поля, обычно используется термин **квантовая электродинамика**.

Содержание

Законы постоянного тока

1. Закон Ома для участка цепи
2. Электрическая цепь
3. Виды соединения проводников
4. Первое правило Кирхгофа
5. Короткое замыкание
6. Работа и мощность электрического тока
7. Электродвижущая сила
8. Второе правило Кирхгофа
9. Электрический ток в различных средах
10. Электронная проводимость металлов
11. Электрический ток в полупроводниках
12. Электрический ток в вакууме
13. Электрический ток в жидкостях
14. Электрический ток в газах

Содержание

Тестовые задания

Лабораторные работы

1. Последовательное и параллельное соединение проводников
2. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

Табличные данные

1. Удельное сопротивление проводников
2. Электрохимический эквивалент
3. Температурный коэффициент сопротивления

Литература

Законы постоянного тока

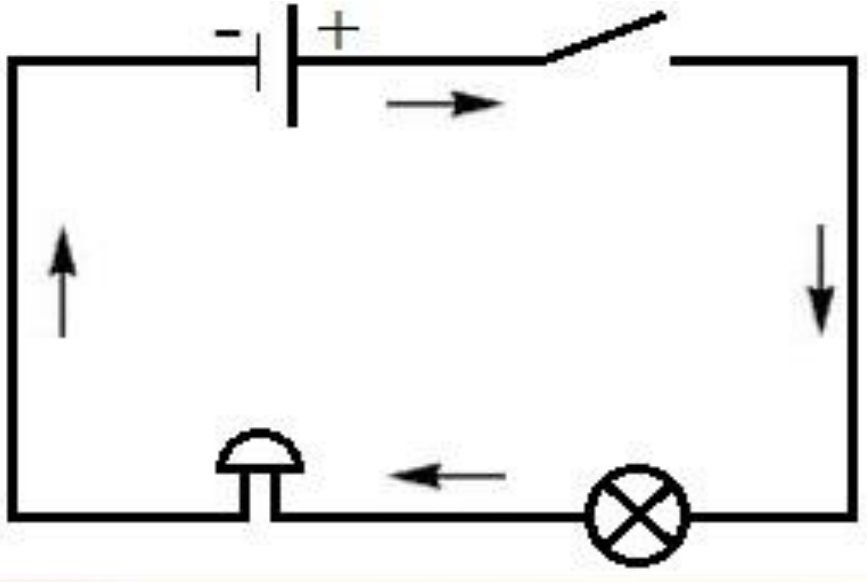
К содержанию

Электрический ток –
направленное движение электрически заряженных частиц под воздействием электрического поля.

В проводниках – электроны,
в электролитах – ионы
(катионы и анионы),
в полупроводниках – электроны и "дырки».

За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.

Выбор направления тока был сделан в то время, когда о свободных электронах в металлах ещё ничего не знали.



Действие тока:

Механическое

Тепловое

Световое

Магнитное

Химическое

Сила тока –
заряд, перенесённый в единицу времени; служит основной количественной характеристикой тока.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}\left[1A = \frac{1Кл}{1c}\right]$$

Андре-Мари Ампер

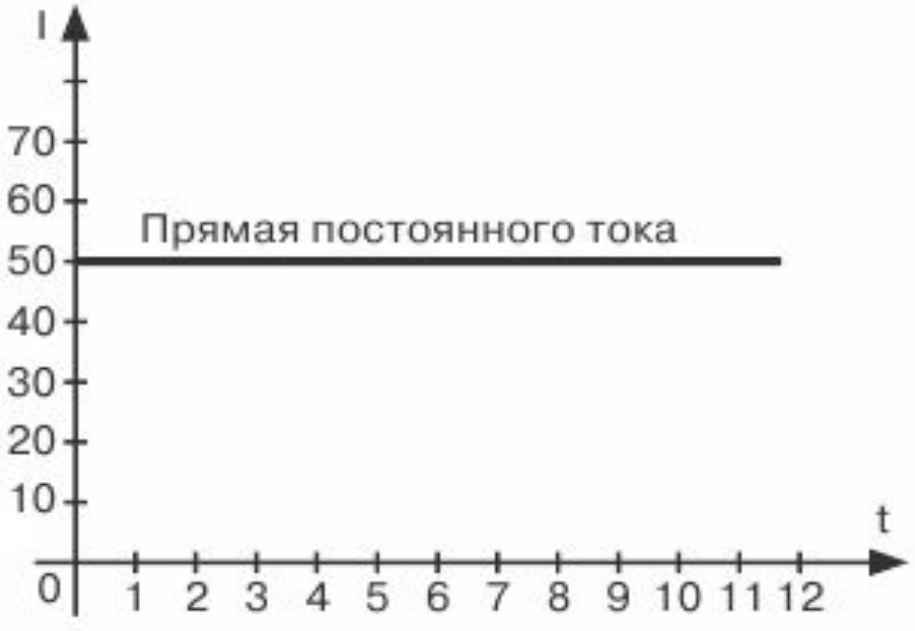
(20.01.1775 – 10.06.1836)

Великий французский **физик**, математик и естествоиспытатель.

Создал первую теорию, которая выражала связь электрических и магнитных явлений.
Ему принадлежит гипотеза о природе магнетизма.
Ввел в физику понятие «**электрический ток**».
Джеймс Максвелл назвал Ампера «Ньютоном электричества».
Работал также в области механики, теории вероятностей и математического анализа.

Постоянный ток –
электрический ток, не изменяющийся по времени и по направлению.

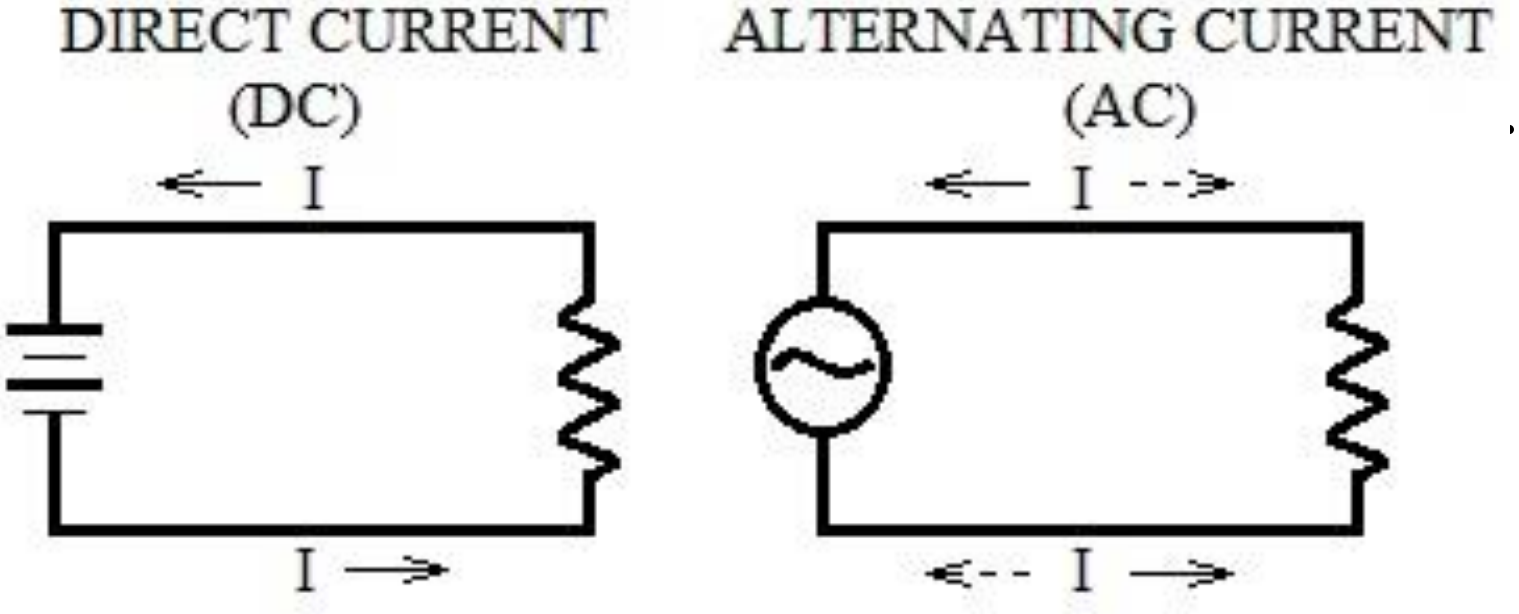
Переменный ток –
электрический ток, который с течением времени изменяется
по величине и (или) направлению.


I
70
60
50
40
30
20
10
0
Прямая постоянного тока
t
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

I
50
40
30
20
10
0
Кривая синусоидального
переменного тока
t
1 2
3
4 5 6
7
8 9
10
11
12

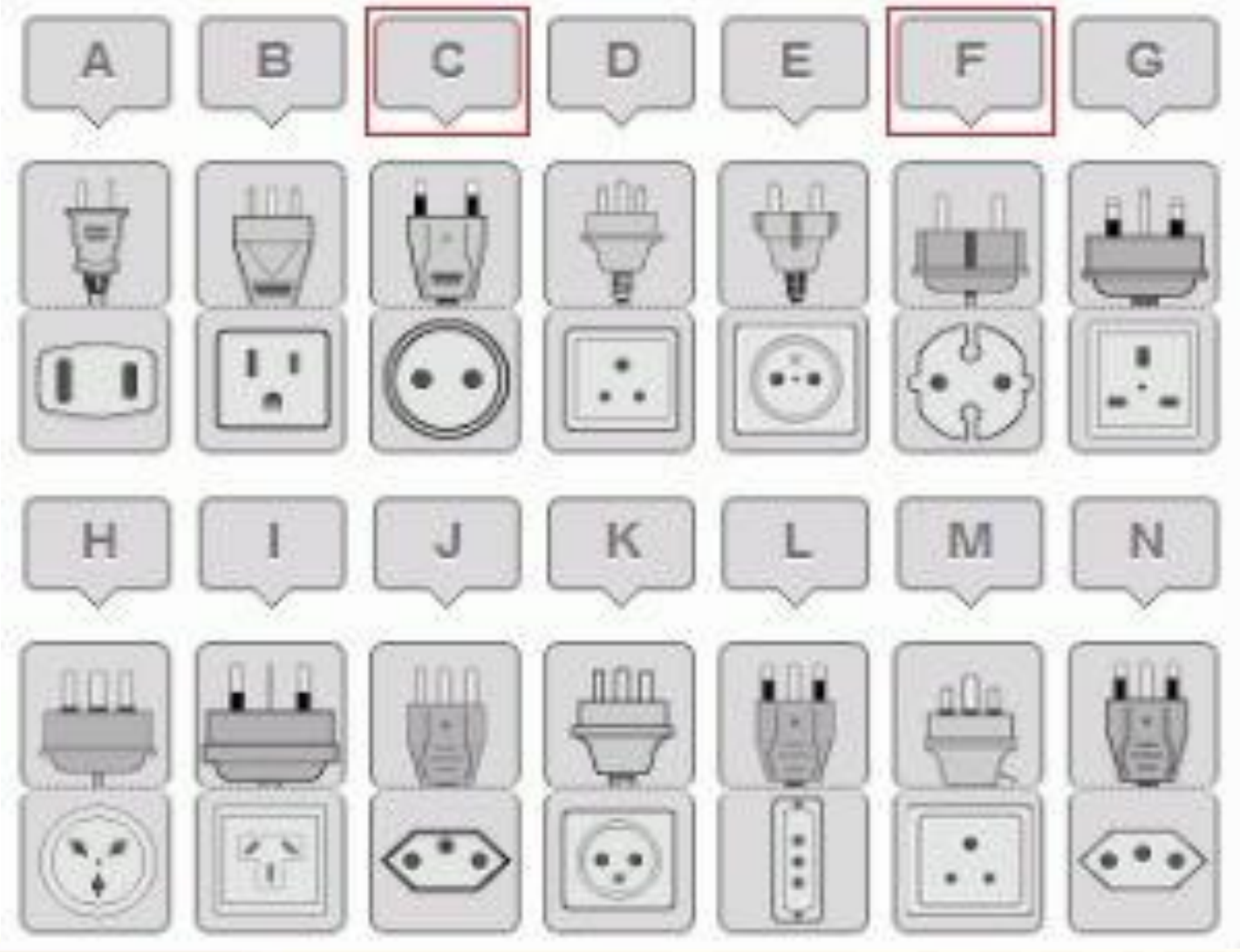
В типовых розетках наших домов переменный ток.

Частота тока – значение, которое говорит сколько раз в секунду «направление» тока меняется. Стандарт – 50 Гц.



AC/DC

В России, как правило, применяются типы **C** без заземления и **F** с заземлением.



Сила тока **I > 0**, если направление тока совпадает с условно выбранным положительным направлением вдоль проводника.

Сила тока **I < 0**, если направление тока **не** совпадает с условно выбранным положительным направлением вдоль проводника.

Связь силы тока со скоростью направленного движения частиц

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = q_0 n S \upsilon$$

q_0 – заряд каждой частицы

n – концентрация частиц

S – площадь поперечного сечения

υ – скорость движения частиц

Плотность тока –
это векторная физическая величина, модуль которой определяется отношением силы тока I в проводнике к площади S поперечного сечения проводника.

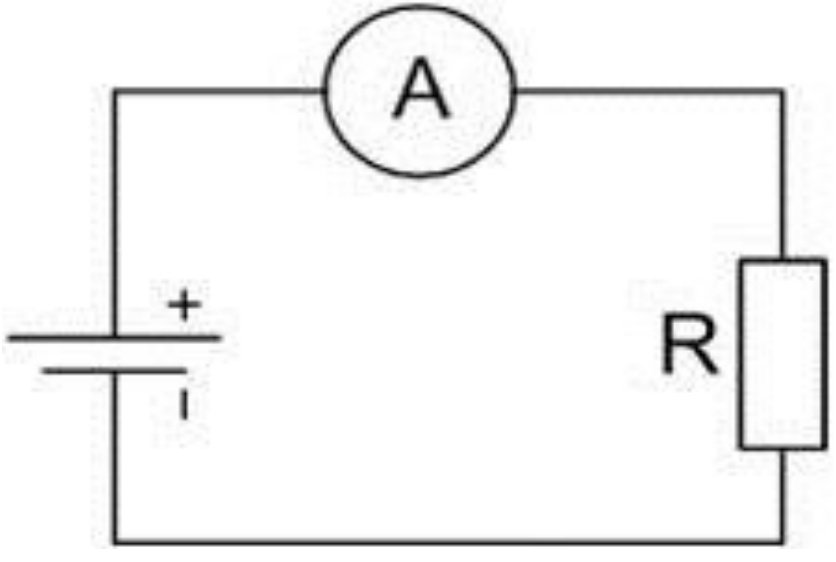
$$j = \frac{I}{S} \left[\frac{A}{м^2} \right]$$

Направление вектора плотности тока совпадает с направлением вектора скорости упорядоченного движения положительно заряженных частиц. Плотность постоянного тока постоянна по всему поперечному сечению проводника.

Амперметр –
прибор для измерения силы
электрического тока.

В электрическую цепь
амперметр включается **последовательно**!
Подключать его непосредственно
к источнику питания **нельзя**:
это может привести к коротким
замыканиям!

Включение амперметра в электрическую цепь не должно изменять силу тока в ней, т.е. сопротивление амперметра должно быть как можно меньше. Сопротивление амперметра гораздо меньше сопротивления потребителя, поэтому при параллельном подключении почти весь ток пойдёт через амперметр,
в итоге «зашкалит» и может перегореть.



Для возникновения и существования постоянного электрического тока в веществе необходимо наличие **свободных** заряженных частиц.

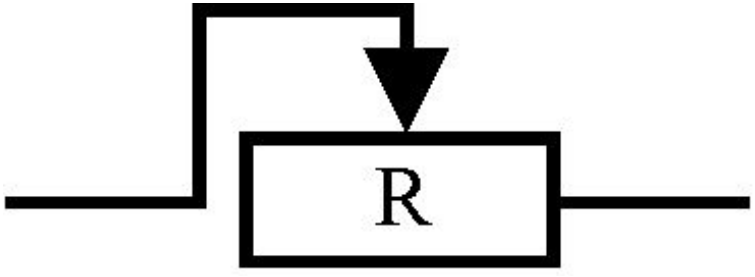
Для создания и поддержания упорядоченного движения заряженных частиц необходима **сила**, действующая на них в определённом направлении.

Электрическое поле –
одна из двух компонент
электромагнитного поля,
представляющая собой векторное поле,
существующее вокруг тел или частиц,
обладающих электрическим зарядом,
а также возникающее при
изменении магнитного поля.

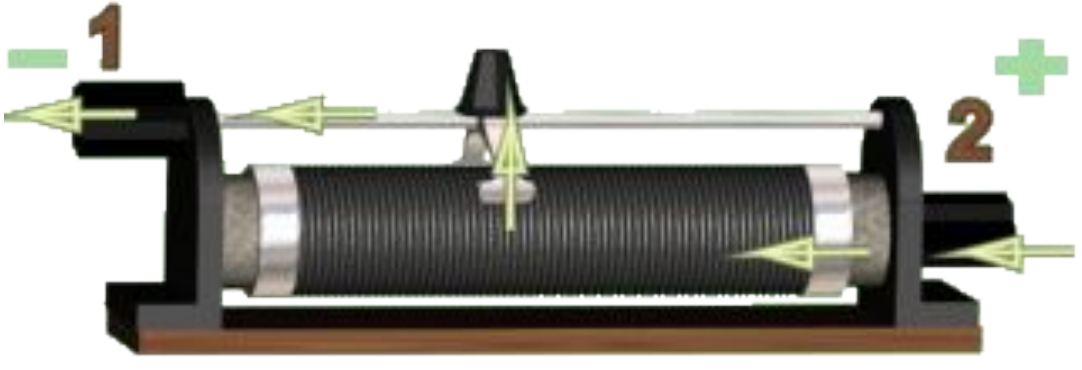
Реостат

(греч. *rheos* - течение, поток,
statos – стоящий, неподвижный) –
переменный резистор,
*с*лужащий для регулирования
и ограничения силы тока или напряжения
в электрической цепи.

Обозначение на схеме



Внешний вид и подключение



Образцы заданий ЕГЭ

К содержанию

А1. Время рабочего импульса ускорителя электронов равно 1 мкс. Средняя сила тока, создаваемого этим ускорителем, 32 кА. Определите число электронов, ускоряемых за один пуск ускорителя. Заряд электрона $q_e = 1.6*10^{-19}$ Кл.

1) $4*10^{16}$ 2) $8*10^{17}$ 3) 10^{17} 4) $2*10^{17}$

$$I = \frac{q}{t} = \frac{Ne}{t} \Rightarrow N = \frac{It}{e}$$

$$N = \frac{32 \cdot 10^3\, A \cdot 1 \cdot 10^{-6}\, c}{1.6 \cdot 10^{-19}\, Кл} = 20 \cdot 10^{16} = 2 \cdot 10^{17}$$

А2. На электроды вакуумного диода подаётся переменное напряжение, в результате чего сила тока, проходящего через этот диод, равномерно увеличивается за 2 мкс от 0 до 12 А. Определите заряд, который прошёл через диод за это время.

1) 36 мкКл 2) 12 мкКл 3) 36 мКл 4) $1.6*10^{-19}$ Кл.

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

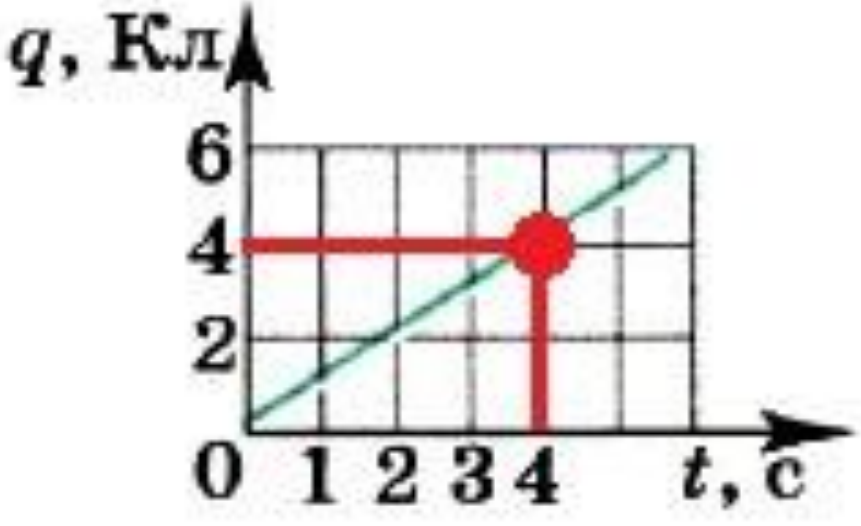
$$\Delta q = 12\,A \cdot 2 \cdot 10^{-6}\,c - 0\,A \cdot 0c = 24 \cdot 10^{-6}\,Кл$$

$$U \neq const \Rightarrow I_{ср}$$

$$\Delta q = \frac{12\,A \cdot 2 \cdot 10^{-6}\,c - 0\,A \cdot 0c}{2} = 12 \cdot 10^{-6}\,Кл = 12\,мкКл$$

А3. По проводнику идёт постоянный электрический ток. Значение заряда, прошедшего через проводник, возрастает с течением времени согласно графику, представленному на рисунке. Сила тока в проводнике равна

1) 36 А
2) 16 А
3) 6 А
4) 1 А



Решение задач

К содержанию

№1. Найти скорость упорядоченного движения электронов в проводе площадью поперечного сечения 5 мм^2 при силе тока 10 А, если концентрация электронов проводимости 5*10^{28} м$^{-3}$.

$$I = neS\upsilon \Rightarrow \upsilon = \frac{I}{neS}$$

$$\upsilon = \frac{10\,A}{5\cdot 10^{28}\,\frac{1}{м^3}\cdot 1.6\cdot 10^{-19}\,Кл\cdot 5\cdot 10^{-4}\,м^3} =$$

$$= 0.0000025\,{}^{м}\!/_{с} = 2.5\cdot 10^{-6}\,{}^{м}\!/_{с} = 2.5\,{}^{мм}\!/_{с}$$

$$I = neS\upsilon \Rightarrow \upsilon = \frac{I}{neS}$$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} = \frac{mN_A}{V \bullet M} = \frac{\rho N_A}{M}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\upsilon = \frac{I}{neS} = \frac{I}{eS} \frac{M}{\rho N_A}$$

№2. Найти скорость упорядоченного движения электронов в медном проводе площадью поперечного сечения 25 мм^2 при силе тока 50 А, считая, что на каждый атом приходится один электрон проводимости.

$$\upsilon = \frac{50A \cdot 63.5 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{моль}}{1.6 \cdot 10^{-19} Кл \cdot 25 \cdot 10^{-4} м^2 \cdot 8900 \frac{кг}{м^3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \frac{1}{моль}} =$$

$$= \frac{3175 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{моль}}{2143120} \approx 1.5 \cdot 10^{-6} \, м/с = 1.5 \, мм/с$$

Закон Ома для участка цепи

К содержанию

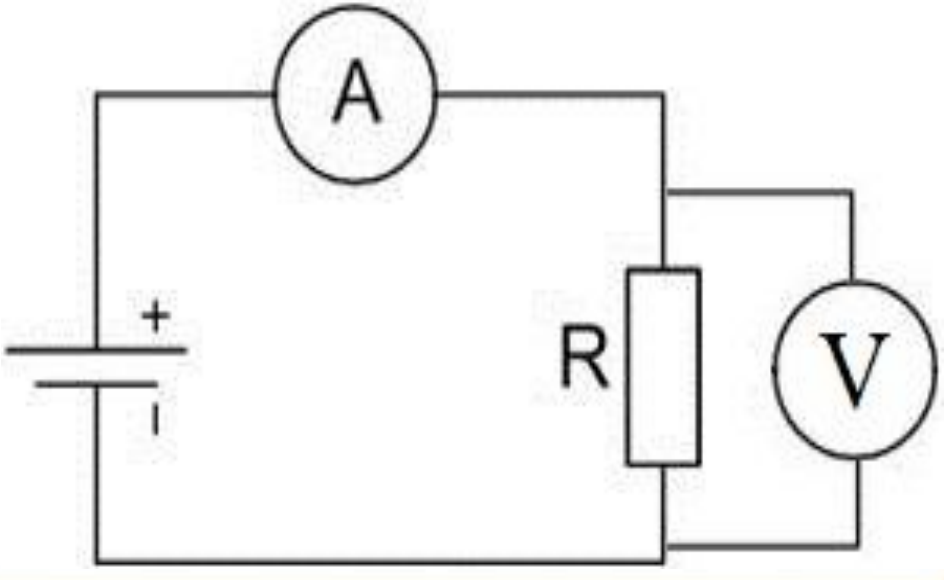
Электрическое напряжение –
это отношение работы электрического поля зарядов при передаче пробного заряда из точки 1 в точку 2.

$$U = \frac{A}{q} \left[\frac{Дж}{Кл} = В \right]$$

Вольтметр –
прибор для измерения силы электрического напряжения.

В электрическую цепь вольтметр включается **параллельно**!

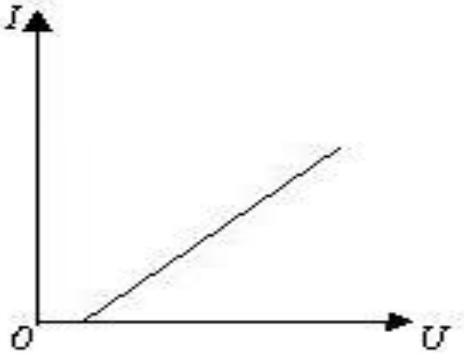
Вольтметр обладает большим сопротивлением,
при его последовательном подключении к
электрической цепи увеличится
внешнее сопротивление цепи,
а сила тока в цепи значительно уменьшится.



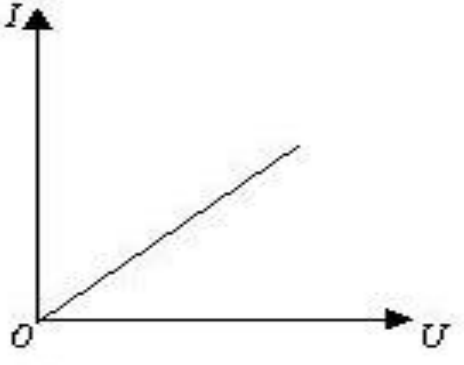
Вольт-амперная характеристика
(ВАХ) –
это зависимость тока в конкретной электрической цепи от напряжения в ней.

Она показывает зависимость падения напряжения от протекающего тока.

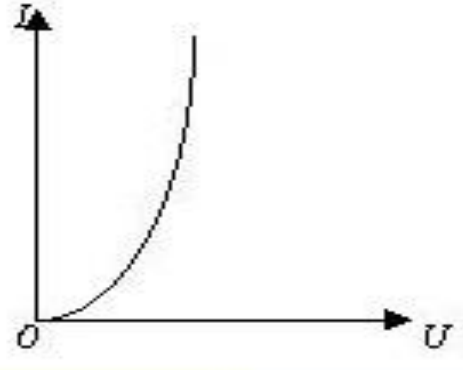
Вольт-амперная характеристика



электролиты



металлы



п/п диод

Закон Ома для участка цепи

Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна приложенному к нему напряжению U и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка R.

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

Георг Симон Ом

(16.03.1787 – 06.07.1854)

Великий немецкий физик,
автор одного из основных законов,
определяющих электрические токи
в металлических проводниках.

Открытие Ома, давшее впервые возможность количественно рассмотреть явления электрического тока, имело и имеет огромное значение для науки. Дальнейшие работы Ома по электричеству касались вопросов униполярной проводимости и нагревания проводов током.

В 1839 г. последовал ряд работ по акустике, приведших к результатам большой важности. Он высказан закон, что человеческое ухо познаёт лишь простые гармонические колебания, и что всякий сложный тон разлагается ухом на составные и познается лишь как сумма их.

Электрическое сопротивление проводника –

свойство проводника ограничивать силу тока в цепи.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \left[\frac{\frac{Ом \cdot мм^2}{м} \bullet м}{мм^2} \right]$$

ρ – удельное сопротивление проводника

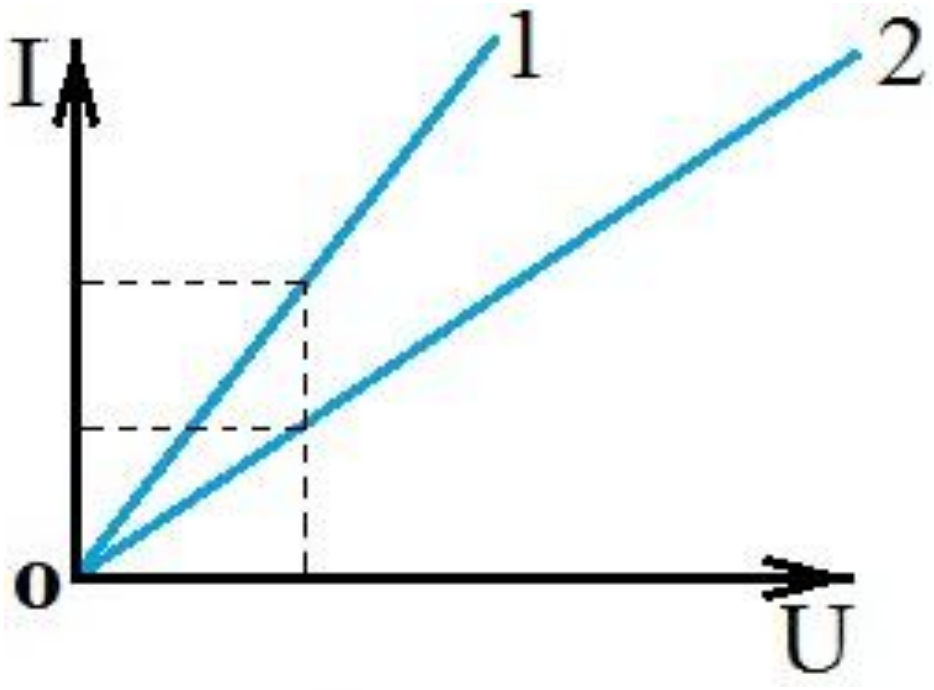
l – длина проводника

S – площадь поперечного сечения

Удельная проводимость *(каппа)* – величина, обратно пропорциональная удельному сопротивлению, определяющая способность какого-либо вещества проводить электрический ток.

$$\kappa = \frac{1}{\rho}\left[\frac{Сименс}{м} = \frac{См}{м}, Ом^{-1} \cdot см^{-1}\right]$$

$$\kappa,\ \sigma,\ \gamma - разные\ обозначения$$



Сопротивление проводника 2 больше, чем сопротивление проводника 1. Сила тока при этом меньше.

Сопротивление проводника не зависит от напряжения и силы тока!

Сопротивление зависти от:

1) длины проводника,
2) площади его поперечного сечения,
3) вещества, из которого изготовлен проводник,
4) температуры.

Для металлических проводников:

$$\uparrow t^0 \Rightarrow \uparrow R$$

Возрастает число столкновений носителей зарядов и изменяется их концентрация при нагревании проводника.

При температурах, близких к абсолютному нулю (-273 °С), сопротивление многих металлов скачком падает до нуля.

Для электролитов:

$$\uparrow t^0 \Rightarrow \downarrow R$$

При нагревании увеличивается число молекул, которые распадаются на ионы, происходит увеличение числа электрически заряженных частиц в единице объема раствора электролита, что приводит к уменьшению сопротивления.

Удельное электрическое сопротивление вещества *(ро)* –
физическая величина, характеризующая способность вещества препятствовать прохождению электрического тока.

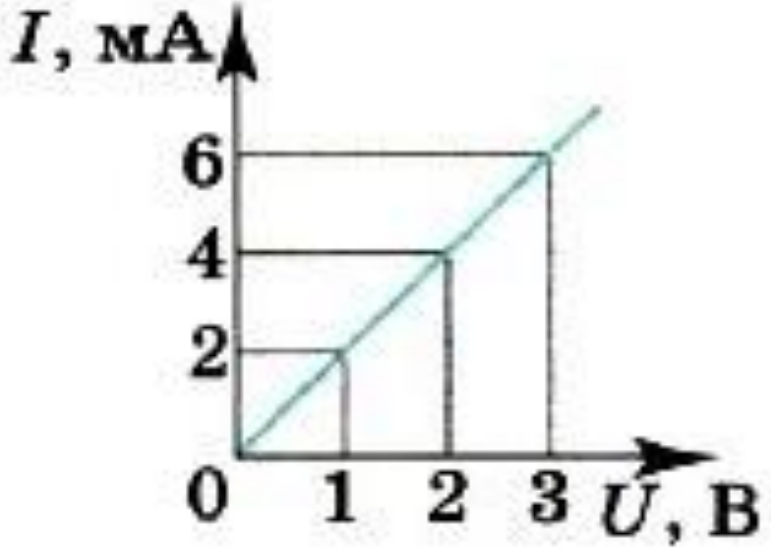
$$\rho \left[\frac{Ом \cdot мм^2}{м}, Ом \cdot м \right]$$

Образцы заданий ЕГЭ

К содержанию

А1. При увеличении напряжения U на участке электрической цепи сила тока I в цепи изменяется в соответствии с графиком. Электрическое сопротивление на этом участке цепи равно

1) 2 Ом
2) 0,5 Ом
3) 2 мОм
4) 500 Ом



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

$$R = \frac{3B}{6 \cdot 10^{-3} A} = 0.5 \cdot 10^{3} Ом = 500 Ом$$

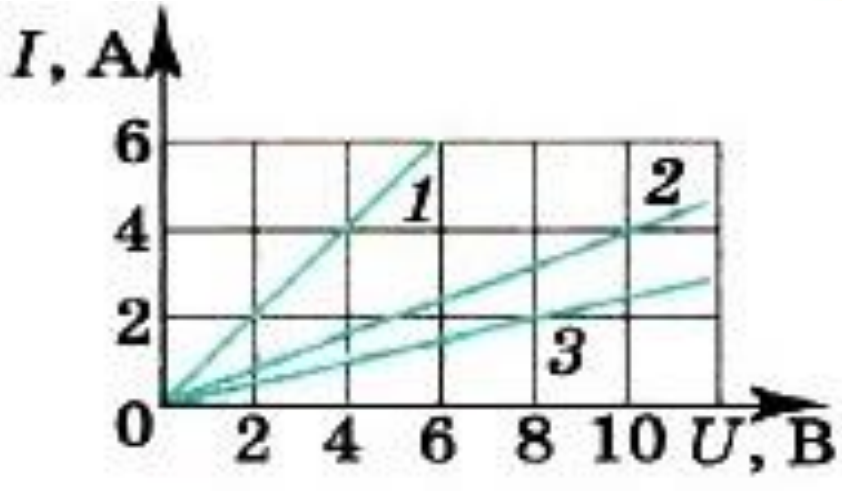
А2. На рисунке изображены графики зависимости силы тока в трёх проводниках от напряжения на их концах. Сопротивление какого проводника равно 2.5 Ом?

1) 1

2) 2

3) 3

4) такого проводника нет



$$R_1 = \frac{4B}{4A} = 1Ом$$

$$R_2 = \frac{10B}{4A} = 2.5Ом$$

$$R_3 = \frac{8B}{2A} = 4Ом$$

А3. Медная проволока имеет электрическое сопротивление 1.2 Ом. Какое электрическое сопротивление имеет медная проволока, у которой в 4 раза больше длина и в 6 раз больше площадь поперечного сечения?

1) 7.2 Ом
2) 1.8 Ом
3) 0.8 Ом
4) 0.2 Ом

$$R_1 = \frac{\rho \cdot l}{S} = 1.2Ом, \quad R_2 = \frac{\rho \cdot 4l}{6S}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho \cdot 4l}{6S} \cdot \frac{S}{\rho \cdot l} = \frac{4}{6}$$

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot 4}{6} = \frac{1.2Ом \cdot 4}{6} = 0.8Ом$$

А4. Если увеличить в 2 раза напряжение между концами проводника, а его длину уменьшить в 2 раза, то сила тока, проходящего через проводник,

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

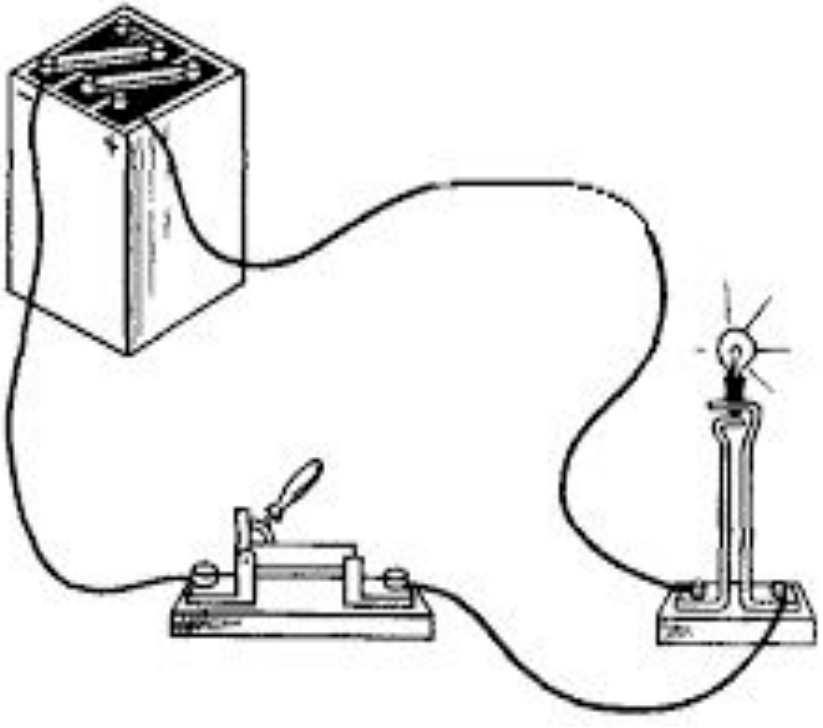
$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{US}{\rho l}, I_2 = \frac{2US \bullet 2}{\rho l} = 4\frac{US}{\rho l}$$

Электрическая цепь

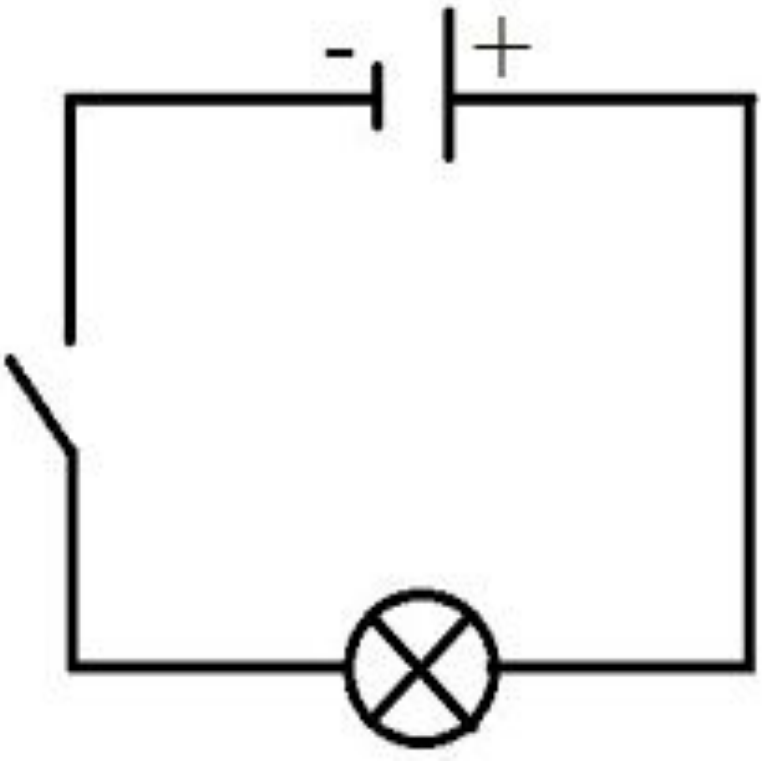
К содержанию

Электрическая цепь (ЭЦ) – совокупность устройств, элементов, предназначенных для протекания электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий сила тока и напряжение.

Электрической схема (ЭС) – изображение электрической цепи с помощью условных знаков.



Электрическая цепь



Электрическая схема

Электрическая цепь делится на **внутреннюю** и **внешнюю** части.

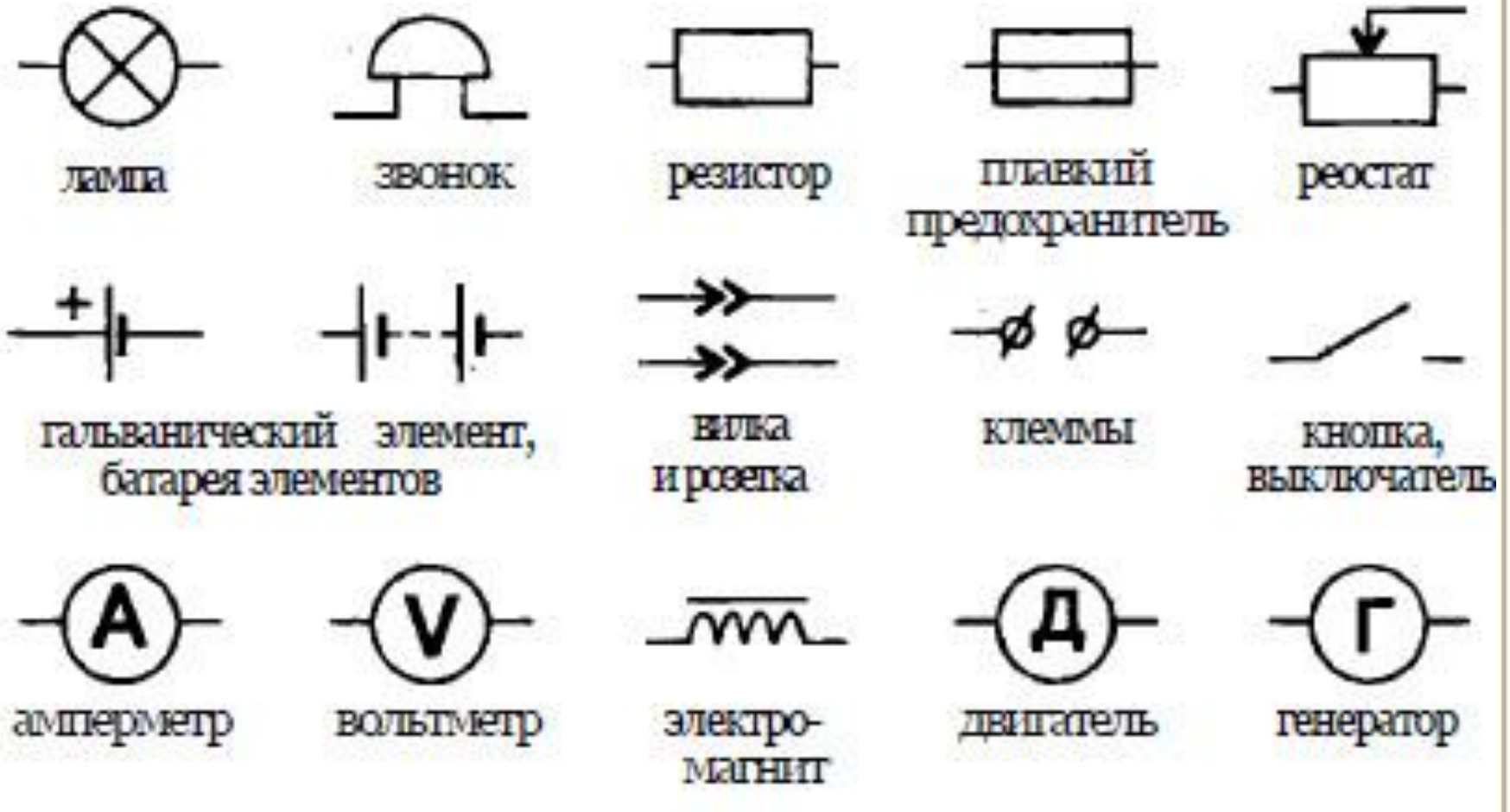
К внутренней части электрической цепи относится сам источник электрической энергии.

Во внешнюю часть цепи входит все то, что присоединено к зажимам источника электрической энергии.

Внутренняя ЭЦ: источники питания цепи – это гальванические элементы, электрические аккумуляторы, электромеханические генераторы, термоэлектрические генераторы, фотоэлементы и др.

Внешняя ЭЦ: соединительные провода, потребители, рубильники, выключатели, электроизмерительные приборы.

Обозначения на электрической схеме



Условия существования тока в цепи:

1. Источник тока

2. Потребитель

3. Соединительные провода

4. Цепь замкнута.

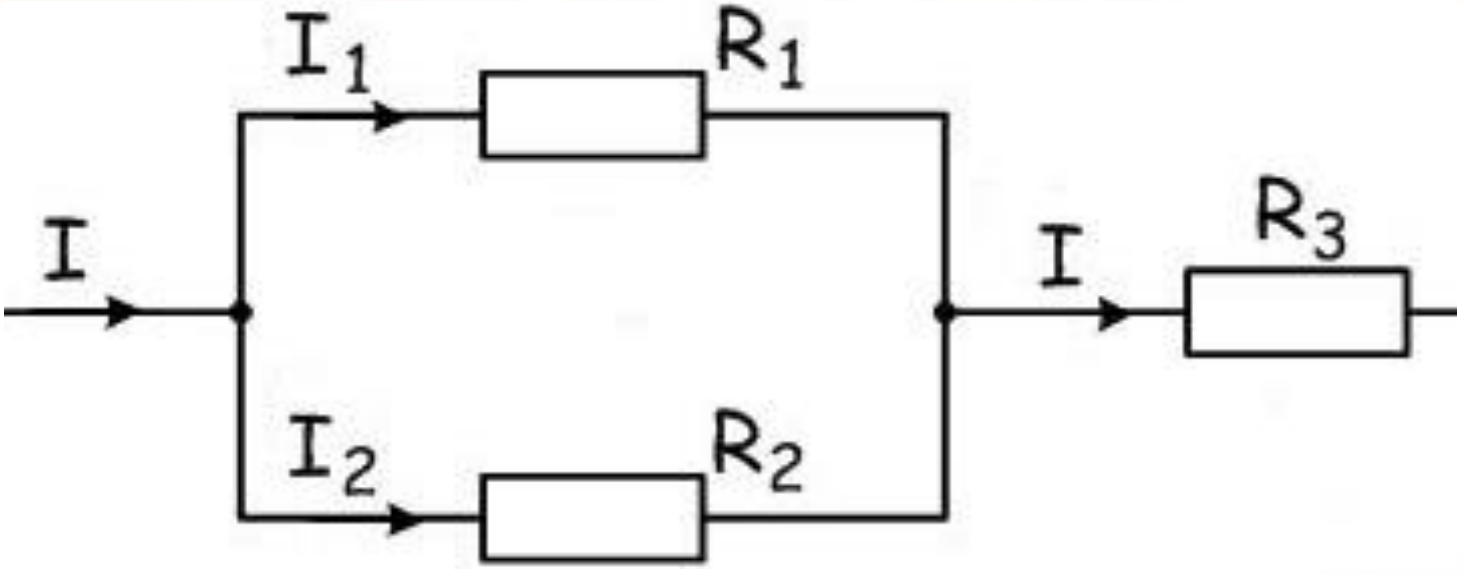
Виды соединения проводников

К содержанию

Последовательное	Параллельное
$I = I_1 = I_2$	$I = I_1 + I_2$
$U = U_1 + U_2$	$U = U_1 = U_2$
$R = R_1 + R_2$ $R_1 = R_2 = \ldots R_n$ $\Rightarrow R = n \cdot R_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ $R_1 = R_2 = \ldots R_n$ $\Rightarrow R = \frac{R_n}{n}$

Смешанное соединение – соединение, которое является совокупностью последовательных и параллельных соединений.

Для нахождения эквивалентного сопротивления нужно “свернуть” схему поочередным преобразованием параллельных и последовательных участков цепи.



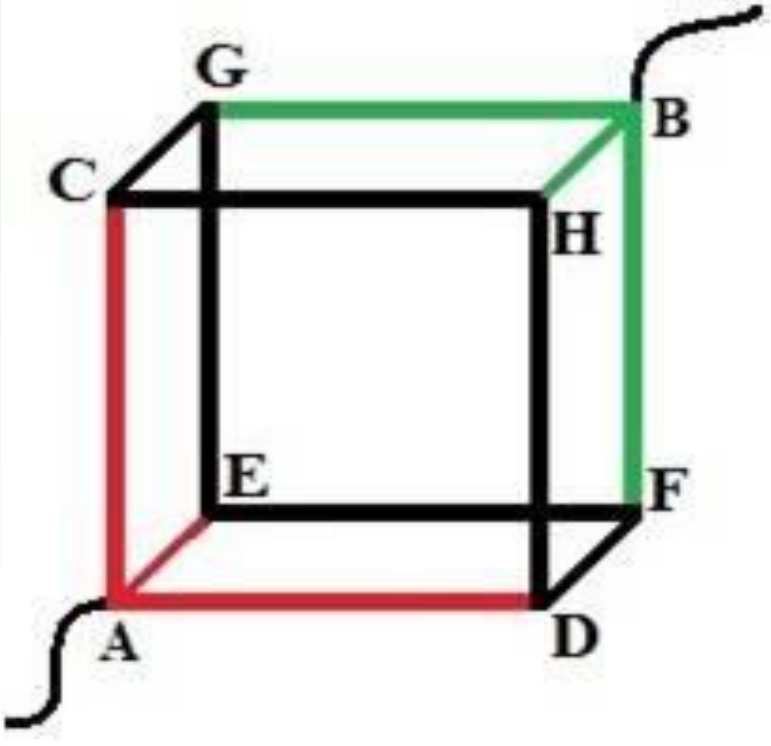
$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$U_1 = U_2 \Rightarrow U = U_1 + U_3$$

Если схема содержит проводники с одинаковыми сопротивлениями, расположенными **симметрично** относительно какой-либо оси или плоскости симметрии,
то точки этих проводников, симметричные относительно этой оси или плоскости, имеют одинаковый потенциал.

Решение задач на сложное смешанное соединение

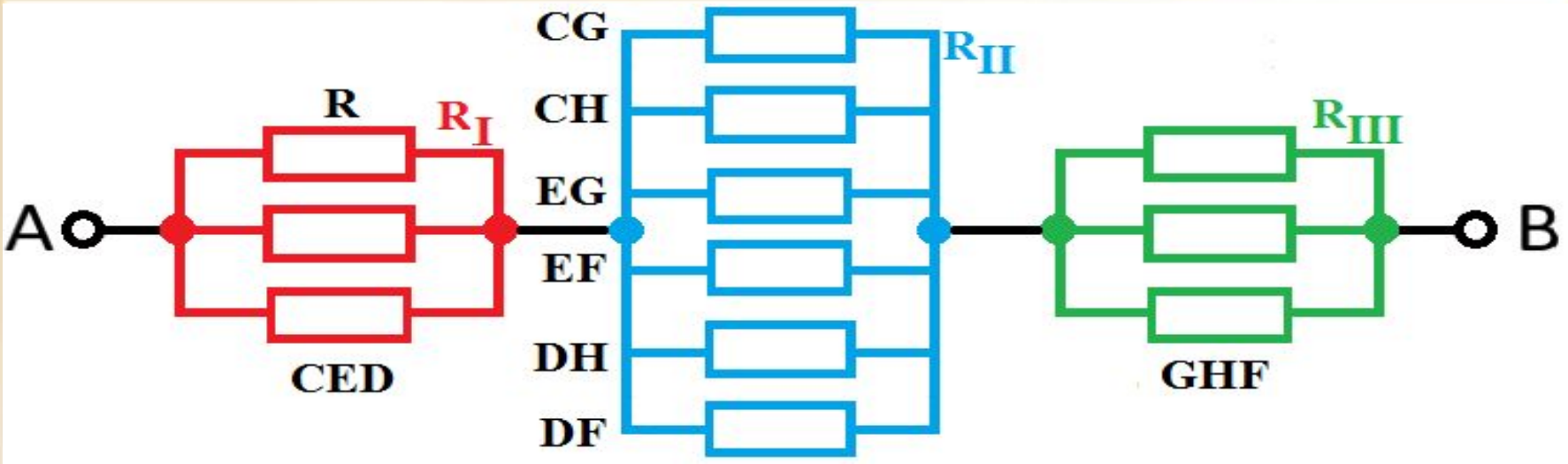


Ищем симметрию

Определяем точки, в которых потенциалы одинаковы

$$\varphi_{AC} = \varphi_{AE} = \varphi_{AD}$$

$$\varphi_{BG} = \varphi_{BH} = \varphi_{BF}$$



$$R_{общее} = \frac{R}{n}$$

$$R_I = \frac{R}{3},\quad R_{II}\,\frac{R}{6},\quad R_{III} = \frac{R}{3}$$

$$R_{AB} = R_I + R_{II} + R_{III}$$

$$R_{AB} = \frac{R}{3} + \frac{R}{6} + \frac{R}{3} = \frac{5R}{6}$$

Как соединены потребители электроэнергии в квартирах?

При последовательном соединении один элемент электрической цепи расположен за другим и не имеет узлов, если один из элементов выходит из строя прерывается работа всей сети.

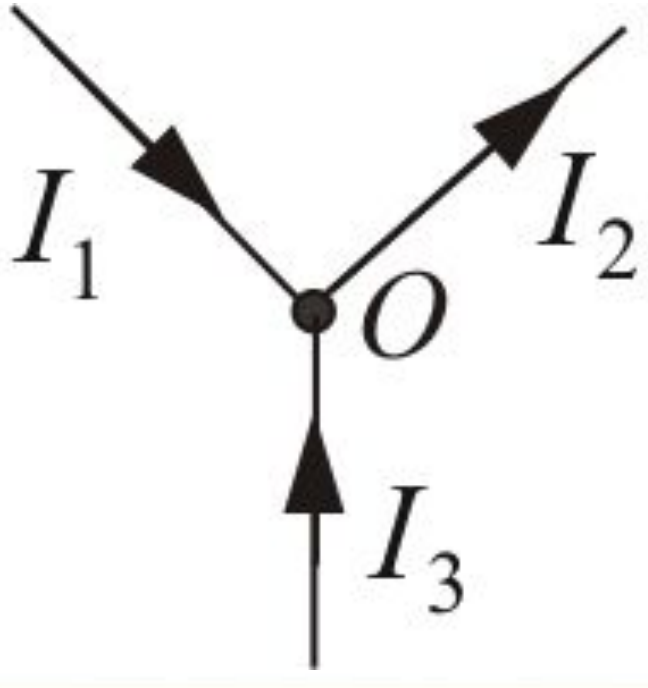
При параллельном элементы не соединяются между собой, а объединяются двумя узлами. Если один потребитель выходит из строя, то все остальные продолжают работать дальше.

Первое правило Кирхгофа

К содержанию

Правила Кирхгофа являются обобщением закона Ома на случай разветвленных цепей.
В узлах цепи постоянного тока не может происходить накопление зарядов.

Токи, втекающие в узел, принято считать положительными, вытекающие из узла – отрицательными.



Первое правило Кирхгофа

Алгебраическая сумма сил токов для каждого узла в разветвленной цепи равна нулю

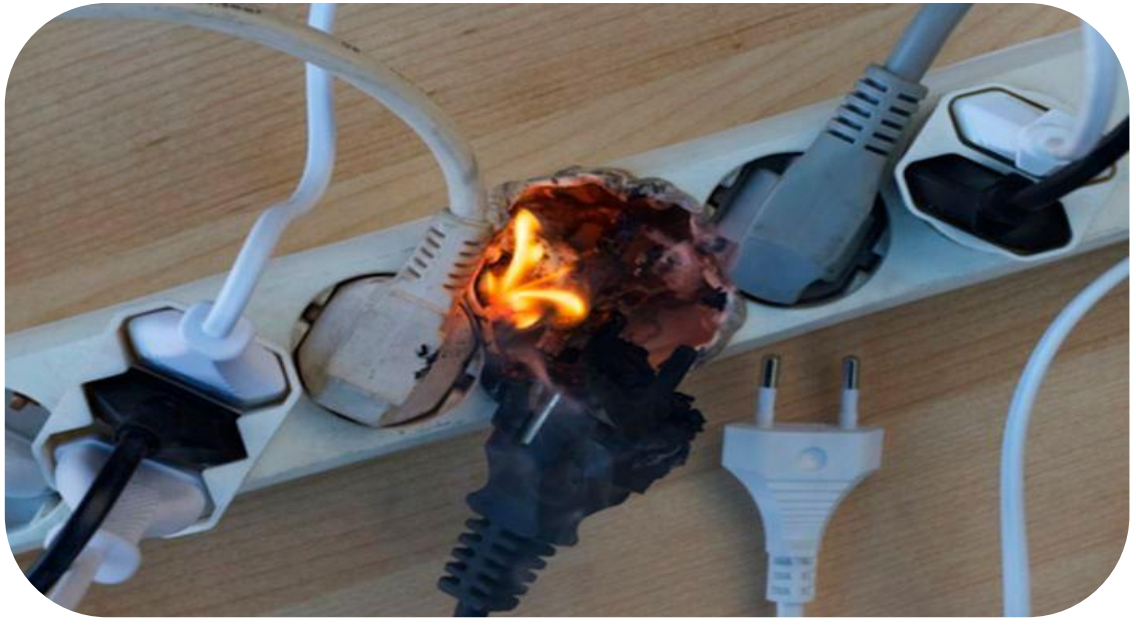
$$I_1 + I_2 + I_3 + \ldots + I_n = 0$$

Является следствием закона сохранения электрического заряда.

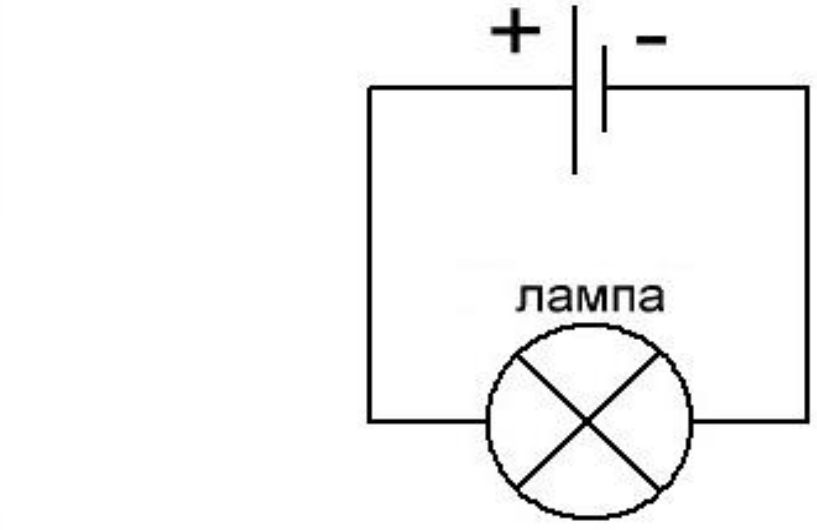
Короткое замыкание

К содержанию

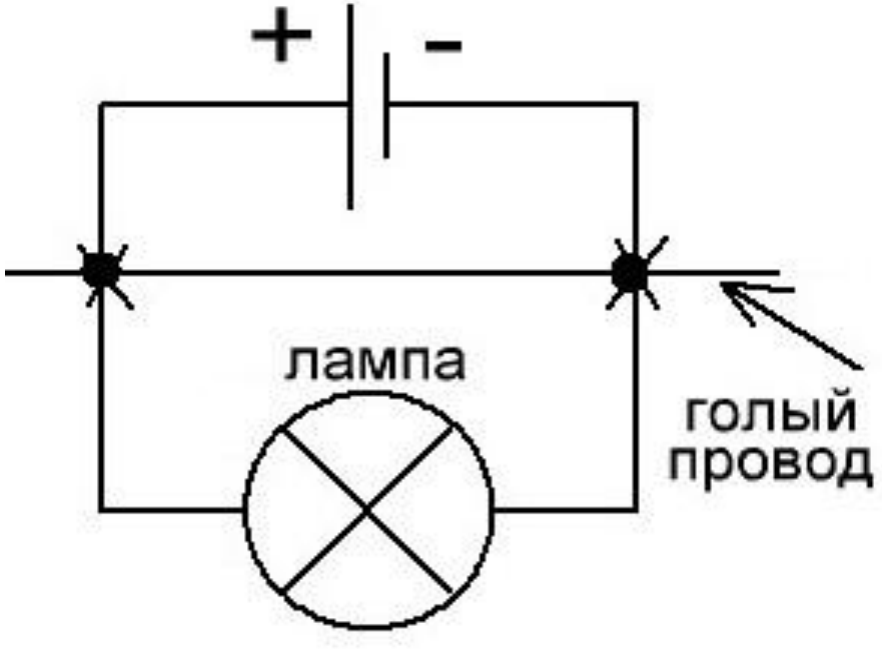
Короткое замыкание –
это короткий путь для прохождения электрического тока по цепи,
где наименьшее сопротивление.



Если цепь замкнется не так, как предусмотрено конструкцией цепи и электроприбора, а напрямую, минуя электроприбор, то сопротивление сети сильно падает, а сила тока в цепи резко возрастает. Если при КЗ ток увеличится в 20 раз, то количество тепла, выделяющееся при этом, возрастет примерно в 400 раз! Поэтому КЗ может вызвать расплавление проводов, воспламенение изоляции, привести к пожару.



Цепь замкнута,
ток течёт,
лампа горит.



Цепь замкнута,
ток течёт,
лампа горит,
почти весь ток
потечет по проводу.

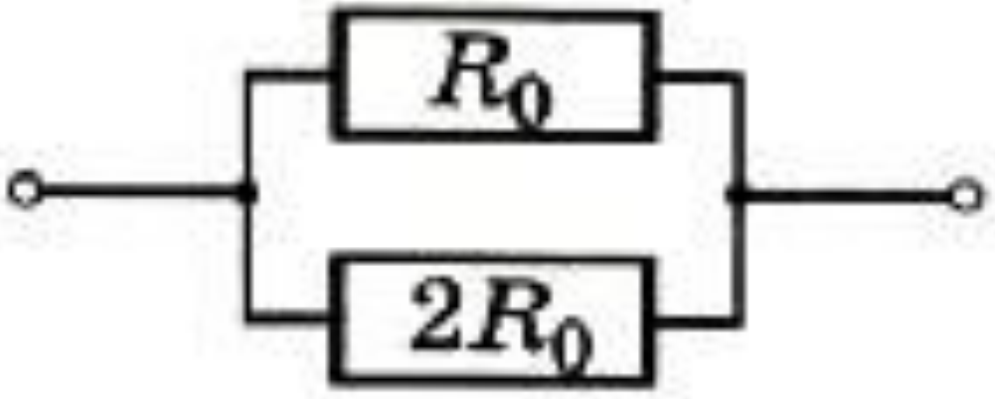
Чем больше потребителей включены в сеть параллельно, тем меньше сопротивление цепи. Если сопротивление становится меньше, то по закону Ома ток стает больше. Т.е. возрастает количество теплоты по закону Джоуля-Ленца, выделяемое проводами сетевого удлинителя или тройника. Это ситуация близкая к КЗ. В результате провода начнут плавиться, может начаться пожар.

Образцы заданий ЕГЭ

К содержанию

А1. Сопротивление участка цепи, изображённого на рисунке, равно

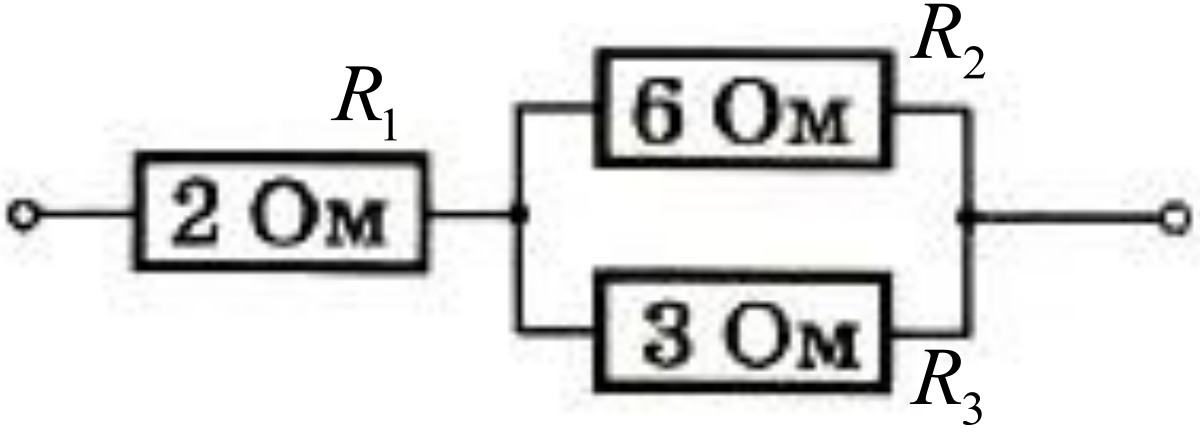
1) $2R_0/3$
2) $3R_0$
3) $1.5R_0$
4) $R_0/3$



$$R = \frac{R_0 \cdot 2R_0}{R_0 + 2R_0} = \frac{2R_0^2}{3R_0} = \frac{2R_0}{3}$$

А2. Сопротивление участка цепи, изображённого на рисунке, равно

1) 11 Ом
2) 6 Ом
3) 4 Ом
4) 1 Ом

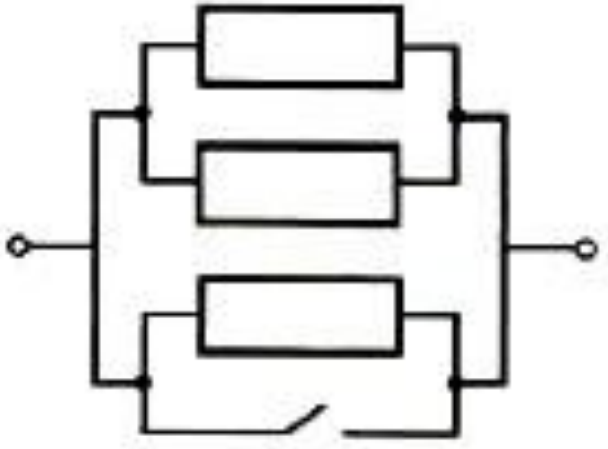


$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{6Ом \cdot 3Ом}{6Ом + 3Ом} = \frac{18Ом^2}{9Ом} = 2Ом$$

$$R_{123} = R_1 + R_{23} = 2Ом + 2Ом = 4Ом$$

А3. Каким будет сопротивление участка цепи, изображённого на рисунке, при замыкании ключа? Каждый из резисторов имеет сопротивление R.

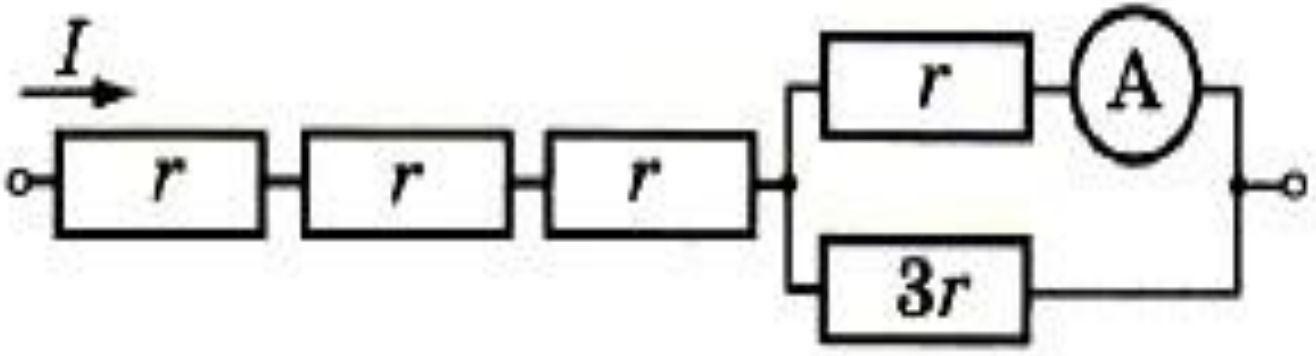
1) R
2) R/2
3) R/3
4) 0



При параллельном соединении складываются проводимости (1/R). Проводимость замкнутого ключа по сравнению с резисторами бесконечна.
Т.е. проводимость всего участка цепи будет бесконечной, а сопротивление – нулевым.

А4. Через участок цепи идёт постоянный ток. Сила тока I = 8 А. Какую силу тока показывает амперметр? Сопротивление амперметра не учитывайте.

1) 2 А
2) 3 А
3) 6 А
4) 12 А



$$I = I_r + I_{3r}$$

$$I_r > I_{3r}, I_{3r} = \frac{I_r}{3}$$

$$I = I_r + \frac{I_r}{3} \Rightarrow I = \frac{4I_r}{3} \Rightarrow I_r = \frac{3I}{4} = \frac{3 \cdot 8A}{4} = 6A$$

Решение задач

К содержанию

№1. Параллельно амперметру, имеющему сопротивление $R_a = 0.5$ Ом, подсоединен медный провод длиной 0.4 м и диаметром 0.001 м. Удельное сопротивление меди $\rho = 1.7*10^{-8}$ Ом*м. Определите полную силу тока в цепи, если амперметр показывает силу тока $I_a = 0.2$ А.

$$I = I_{амперметр} + I_{провод}$$

$$I_{амперметр} = 0.2A \quad I_{провод} - ?$$

$$I_{провод} = \frac{U_{провод}}{R_{провод}}, R_{провод} = \frac{\rho l}{S} \Rightarrow I_{провод} = \frac{U_{провод} S}{\rho l}$$

$$S = \pi R^2 = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow I_{провод} = \frac{U_{провод}}{\rho l} \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

$$U = U_{амперметр} = U_{провод} - ?$$

$$I_{амперметр} = \frac{U_{амперметр}}{R_{амперметр}} \Rightarrow U_{амперметр} = I_{амперметр} \cdot R_{амперметр}$$

$$U = 0.2A \cdot 0.5Ом = 0.1B$$

$$I_{провод} = \frac{0.1B}{1.7 \cdot 10^{-8} Ом \cdot м \cdot 0.4м} \cdot \frac{3.14 \cdot (10^{-3} м)^2}{4} = 11.775A$$

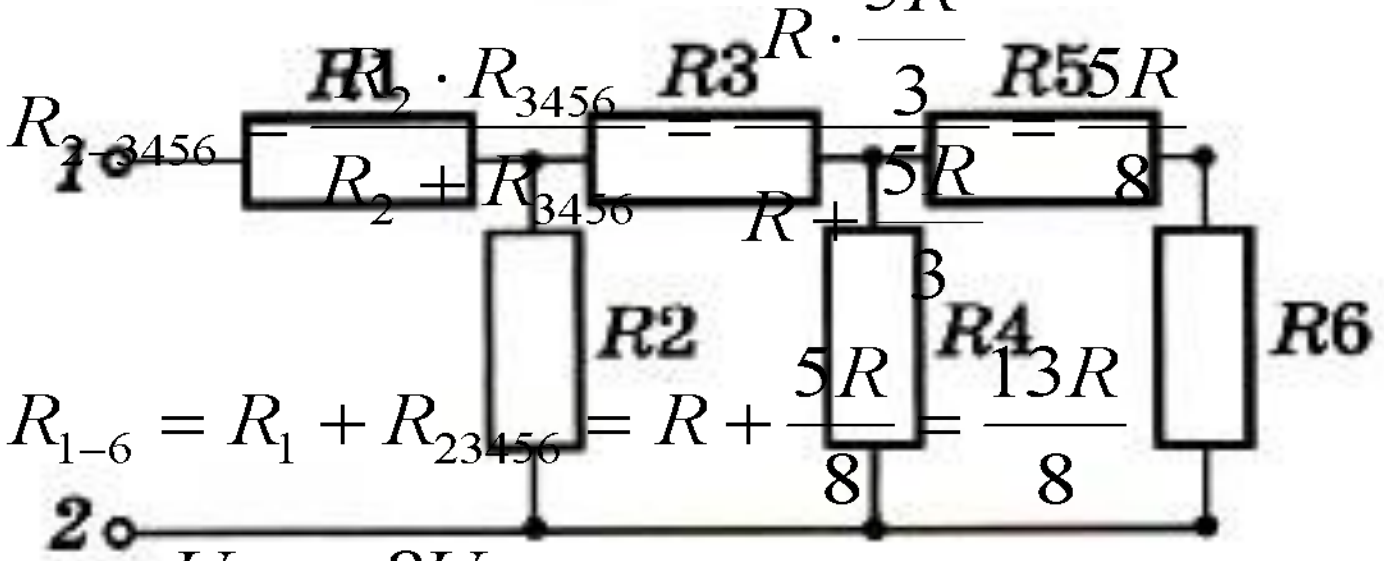
№2. На рисунке все сопротивления резисторов равны R. Определите эквивалентное сопротивление цепи. Чему равна полная сила тока в цепи, если на клеммы 1,2 подано напряжение U?

$$R_{56} = R_5 + R_6 = 2R$$

$$R_{4-56} = \frac{R_4 \cdot R_{56}}{R_4 + R_{56}} = \frac{R \cdot 2R}{R + 2R} = \frac{2R}{3}$$

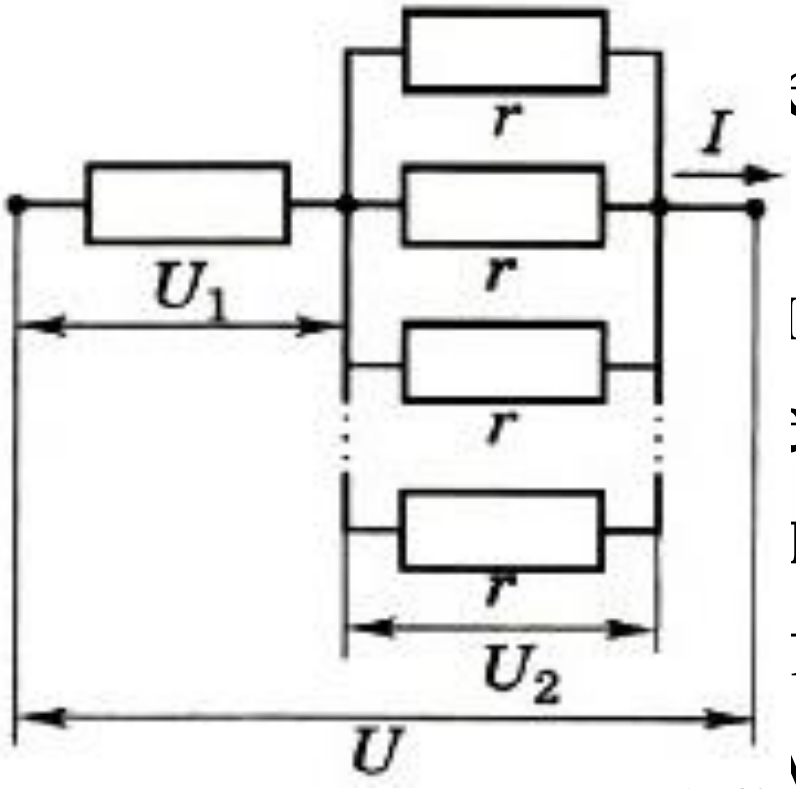
$$R_{3-456} = R_3 + R_{4-56} = \frac{2R}{3} + \frac{5R}{3} = \frac{7R}{3}$$

$$R_{2-3456} = \frac{R_2 \cdot R_{3456}}{R_2 + R_{3456}} = \frac{R \cdot \frac{5R}{3}}{R + \frac{5R}{3}} = \frac{5R}{8}$$



$$R_{1-6} = R_1 + R_{23456} = R + \frac{5R}{8} = \frac{13R}{8}$$

$$I = \frac{U}{R_{1-6}} = \frac{8U}{13R}$$



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

$$I_1 = \frac{U_1}{R}, I_2 = \frac{U_2}{r_{10}}$$

$$r_{10} = \frac{r}{10}, U_1 = U - U_2$$

$$\frac{U - U_2}{R} = \frac{10U_2}{r}$$

$$(U - U_2)r = 10U_2R$$

$$Ur - U_2r = 10U_2R$$

$$Ur = 10U_2R + U_2r$$

$$Ur = U_2(10R + r)$$

$$U_2 = \frac{Ur}{10R + r}$$

епи с напряжением U

сопротивлением R

параллельно десять

ющих одинаковое

гивление r.

пряжение на каждой

мпочке.

$$I = q_0 n S \overline{\upsilon}, q_0 = e$$

№4. К концам медного проводника длиной 300 м приложено напряжение 36 В. Определите среднюю скорость упорядоченного движения электронов в проводнике, если концентрация электронов проводимости в меди $8.5 * 10^{28}$ м$^{-3}$, а удельное сопротивление $1.7 * 10^{-8}$ Ом*м.

$$\begin{cases} I = \dfrac{U}{R} \\ R = \dfrac{\rho l}{S} \end{cases} \Rightarrow I = \frac{US}{\rho l}$$

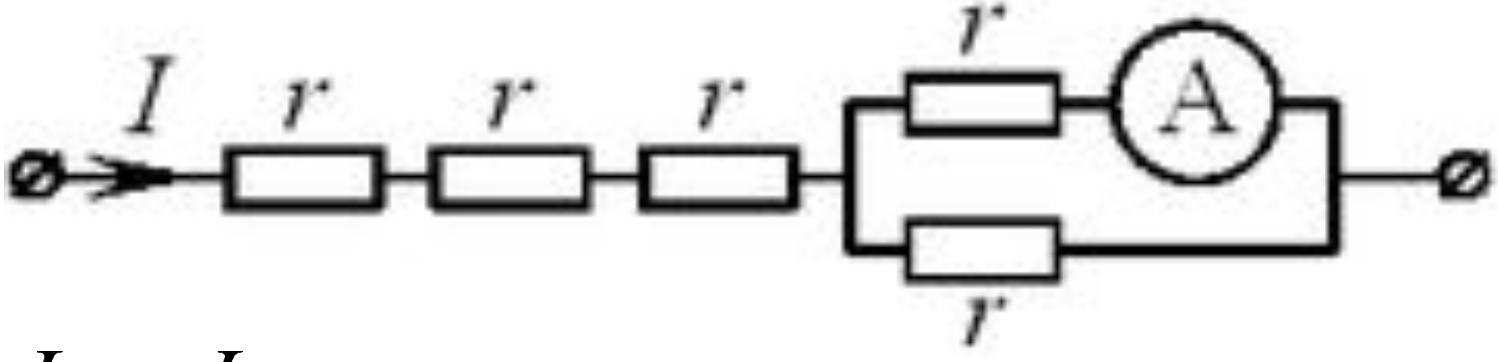
$$enS\overline{\upsilon} = \frac{US}{\rho l} \Rightarrow \overline{\upsilon} = \frac{US}{enS\rho l} = \frac{U}{en\rho l}$$

$$\overline{\upsilon} = \frac{36B}{1.6 \cdot 10^{-19} Кл \cdot 8.5 \cdot 10^{28} \frac{1}{м^3} \cdot 1.7 \cdot 10^{-8} Ом \cdot м \cdot 300 м} =$$

$$= \frac{36B}{69360} \approx 5.2 \cdot 10^{-4} \, м/с$$

№5. Через участок цепи течёт постоянный ток $I = 10$ А.

Какую силу тока показывает амперметр? Сопротивлением амперметра пренебречь.



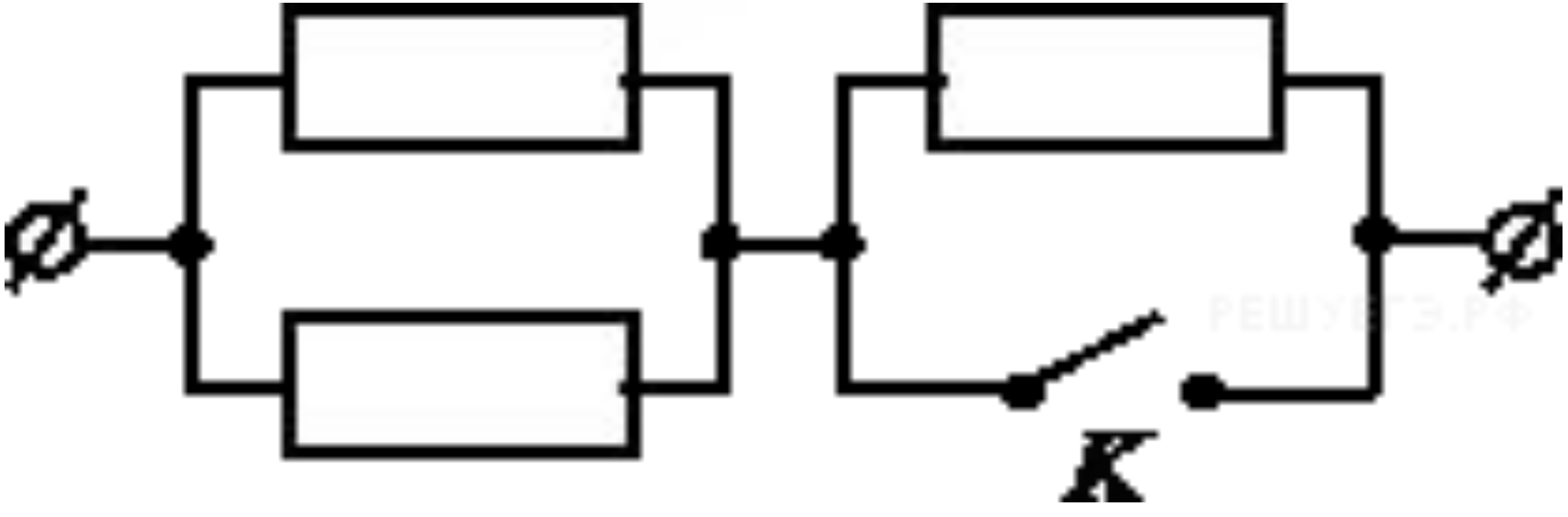
$$I_r = I_r$$

$$I = I_r + I_r = 2I_r$$

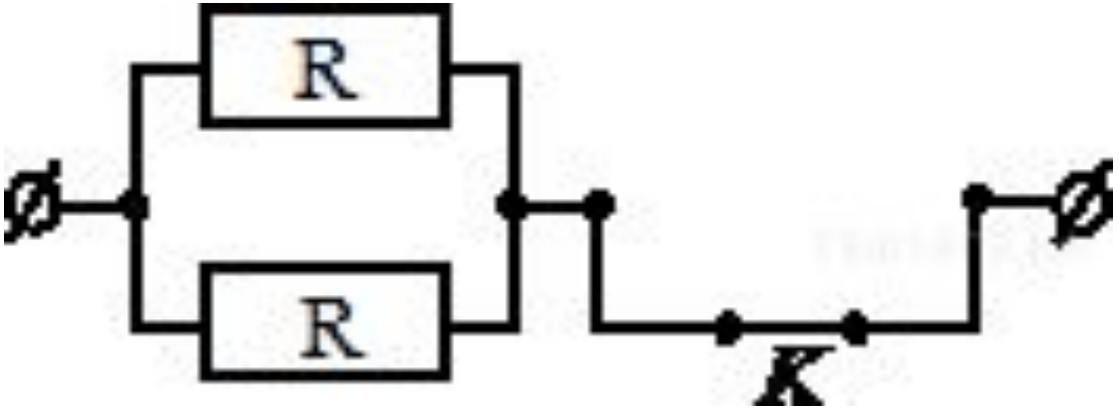
$$I_r = \frac{I}{2} = \frac{10A}{2} = 5A$$

№6. На участке цепи, изображенном на рисунке, сопротивление каждого из резисторов равно R.

Чему равно полное сопротивление участка при замкнутом ключе K?

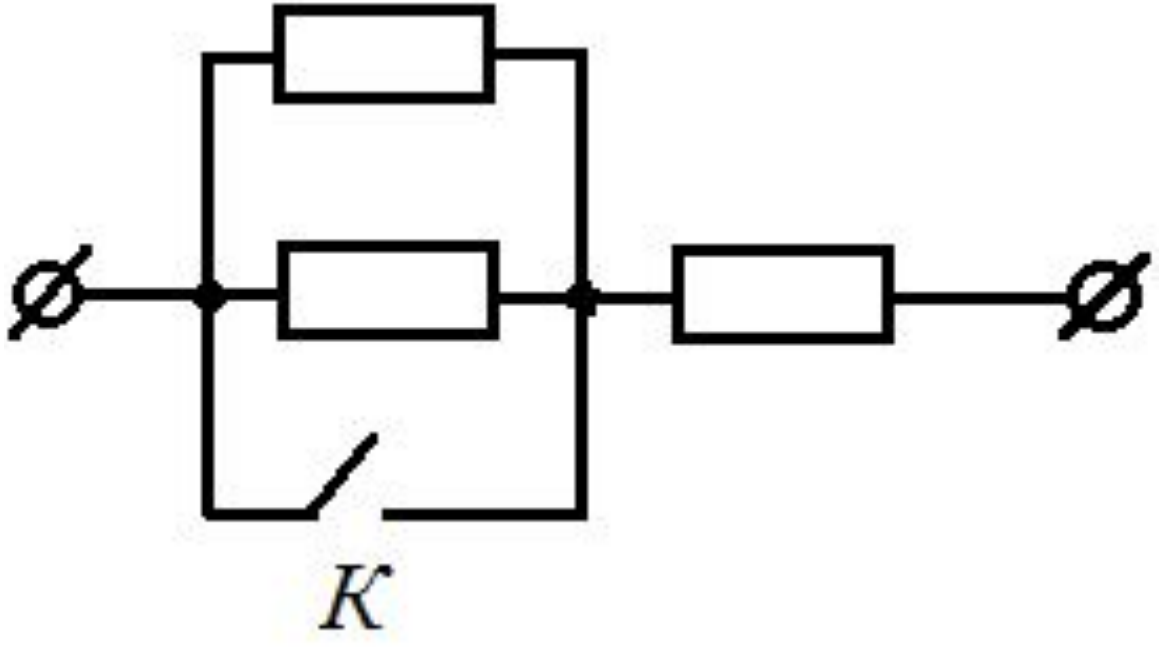


После замыкания ключа правая половина схемы окажется закороченной, получившаяся схема будет эквивалента двум подключенным параллельно резисторам.

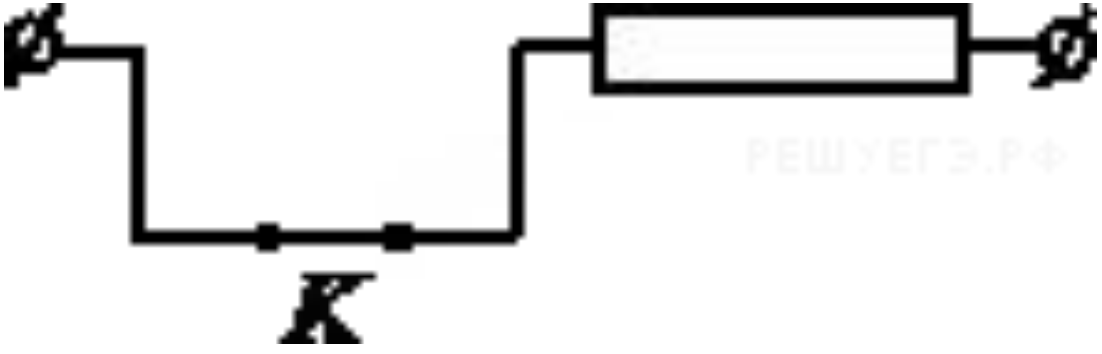


$$R_{полное} = \frac{R}{n} = \frac{R}{2}$$

№7. На участке цепи сопротивление каждого из резисторов равно R. Чему равно полное сопротивление участка при замкнутом ключе K?

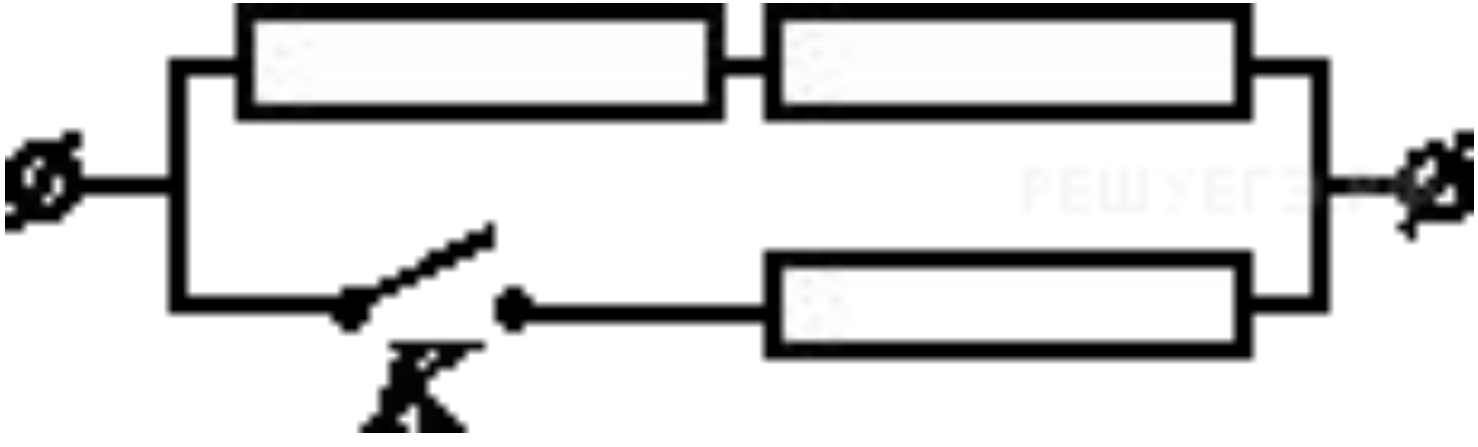


После замыкания ключа левая половина схемы окажется закороченной, получившаяся схема будет эквивалента просто одному резистору.

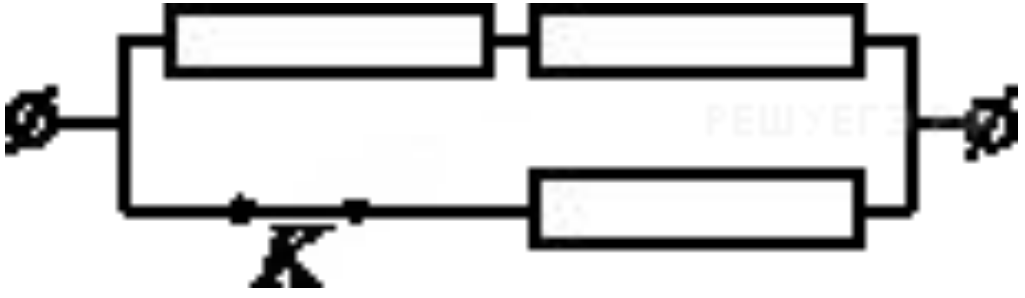


$$R_{полное} = R$$

№8. На участке цепи сопротивление каждого из резисторов равно R. Чему равно полное сопротивление участка при замкнутом ключе K?

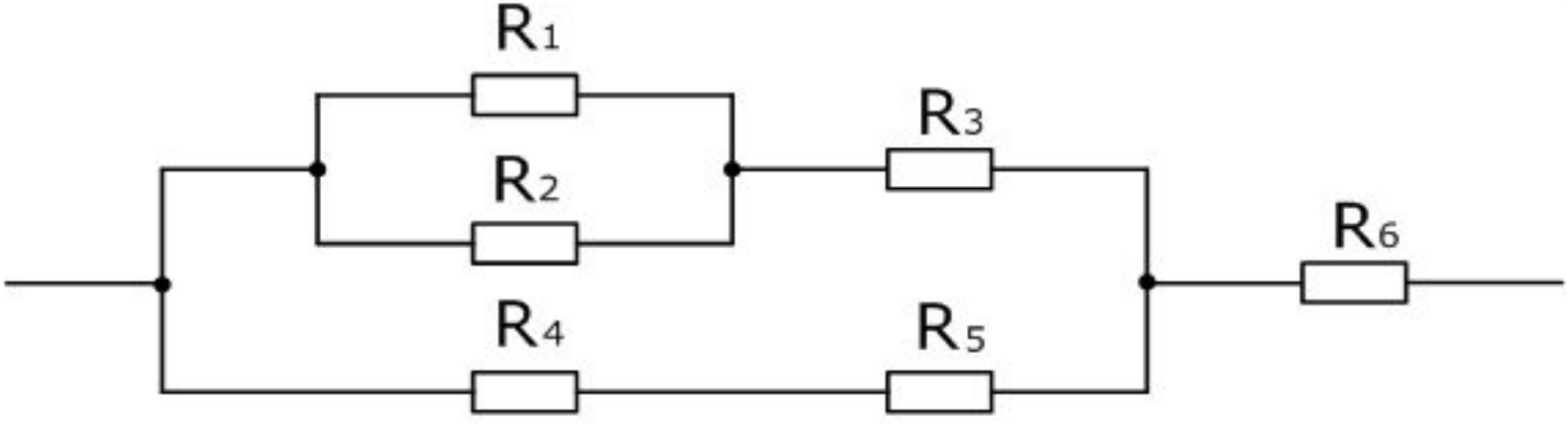


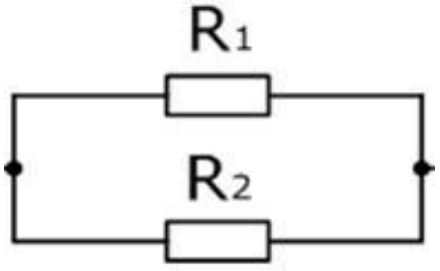
После замыкания ключа схема будет представлять собой параллельное сопротивление резистора с двумя последовательно соединенными резисторами.



$$R_{полное} = \frac{2R \cdot R}{2R + R} = \frac{2R^2}{3R} = \frac{2R}{3}$$

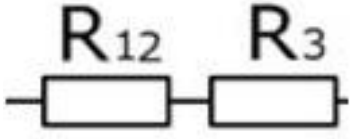
№9. Найти общее сопротивление участка цепи, если R_1=10 Ом, R_2=20 Ом, R_3=105 Ом, R_4=20 Ом, R_5=40 Ом, R_6=15 Ом.





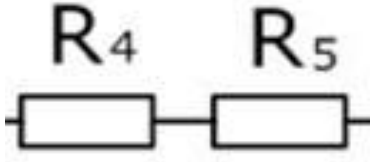
$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{12} = \frac{10Ом \cdot 20Ом}{10Ом + 20Ом} \approx 6.7Ом$$



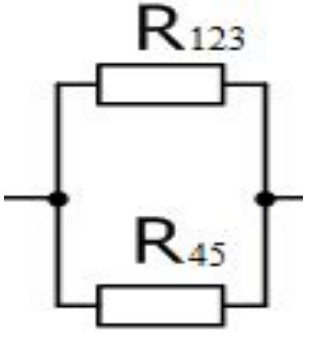
$$R_{123} = R_{12} + R_3$$

$$R_{123} = 6.7Ом + 105Ом = 111.7Ом$$



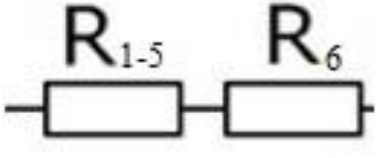
$$R_{45} = R_4 + R_5$$

$$R_{45} = 20Ом + 40Ом = 60Ом$$



$$R_{1-5} = \frac{R_{123} \cdot R_{45}}{R_{123} + R_{45}}$$

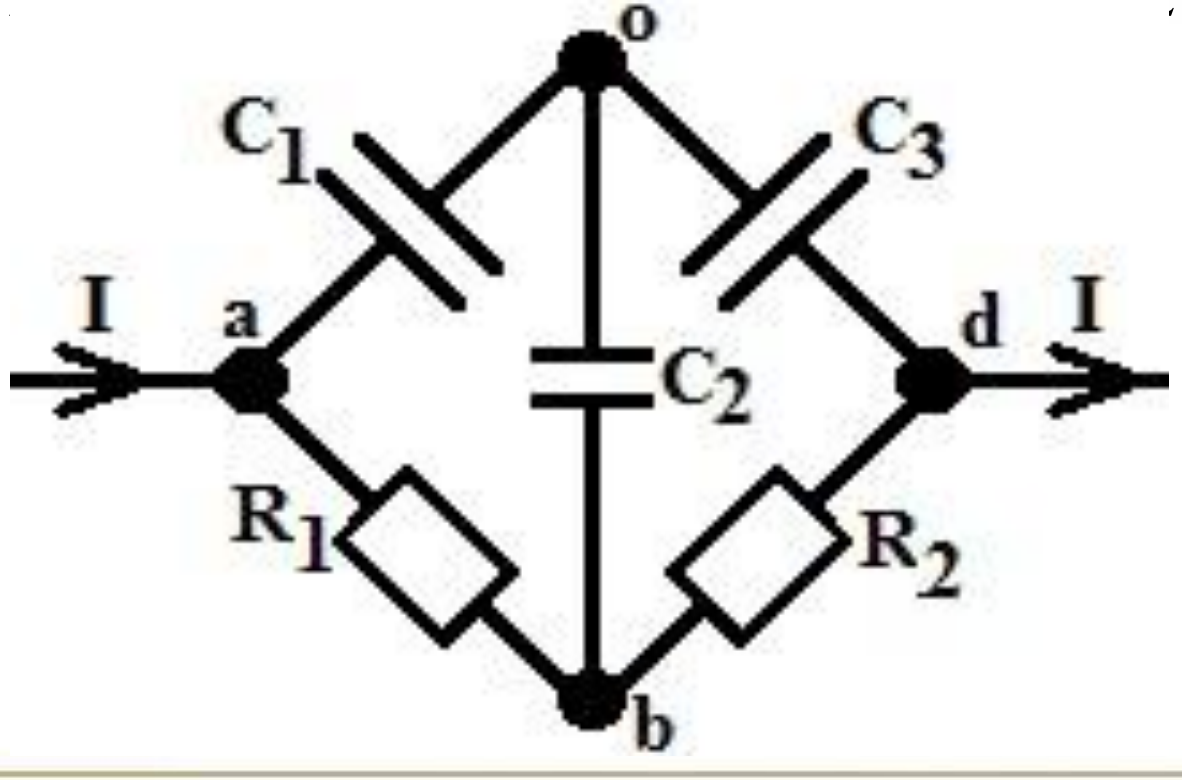
$$R_{1-5} = \frac{111.7Ом \cdot 60Ом}{111.7Ом + 60Ом} = 39Ом$$



$$R_{1-6} = R_{1-5} + R_6$$

$$R_{1-6} = 39Ом + 15Ом = 54Ом$$

№10. На рисунке представлен замкнутый контур некоторой разветвленной электрической цепи. Определите заряды конденсаторов C_1, C_2 и C_3.
Если $C_1 = C_3 = C$, $C_2 = 2C$, $R_1 = R$, $R_2 = 2R$.



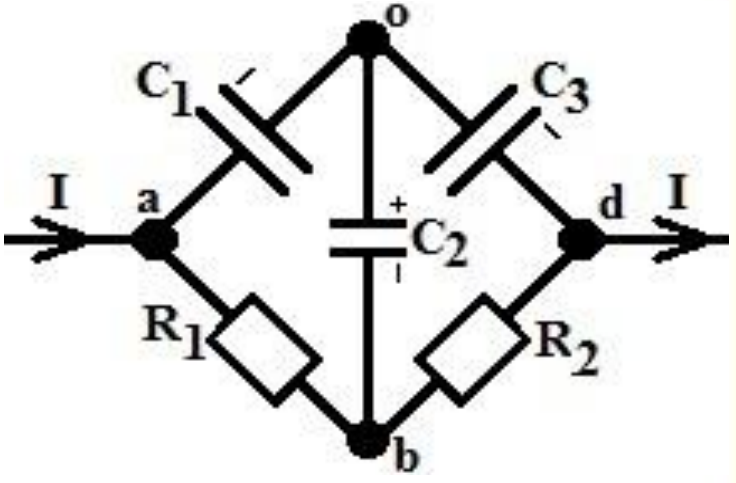
После зарядки конденсаторов на них появятся заряды Q_1, Q_2, Q_3, токи в них прекратятся.
Ток будет протекать через сопротивления R_1 и R_2.

$$aoba: \ U(C_1)+U(C_2)+IR=0$$

$$dobd: \ U(C_3)+U(C_2)-2IR=0$$

$$в \ точке \ o: \ Q_1+Q_2-Q_3=0$$

$$Q=CU \Rightarrow U=\frac{Q}{C}$$

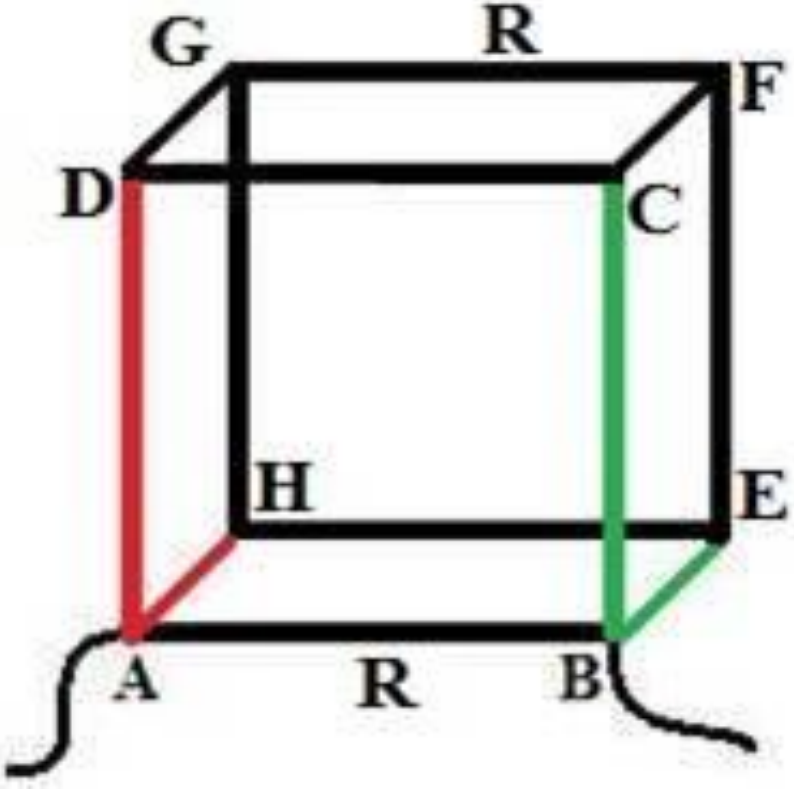


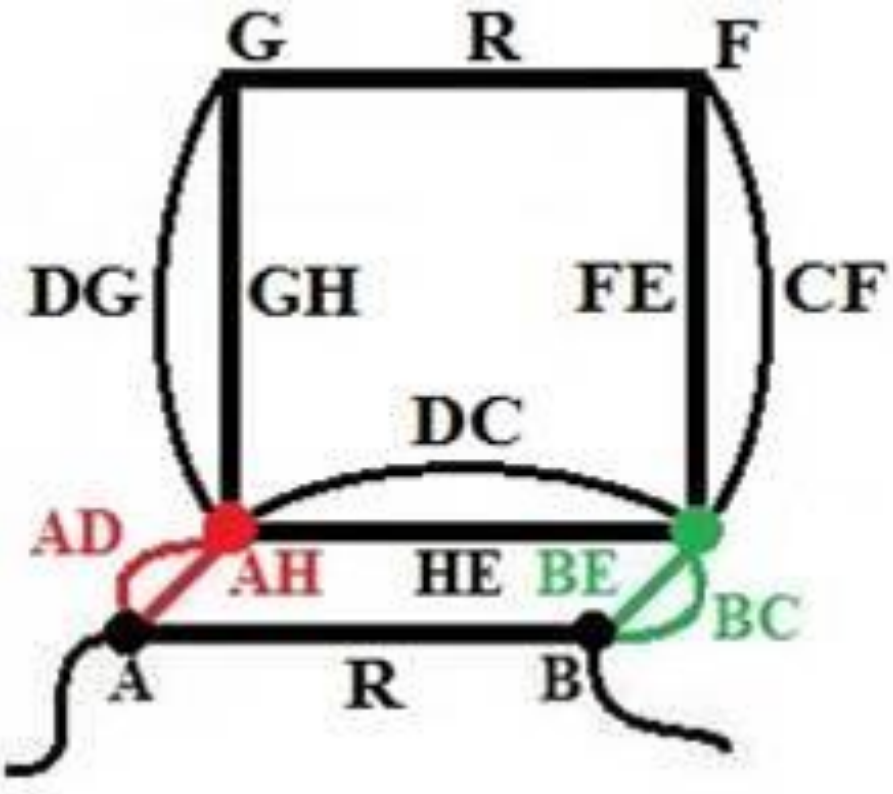
$$aoba: \ \frac{Q_1}{C}+\frac{Q_2}{2C}+IR=0$$

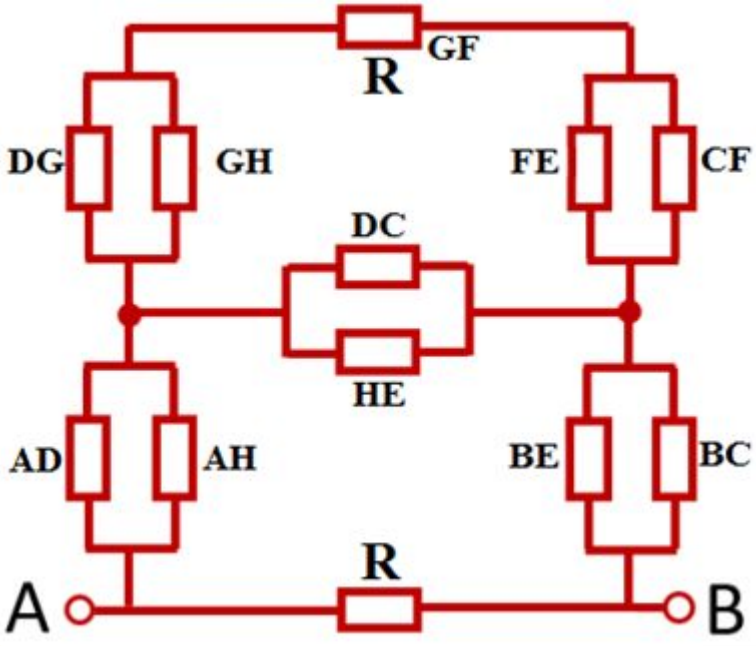
$$dobd: \ \frac{Q_3}{C}+\frac{Q_2}{2C}-2IR=0$$

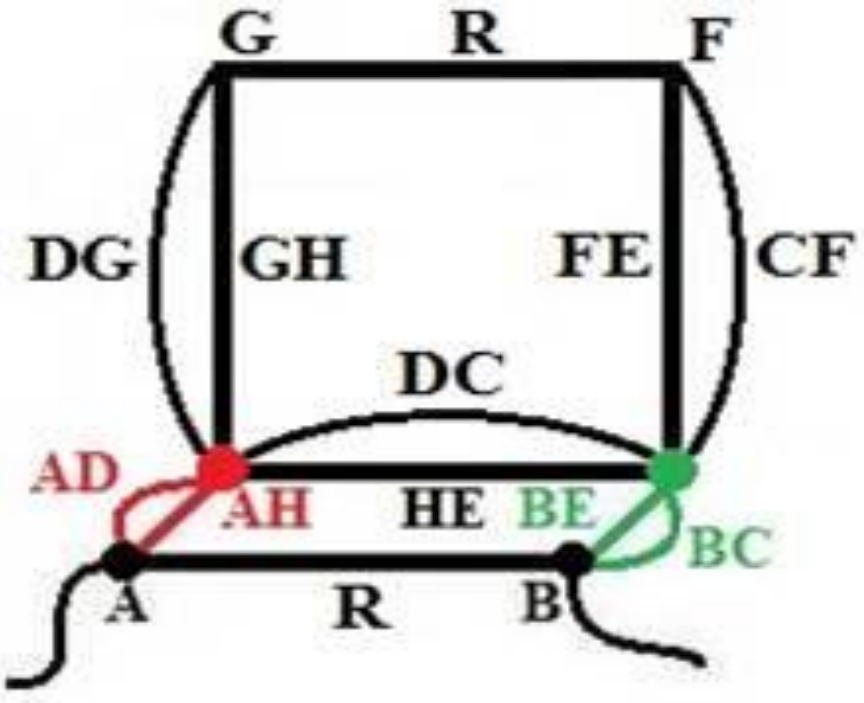
$$Q_1=\frac{3}{4}IRC, \ Q_2=\frac{1}{2}IRC, \ Q_3=\frac{5}{4}IRC$$

№11. Найти сопротивление между соседними вершинами проволочного куба. Сопротивление каждого из ребер равно R.









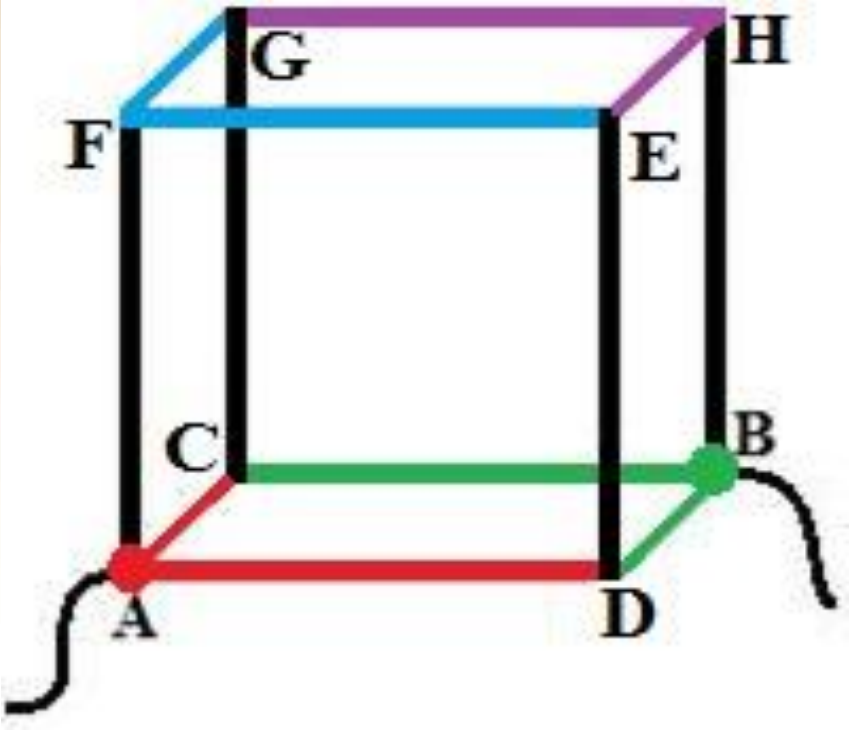
$$R_I = \frac{R}{2} + R + \frac{R}{2} = 2R$$

$$\frac{1}{R_{I-II}} = \frac{1}{2R} + \frac{2}{R} = \frac{5}{2R} \Rightarrow R_{I-II} = \frac{2R}{5}$$

$$R_{III} = \frac{R}{2} + \frac{2R}{5} + \frac{R}{2} = \frac{14R}{10} = \frac{7R}{5}$$

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{5}{7R} + \frac{1}{R} = \frac{12}{7R} \Rightarrow R_{AB} = \frac{7R}{12}$$

№12. Найти сопротивление между вершинами A и B проволочного куба. Сопротивление каждого из ребер равно R.

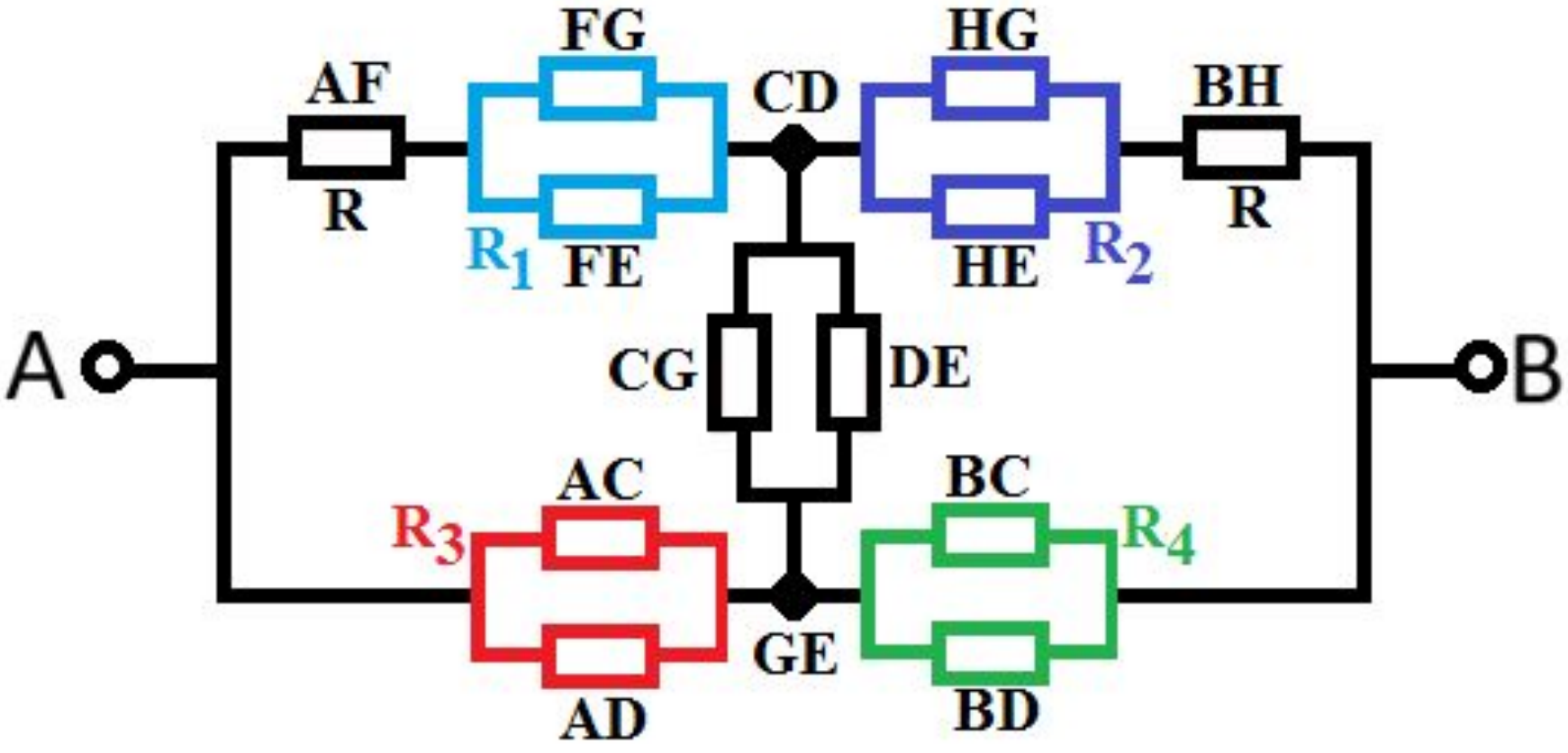


$$\varphi_{AC} = \varphi_{AD}$$

$$\varphi_{BC} = \varphi_{BD}$$

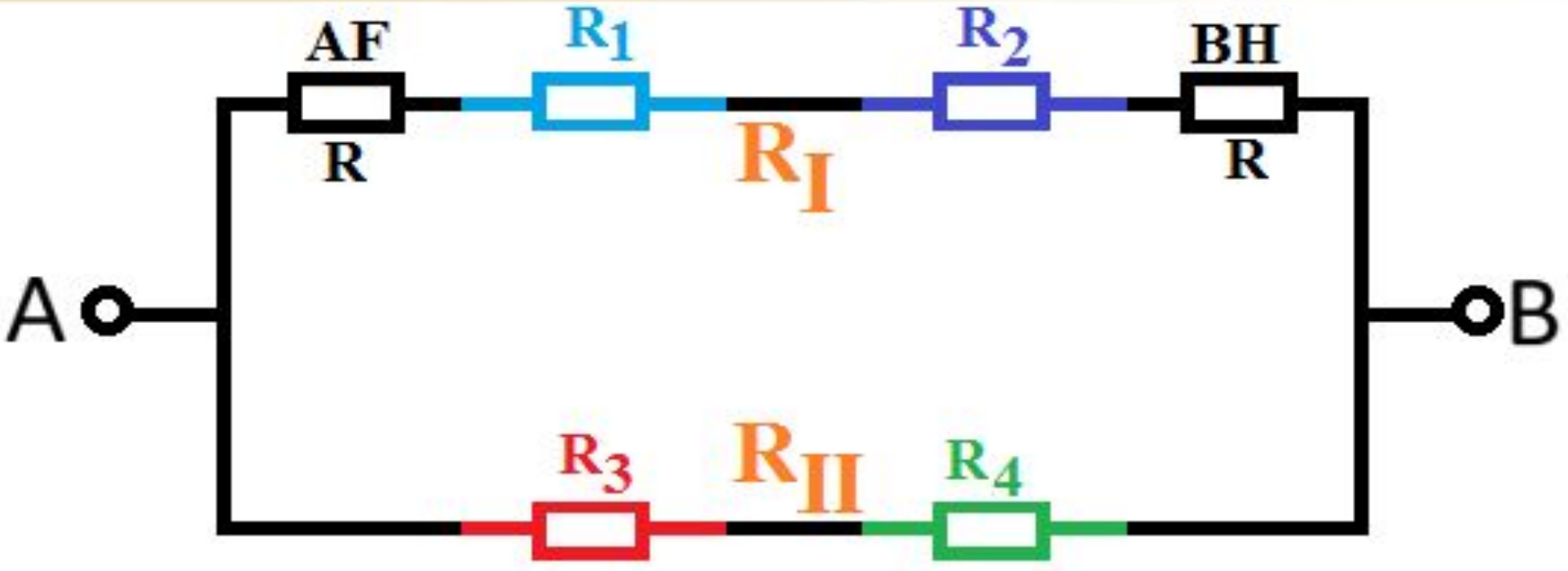
$$\varphi_{FG} = \varphi_{FE}$$

$$\varphi_{HG} = \varphi_{HE}$$



$$R_{общее} = \frac{R}{n}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = \frac{R}{2}$$

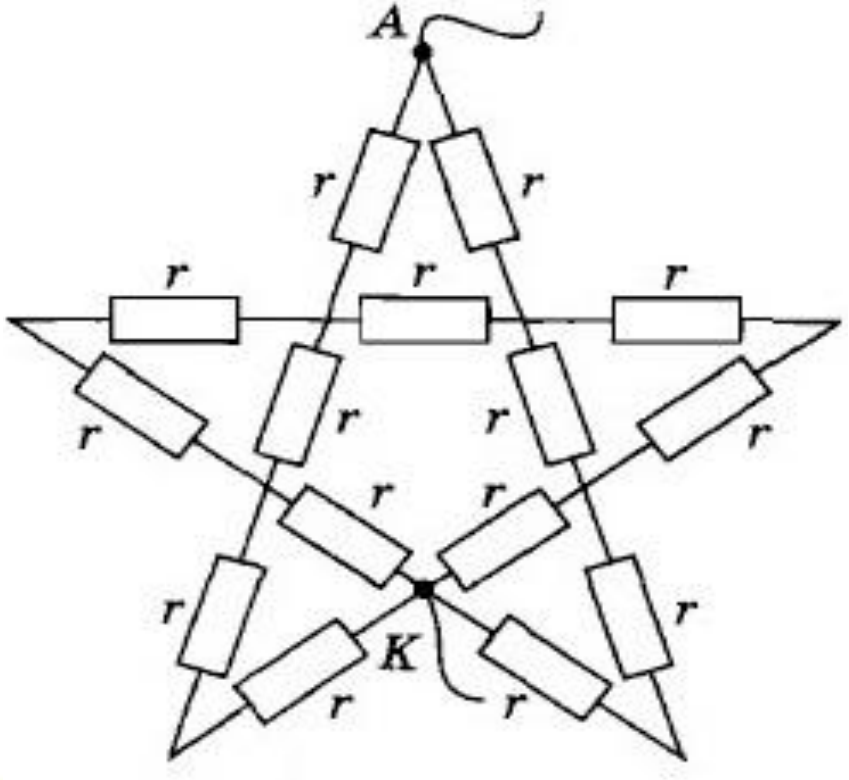


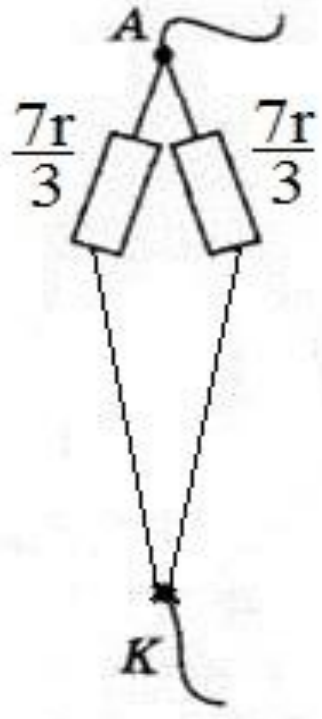
$$R_I = R + \frac{R}{2} + \frac{R}{2} + R = 3R$$

$$R_{II} = \frac{R}{2} + \frac{R}{2} = R$$

$$R_{AB} = \frac{R_I \cdot R_{II}}{R_I + R_{II}} = \frac{3R \cdot R}{3R + R} = \frac{3}{4} R$$

№13. Найдите сопротивление R_0 пятиконечной звезды, все участки которой обладают одинаковым сопротивлением r. Подводящие провода присоединены к точкам А и К.





$$r_{\substack{остриё \\ послед}} = r + r = 2r$$

$$r_{\substack{остриё \\ парал}} = \frac{2r \cdot r}{2r + r} = \frac{2r}{3}$$

$$r_I = r_{II} = \frac{2r}{3} + \frac{2r}{3} = \frac{4r}{3}$$

$$r_1 = r_2 = \frac{4r}{3} + r = \frac{7r}{3}$$

$$r_{AK} = \frac{r}{n} = \frac{7r}{3 \cdot 2} = \frac{7r}{6}$$

Работа и мощность электрического тока

К содержанию

Работа тока –

работа электрического поля по переносу электрических зарядов вдоль проводника.

$$\left.\begin{array}{l} U = \dfrac{A}{q} \Rightarrow A = Uq \\ I = \dfrac{q}{t} \Rightarrow q = It \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{A = UIt}$$

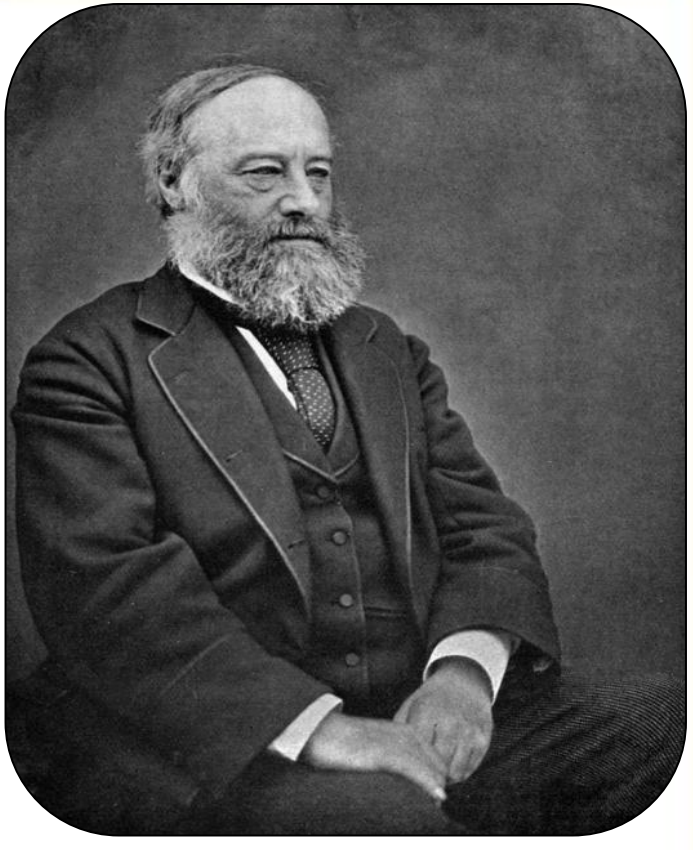
Энергия, выделяемая на данном участке цепи за время Δt, равна работе тока.

Закон Джоуля–Ленца

Количество теплоты,
выделяемой в проводнике с током,
равно произведению квадрата силы тока,
сопротивления проводника и времени
прохождения тока по проводнику.

$$Q = I^2 Rt \ [Дж]$$

Джеймс Прескотт Джоуль
(24.12.1818 – 11.10.1889)



Английский физик,
внесший значительный вклад в
становление термодинамики.

Обосновал на опытах закон сохранения энергии.
Установил закон, определяющий тепловое действие электрического тока.
Вычислил скорость движения молекул газа и установил её зависимость от температуры.
Экспериментально и теоретически изучал природу тепла и обнаружил её связь с механической работой.
Работал с Томсоном над абсолютной шкалой температуры.
Открыл связь между током, текущим через проводник с определённым сопротивлением и выделяющимся при этом количеством теплоты.

Эмилий Христианович Ленц

(12.02.1804 – 29.01.1865)

Русский физик немецкого происхождения, один из основоположников электротехники.

Регулярно выезжал в научные экспедиции,
в т.ч. и на Эльбрус!
В 1833 г. установил правило определения
направления электродвижущей силы индукции.
В 1842 г. независимо от Дж. Джоуля –
закон теплового действия электрического тока
(закон Джоуля-Ленца).
Совместно с Б. С. Якоби впервые разработал методы
расчета электромагнитов в электрических машинах.

Мощность электрического тока – отношение произведенной им работы ко времени в течение которого совершена работа.

$$P = \frac{A}{t}[Bm]$$

Джеймс Уатт

(19.01.1736 – 19.08.1819)

Шотландский инженер, изобретатель-механик. Ввёл первую единицу мощности – лошадиную силу.

$$\left.\begin{array}{l} P=\dfrac{A}{t} \\ A=UIt \end{array}\right\} \Rightarrow P=\frac{UIt}{t}=UI, \boxed{P=UI}$$

$$\left.\begin{array}{l} P=UI \\ I=\dfrac{U}{R} \end{array}\right\} \Rightarrow P=U\frac{U}{R}=\frac{U^2}{R}, \boxed{P=\frac{U^2}{R}}$$

$$\left.\begin{array}{l} P=UI \\ U=IR \end{array}\right\} \Rightarrow P=IR\cdot R=IR^2, \boxed{P=IR^2}$$

Образцы заданий ЕГЭ

К содержанию

А1. Чему равна работа электрического тока за 10 мин, если напряжение на концах проводника равно 10 В, а сила тока равна 1.5 А?

1) 150 Дж
2) 900 Дж
3) 1500 Дж
4) 9000 Дж

$$A = UIt$$

$$A = 10B \cdot 1.5A \cdot 600c = 9000Дж$$

А2. При прохождении по проводнику электрического тока в течение 2 мин совершается работа 96 кДж.
Сила тока 4 А. Чему равно сопротивление проводника?

1) 0.02 Ом
2) 50 Ом
3) 3 кОм
4) 15 кОм

$$\left.\begin{array}{l} A = UIt \\ I = \dfrac{U}{R} \Rightarrow U = IR \end{array}\right\} \Rightarrow A = I^2 Rt$$

$$R = \frac{A}{I^2 t} = \frac{96 \cdot 10^3\ Дж}{(4A)^2 \cdot 120c} = 50 Ом$$

А3. На цоколе лампы накаливания написано: 150 Вт, 220 В. Определите силу тока в спирали при включении лампы в сеть с номинальным напряжением.

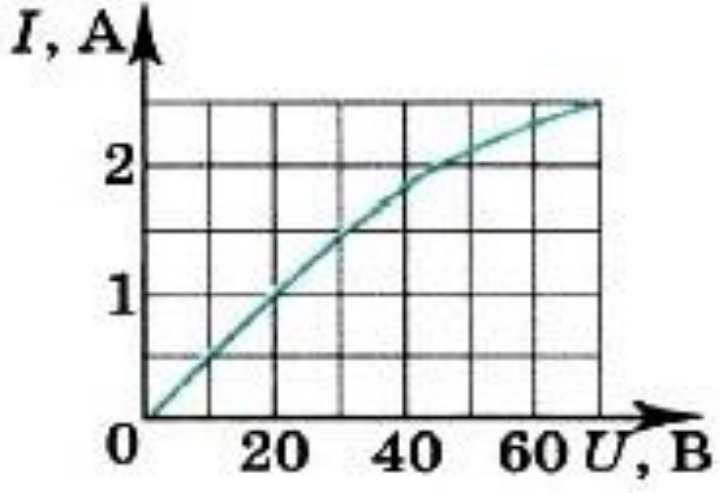
1) 0.45 А
2) 0.68 А
3) 22 А
4) 220 000 А

$$P = UI$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{150Bm}{220B} = 0.68A$$

Номинальным напряжением источников и приемников электроэнергии называется такое напряжение, на которое они рассчитаны в условиях нормальной работы.

А4. На рисунке показан график зависимости силы тока в лампе накаливания от напряжения на её клеммах. При напряжении 30 В мощность тока в лампе равна



1) 135 Вт
2) 67.5 Вт
3) 45 Вт
4) 20 Вт

$$P = IU$$

$$P = 1.5A \cdot 30B = 45Bm$$

А5. 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

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P \sim U^2$$

$$U^2 \downarrow \text{ в } 3 \text{ раза}$$

$$P \downarrow \text{ в } 9 \text{ раз}$$

Решение задач

К содержанию

№1. Плавкий предохранитель рассчитан на силу тока 10 А. Можно ли включать в сеть напряжением 220 В потребитель мощностью 10 кВт?

$$P = UI \Rightarrow I = \frac{P}{U}$$

$$I = \frac{10000\,Bm}{220\,B} = 45\,A > I_{допустимое} = 10\,A$$

№2. Сколько времени (в минутах) потребуется для испарения 132 г кипящей воды, если вода получает 50 % энергии, выделяющейся в электроплитке?

Напряжение на плитке 220 В, сила тока 4.6 А.

Удельная теплота парообразования воды 2.3 МДж/кг.

$$\left.\begin{aligned} Q &= I^2Rt \\ R &= \frac{U}{I} \end{aligned}\right\} \Rightarrow Q = IUt$$

$$Q = Lm$$

$$\frac{1}{2}IUt = Lm \Rightarrow t = \frac{2Lm}{IU}$$

$$t = \frac{2 \cdot 0.132кг \cdot 2.3 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг}}{4.6A \cdot 220B} = 600c = 10мин$$

№3. На сколько изменится температура воды в калориметре, если через нагреватель пройдет заряд 100 Кл? Напряжение на нагревателе 210В, масса воды 1 кг, удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг*К).

$$\Delta t = \frac{210\,В \cdot 100\,Кл}{4200\,\frac{Дж}{кг \cdot {}^0C} \cdot 1кг} = 5К = 5^0C$$

$$\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\% = \frac{cm(t_{кон} - t_{нач}) + Lm}{IUt} \cdot 100\%$$

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

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V$$

$$\left.\begin{array}{l} \eta = \dfrac{\rho V[c(t_{кон} - t_{нач}) + L]}{\dfrac{U}{R} U t} \cdot 100\% \\ \eta = \dfrac{\rho V[c(t_{кон} - t_{нач}) + L]}{\dfrac{U^2}{R} t} \cdot 100\% \end{array}\right\} \Rightarrow \eta = \frac{\rho V[c(t_{кон} - t_{нач}) + L] \cdot R}{U^2 t} \cdot 100\%$$

$$t = \frac{\rho V[c(t_{кон} - t_{нач}) + L] \cdot R}{\eta U^2} \cdot 100\%$$

$$t = \frac{10^3 \frac{кг}{м^3} \cdot 600 \cdot 10^{-6} м^3 \left[4200 \frac{Дж}{кг \cdot К}(100^0 C - 20^0 C) + 2.3 \cdot 10^6 \frac{Дж}{кг}\right] \cdot 30 Ом}{40\% \cdot (300 В)^2} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{600 \cdot 10^{-3} кг \cdot 2.636 \cdot 10^6 \frac{В^2 с}{кг \cdot Ом} \cdot 30 Ом \cdot 10^{-4}}{40 \cdot 9 В^2} = \frac{18 \cdot 26360 с}{360} = 1318 с$$

$$\left[\begin{array}{l} Дж = A \cdot В \cdot с \\ A = \dfrac{В}{Ом} \end{array}\right\} \Rightarrow Дж = \frac{В^2 с}{Ом}\right]$$

№4. Электрический чайник с водой объемом 600 см^3 при температуре 20 °С забыли выключить. Через сколько секунд после этого вся вода выкипит? Нагреватель чайника имеет сопротивление 30 Ом и включен в сеть с постоянным напряжением 300 В. КПД чайника 40 %. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг•К), удельная теплота парообразования воды 2.3 МДж/кг.

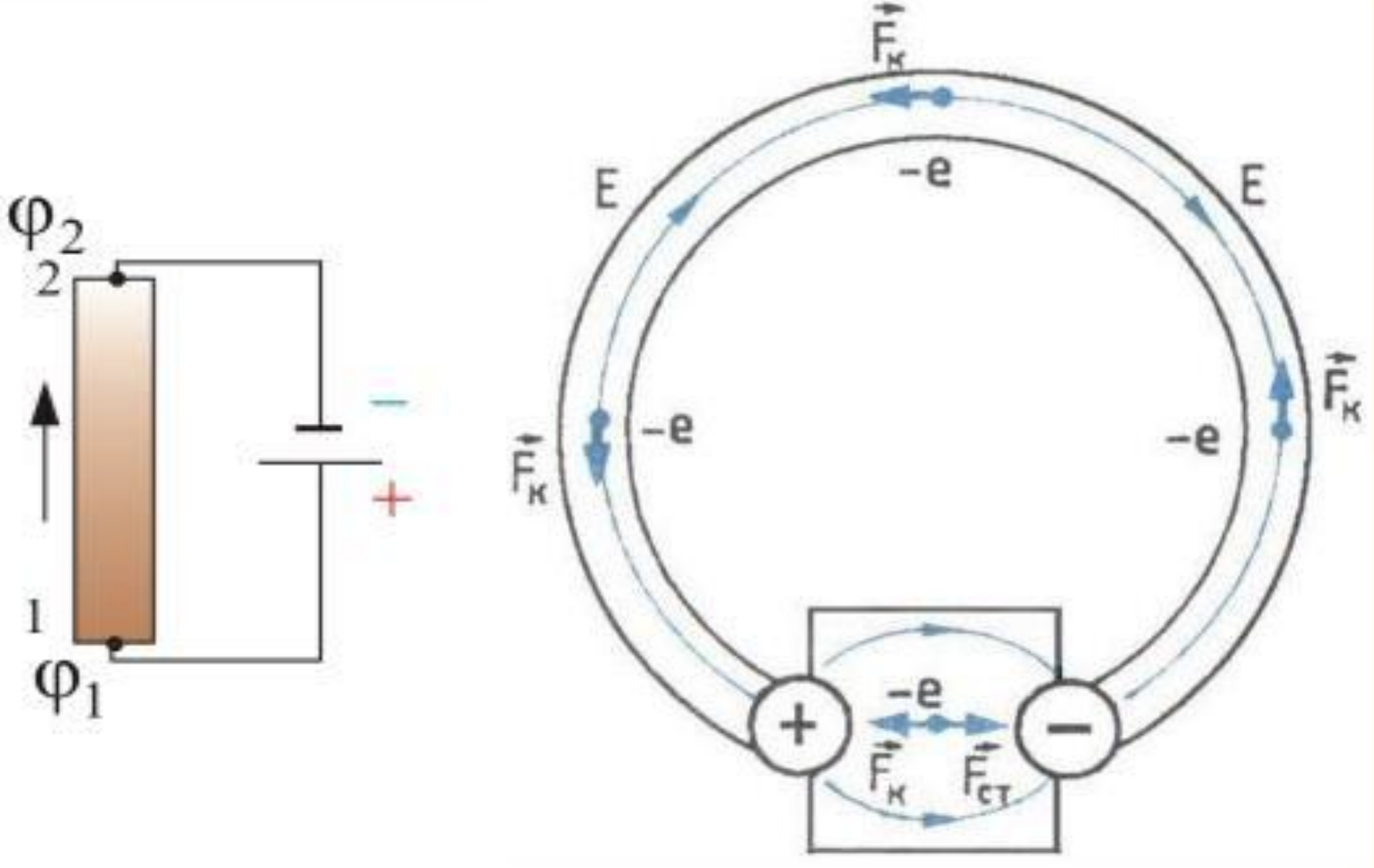
№5. Электрическая кастрюля и чайник, потребляющие мощности 600 и 300 Вт, включены в сеть параллельно, и вода в них закипает одновременно через 20 минут. На сколько минут позже закипит вода в кастрюле, чем в чайнике, если их включить последовательно?

Электродвижущая сила

К содержанию

Чтобы поддерживать ток достаточно длительное время, необходим круговорот зарядов.

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


φ2
2
1
φ1
−
+
E
E
-e
-e
-e
-e
-e
+
−
Fк
Fк
Fк
Fк
Fк
Fст

Сторонние силы –
любые силы, действующие на электрически заряженные частицы, за исключением сил электростатического происхождения (т. е. кулоновских): химические процессы, диффузия носителей заряда, вихревые электрические поля.

Электродвижущая сила источника тока (ЭДС) – величина, равная отношению работы сторонних сил при перемещении заряда по замкнутому контуру к абсолютной величине этого заряда

$$\xi = \frac{A_{ст}}{q} \quad [B]$$

В СССР в 1950–1960 гг. батарея имела торговое название **КБС** (карманная батарея сухая), позже **3336** и **«Планета»**.
Состоит из трех элементов типоразмера R12 (336) в общем корпусе, соединенных последовательно.
ЭДС: 4.5 В.

ЭДС –
это напряжение на зажимах аккумулятора без какой-либо нагрузки.

Внутреннее сопротивление источника тока – количественная характеристика источника тока, которая определяет величину энергетических потерь при прохождении через источник электрического тока.

$$R_{\text{ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЦЕПИ}} = R + r$$

$$\Rightarrow Q = I^2 Rt + I^2 rt$$

$$\left.\begin{aligned} \xi = \frac{A_{cm}}{q} \Rightarrow A_{cm} = \xi q \\ I = \frac{q}{t} \Rightarrow q = It \end{aligned}\right\} \Rightarrow A_{cm} = \xi It$$

$$A_{cm} = Q \Rightarrow I^2 Rt + I^2 rt = \xi It$$

$$\xi = \frac{I^2 Rt + I^2 rt}{It} = IR + Ir$$

Падение напряжения –

постепенное уменьшение
напряжения вдоль проводника,
по которому течёт электрический ток,
обусловленное тем, что проводник
обладает активным сопротивлением;

величина, на которую меняется
потенциал при переходе из одной
точки цепи в другую.

Падение напряжения на сопротивлении:

$$\mathbf{U = IR}$$

Если в электрической цепи только одно сопротивление, всё напряжение источника падает на этом сопротивлении.

Если в цепи имеются два сопротивления, соединенные последовательно, то сумма падений напряжения, равна напряжению источника: $\mathbf{U_{ист} = U_1 + U_2}$.

ЭДС равна сумме падений напряжения на внутреннем и внешнем участках замкнутой цепи

$$\xi = IR + Ir$$

Последовательное соединение источников эквивалентно источнику тока с большой ЭДС, однако при этом возрастает его внутреннее сопротивление.

При параллельном соединении **n** одинаковых элементов в батарею ЭДС не меняется, а внутреннее сопротивление уменьшается в **n** раз.

Показания вольтметра при разомкнутом и замкнутом ключе различаются, потому что у источника питания появляется нагрузка в виде резистора.

При подключении нагрузки (резистора) напряжение на источнике будет падать, т. к. источник не идеальный.

Закон Ома для полной цепи

К содержанию

Закон Ома для замкнутой цепи

Сила тока в замкнутой цепи равна отношению ЭДС источника тока к полному сопротивлению цепи:

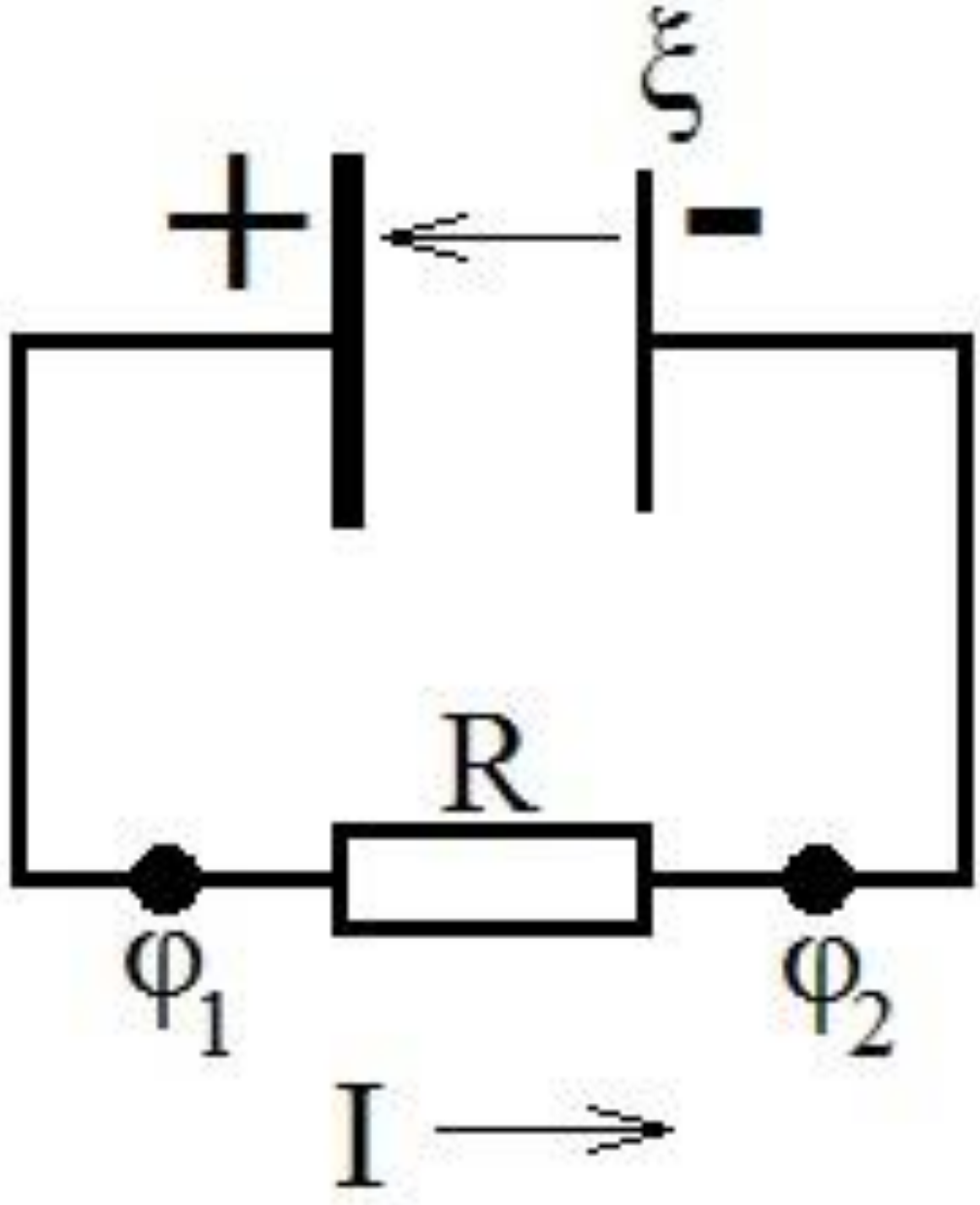
$$\xi = IR + Ir = I\left(R + r\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{I = \frac{\xi}{R + r}}$$

Если … к идет от

т.е. … ти поля
сторо… авлением
тока … очника
… й.

В пр… итается



Сила тока короткого замыкания – максимальная сила тока, которую можно получить от данного источника с электродвижущей силой ξ и внутренним сопротивлением r.

$$R \approx 0 \Rightarrow I_{КЗ} = \frac{\xi}{r}$$

У источников с малым внутренним сопротивлением ток короткого замыкания может быть очень велик и вызывать разрушение электрической цепи или источника.

Чтобы этого избежать, в цепь включаются предохранители или специальные автоматы защиты сетей.

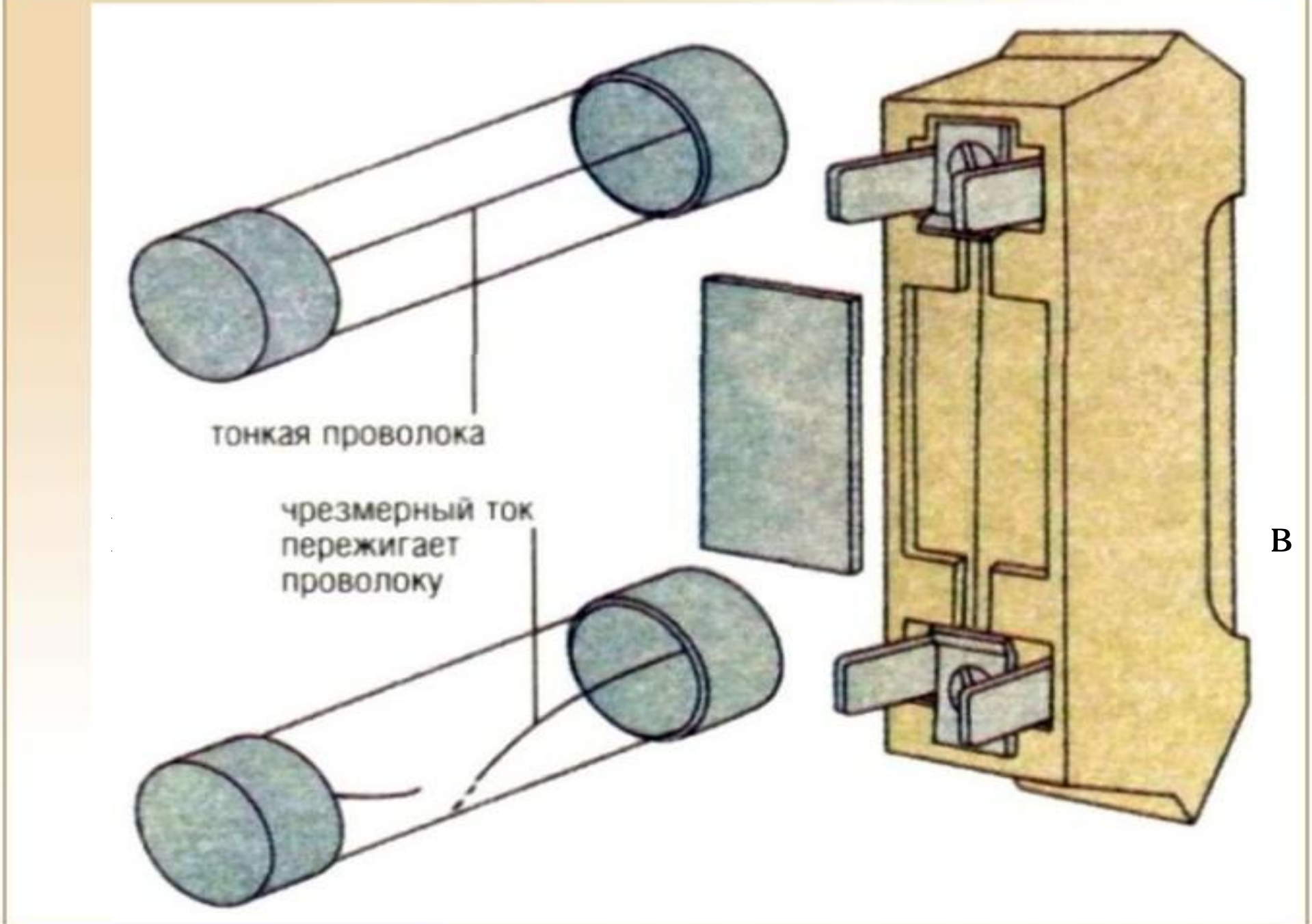
Предохранитель

(англ. *fuse* – плавить) –

защитное устройство, способное разрывать питание при не допустимой силе тока.

По способу разрыва схемы:

1) с плавкой вставкой;
2) электромеханической конструкции;
3) на основе электронных компонентов;
4) самовосстанавливающиеся модели с нелинейными обратимыми свойствами после действия сверхтоков.



В

2. Электромеханическая конструкция

Принцип врезания защитного устройства в питающий провод и обеспечение его разрыва с целью снятия напряжения. Иначе их называют – **автоматические выключатели** или **автоматы**.

3. На основе электронных компонентов

Функцию защиты электрической схемы выполняют бесконтактные электронные ключи на основе силовых полупроводниковых приборов из диодов, транзисторов или тиристоров.
Когда ток через предохранитель начинает превышать допустимое значение, то затвор запирается, а нагрузка отключается. При этом предохранитель переводится на режим самоблокировки.

АС ЭНЕРГИЯ

Предохранители самовосстанавливающиеся с радиальными выводами серии JK6

www.asenergi.com

В ряде случаев для предотвращения опасных значений силы тока короткого замыкания к источнику последовательно подсоединяется некоторое внешнее сопротивление.

Тогда сопротивление *r* равно сумме внутреннего сопротивления источника и внешнего сопротивления, и при коротком замыкании сила тока не окажется чрезмерно большой.

Человека поражает **не напряжение,** а **ток**.
Величина тока, который проходит через организм человека, зависит не только от напряжения, под которое попал человек, но и от сопротивления его тела.
Тело человека обычно имеет сопротивление 100 кОм-200 кОм, но может уменьшиться до 1 кОм, если человек прикасается к источнику напряжения не в одной точке, а на площади или кожа человека влажная.
В таких условиях напряжение даже в 40 В может оказаться смертельным.

Ток, мА	Переменный ток частотой 50 Гц	Постоянный ток
0,6—1,5	Порог ощущения — слабый зуд, пощипывание кожи	Не ощущается
2—4	Сильное дрожание пальцев	Не ощущается
5—7	Судороги во всей кисти руки	Порог ощущения — зуд, нагрев кожи
10—15	Неотпускающие токи, непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник. Человек не может самостоятельно освободить руку от контакта с проводом	Значительное усиление ощущения нагрева, сокращение мышц рук
20—25	Оторвать руки от провода невозможно. Сильные боли, дыхание затруднено	Еще большее усиление ощущения нагрева, судороги
50—80	Паралич дыхания через несколько секунд, сбои в работе сердца. При длительном протекании тока может возникнуть фибрилляция сердца	Неотпускающие токи, то же, что при переменном токе силой 10—15 мА
100	Фибрилляция сердца через 2—3 с, дыхание прекращается	Паралич дыхания при длительном протекании тока

Второе правило Кирхгофа

К содержанию

Второй закон устанавливает связь между падением напряжения на замкнутом участке электрической цепи и действием источников ЭДС на этом же замкнутом участке.

Связан с понятием работы по переносу электрического заряда.

Если перемещение заряда выполняется по замкнутому контуру, возвращаясь в ту же точку, то совершенная работа равна нулю, иначе бы не выполнялся ЗСЭ.

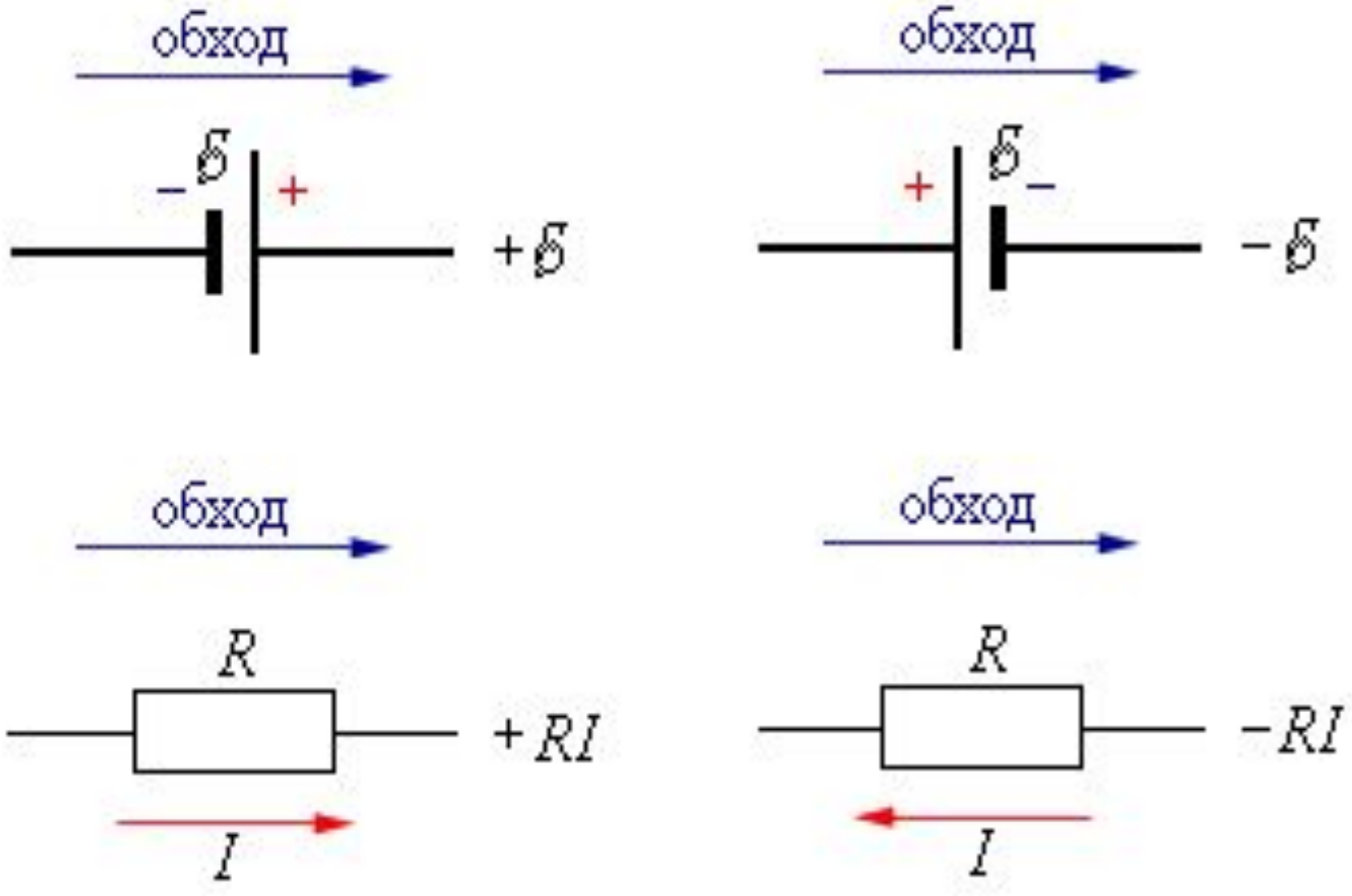
Является обобщением закона Ома для разветвленной цепи.

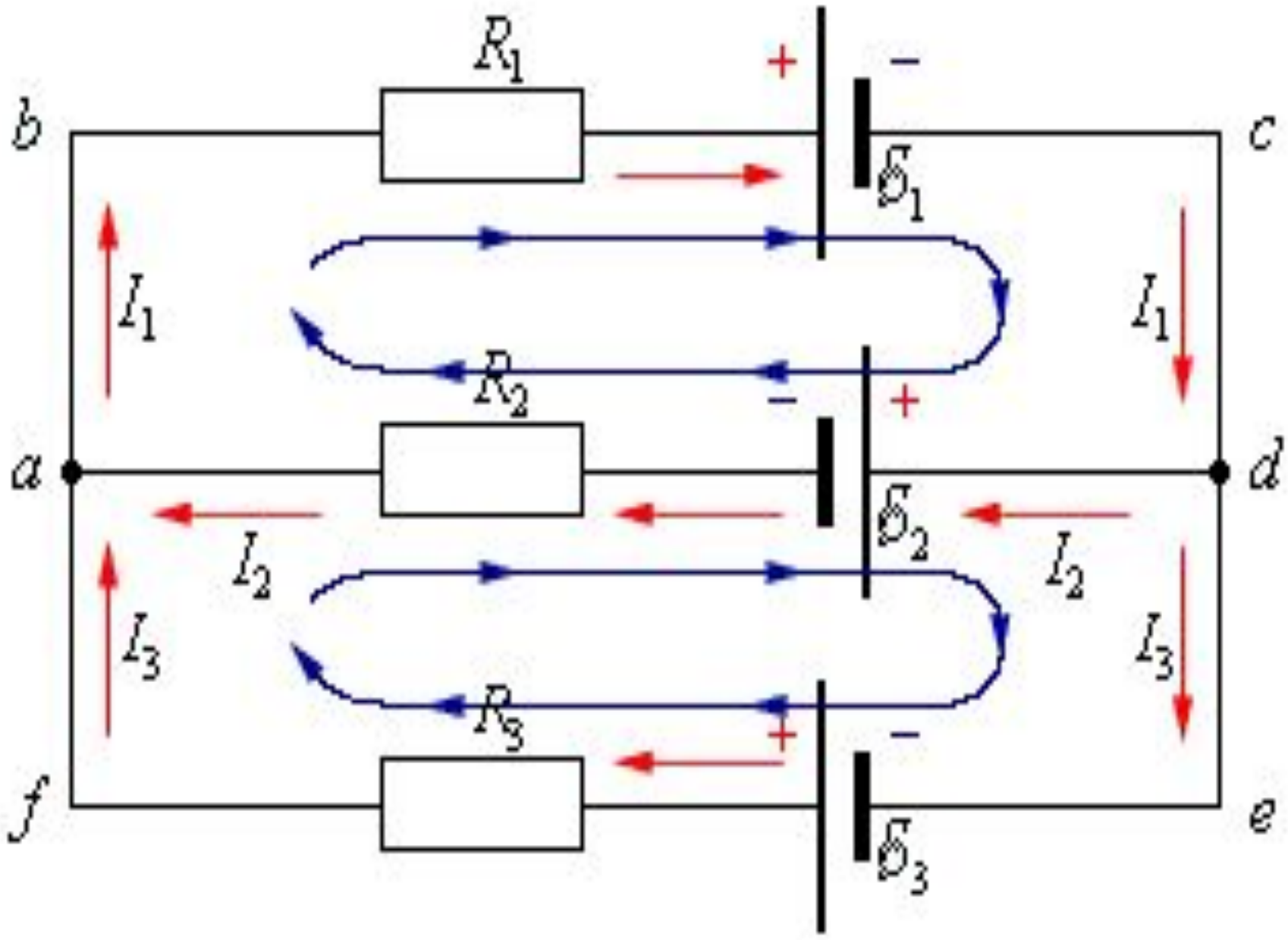
Второе правило Кирхгофа

Алгебраическая сумма произведений сопротивления каждого из участков любого замкнутого контура разветвленной цепи постоянного тока на силу тока на этом участке равна алгебраической сумме ЭДС вдоль этого контура.

$$\sum_{i=1}^{n} I_i R_i = \sum_{i=1}^{n} \xi_i$$

Определение знака ЭДС




R_1
b
c
$\mathcal{E}_1$
I_1
I_1
R_2
a
d
$\mathcal{E}_2$
I_2
I_2
I_3
I_3
R_3
f
e
$\mathcal{E}_3$

Образцы заданий ЕГЭ

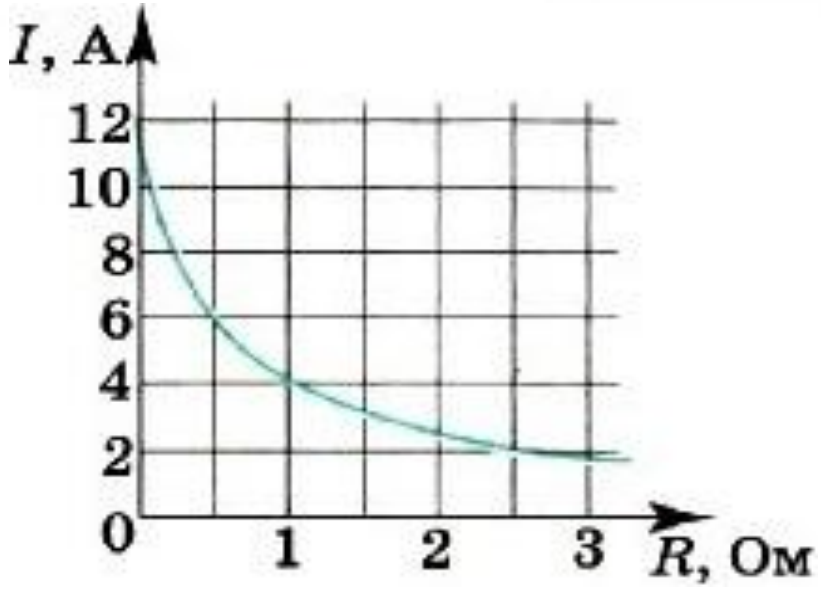
К содержанию

А1. Рассчитайте силу тока в замкнутой цепи, состоящей из источника тока, ЭДС которого равна 10 В, а внутреннее сопротивление равно 1 Ом. Сопротивление резистора равно 4 Ом.

1) 2 А 2) 2.5 А 3) 10 А 4) 50 А

$$I = \frac{\xi}{R + r} = \frac{10B}{1Ом + 4Ом} = 2A$$

А2. К источнику тока с внутренним сопротивлением 0.5 Ом подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. Чему равна ЭДС источника тока?



1) 12 В
2) 6 В
3) 4 В
4) 2 В

$$\xi = IR + Ir$$

$$\xi = 6A \cdot 0.5Ом + 6A \cdot 0.5Ом = 6В$$

А3. При подключении к источнику тока резистора с электрическим сопротивлением 2 Ом сила тока в электрической цепи была равна 2 А.

При подключении к источнику тока резистора с электрическим сопротивлением 1 Ом сила в электрической цепи была равна 3 А. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

1) 0.5 Ом 2) 1 Ом 3) 1.5 Ом 4) 2 Ом

$$\xi = I_1 R_1 + I_1 r \quad \xi = I_2 R_2 + I_2 r$$

$$\xi_1 = \xi_2 \Rightarrow I_1 R_1 + I_1 r = I_2 R_2 + I_2 r$$

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = I_2 r - I_1 r$$

$$2A \cdot 2Om - 3A \cdot 1Om = 3A \cdot r - 2A \cdot r$$

$$4 - 3 = (3 - 2)r \Rightarrow r = 1Om$$

А4. При внешнем сопротивлении цепи, равном внутреннему сопротивлению источника, сила тока равна I. Как изменится сила тока, если внешнее сопротивление цепи увеличить в 2 раза?

1) не изменится

2) увеличится в 2 раза

3) уменьшится в 1.5 раза

4) уменьшится в 2 раза

$$R = r, \; I_1 = \frac{\xi}{R + r} = \frac{\xi}{2R}$$

$$R = 2R \Rightarrow I_2 = \frac{\xi}{2R + r} = \frac{\xi}{3R}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\xi}{2R} \cdot \frac{3R}{\xi} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = 1.5 \Rightarrow I_2 = \frac{I_1}{1.5}$$

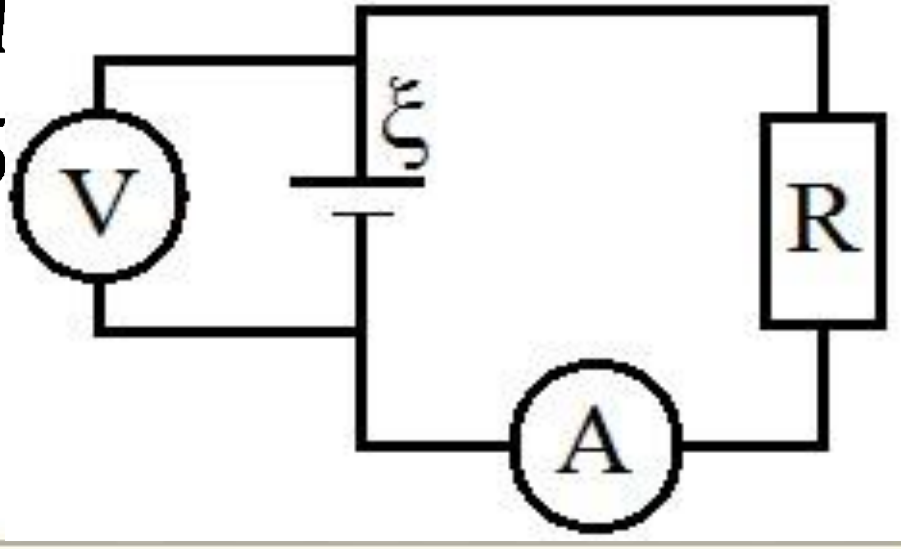
А5. Вольтметр и амперметр, включённые в электрическую цепь, показывают 9 В и 3 А. Сопротивление нагрузки в 5 раз больше внутреннего сопротивления источника тока. Чему равно сопротивление внешней цепи? Вольтметр и амперметр считайте идеальными.

$$\left.\begin{array}{l} I = \dfrac{\xi}{R+r} \\ R = 5r \end{array}\right\} \Rightarrow I = \dfrac{\xi}{5r+r} = \dfrac{\xi}{6r}$$

$$r = \frac{\xi}{6I} = \frac{9В}{6 \cdot 3А} = 0.5Ом$$

$$R = 5r = 5 \cdot 0.5$$

1) 1.5 Ом
2) 2.5 Ом
3) 6 Ом
4) 12 Ом



С1. Резисторы поочерёдно подключают к источнику постоянного тока. Сопротивления резисторов равны соответственно 3 Ом и 12 Ом. Мощность тока в резисторах одинакова. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

$$\left.\begin{array}{l} P = IU \\ I = \dfrac{U}{R} \Rightarrow U = IR \end{array}\right\} \Rightarrow P = I^2 R \Rightarrow P = \left(\frac{\xi}{R+r}\right)^2 \bullet R$$

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

$$P_1 = \left(\frac{\xi}{R_1+r}\right)^2 \bullet R_1, \quad P_2 = \left(\frac{\xi}{R_2+r}\right)^2 \bullet R_2$$

$$P_1 = P_2, \quad R_2 = 4R_1$$

$$\left(\frac{\xi}{R_1+r}\right)^2 \bullet R_1 = \left(\frac{\xi}{R_2+r}\right)^2 \bullet 4R_1$$

$$\frac{1}{(R_1+r)^2} = \frac{4}{(4R_1+r)^2} \Rightarrow 4(R_1+r)^2 = (4R_1+r)^2$$

$$4R_1^2 + 8R_1 r + 4r^2 - 16R_1^2 - 8R_1 r - r^2 = 0$$

$$3r^2 - 12R_1^2 = 0 \Rightarrow r^2 - 4R_1^2 = 0 \Rightarrow r^2 - 4 \cdot 9Ом^2 = 0$$

$$r = \sqrt{36Ом^2} = 6Ом$$

С2. ЭДС источника постоянного тока 2 В, а его внутреннее сопротивление r = 1 Ом. Мощность тока в резисторе, подключённом к источнику, $P_0 = 0.75$ Вт. Чему равна сила тока в цепи?

$$\left.\begin{array}{l} P = IU \\ I = \dfrac{U}{R} \Rightarrow U = IR \end{array}\right\} \Rightarrow P = I^2 R \Rightarrow R = \frac{P}{I^2}$$

$$I = \frac{\xi}{R + r} \Rightarrow \frac{P}{I^2} + r = \frac{\xi}{I} \Rightarrow P + I^2 r = \xi I$$

$$I^2 r - \xi I + P = 0$$

$$I_{1,2} = \frac{\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 4rP}}{2r} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = \dfrac{2B + \sqrt{(2B)^2 - 4 \cdot 1Ом \cdot 0.75Вт}}{2 \cdot 1Ом} = 1.5A \\ I_2 = \dfrac{2B - \sqrt{(2B)^2 - 4 \cdot 1Ом \cdot 0.75Вт}}{2 \cdot 1Ом} = 0.5A \end{cases}$$

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

$$U = IR = \varepsilon - Ir$$

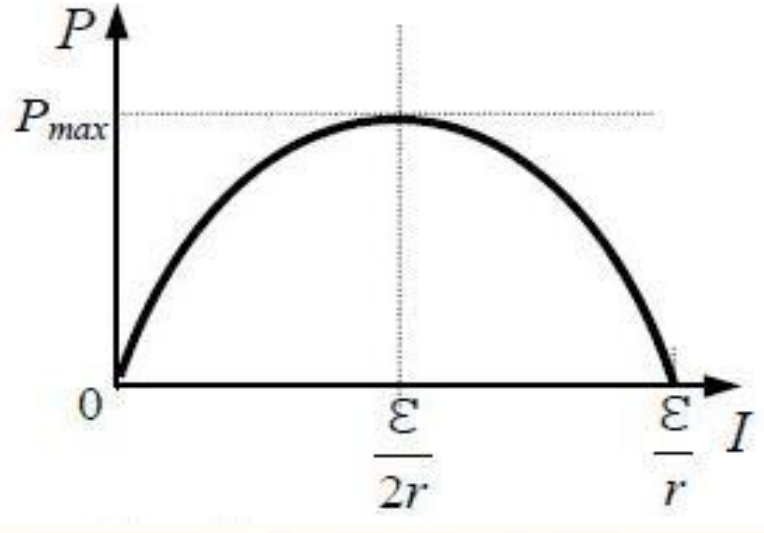
$$P = IU = I(\varepsilon - Ir) = I\varepsilon - I^2 r \Rightarrow \begin{cases} I_1 = 0 \\ I_2 = \dfrac{\varepsilon}{r} \end{cases}$$

$$I = \frac{\xi}{2r} \Rightarrow P(I) \to \max$$

$$P_{max} = I^2 r = \left(\frac{\varepsilon}{2r}\right)^2 r = \frac{\varepsilon^2}{4r}$$

$$P_{max} = \frac{(6B)^2}{4 \cdot 2Om} = 4{,}5Bm$$

С3. Электрическая цепь состоит из источника тока и реостата. ЭДС источника 6 В, его внутреннее сопротивление r = 2 Ом. Сопротивление реостата можно изменять в пределах от 1 до 5 Ом. Чему равна максимальная мощность выделяемая на реостате?



$$\left.\begin{array}{l} Q_э = I^2 Rt = \dfrac{U^2}{R} t \\ R = \dfrac{\rho_э l}{S} \end{array}\right\} \Rightarrow Q = \dfrac{U^2 tS}{\rho_э l}$$

$$\left.\begin{array}{l} Q = cm\Delta t \\ \rho = \dfrac{m}{V} = \dfrac{m}{Sl} \Rightarrow m = \rho Sl \end{array}\right\} \Rightarrow Q = c\rho Sl\Delta t$$

$$Q_э = Q \Rightarrow \frac{U^2 tS}{\rho_э l} = c\rho Sl\Delta t \Rightarrow t = \frac{c\rho_э \rho Sl^2 \Delta t}{U^2 S} = \frac{c\rho_э \rho l^2 \Delta t}{U^2}$$

$$t = \frac{3{,}8 \cdot 10^2 \frac{Дж}{кг \cdot К} \cdot 8{,}9 \cdot 10^3 \frac{кг}{м^3} \cdot 10^2 м^2 \cdot 10 К \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-8} Ом \cdot м}{(1В)^2} \approx 57.5 с$$

$$\frac{Дж}{кг \cdot К} \cdot \frac{кг}{м^3} \cdot Ом \cdot м^2 \cdot К \cdot Ом \cdot м = Дж \cdot \frac{Ом}{В^2} = \frac{Вт \cdot с}{Вт} = с$$

$$P = \frac{A}{t} \Rightarrow A = P \cdot t \ [Вт \cdot с]$$

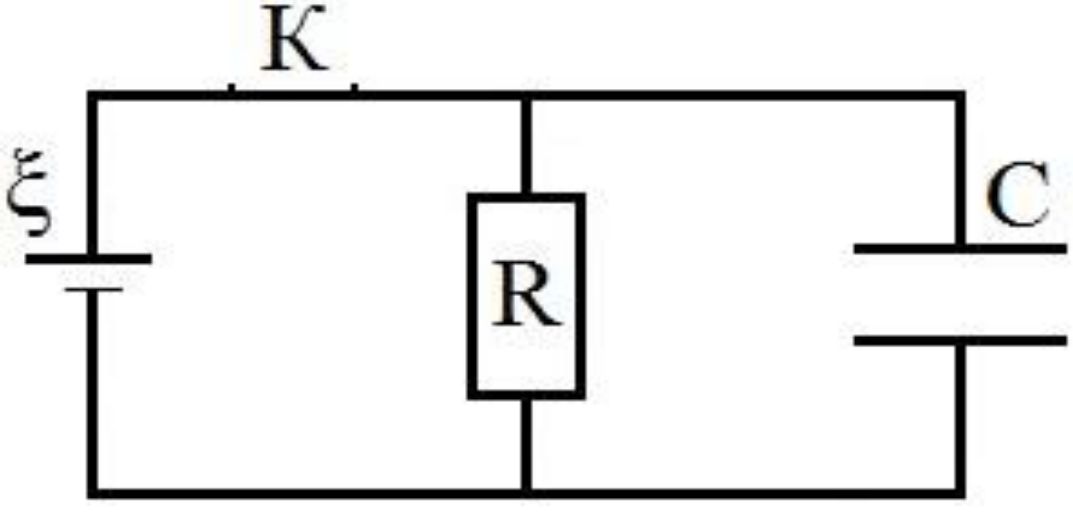
$$P = IU = \frac{U^2}{R} \left[\frac{В^2}{Ом}\right]$$

С4. К однородному медному цилиндрическому проводнику длиной 10 м приложили разность потенциалов 1 В. Определите промежуток времени, в течение которого температура проводника повысится на 10 К. Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании можно пренебречь. Плотность меди 8900 кг/м^3, удельное сопротивление меди 1.7*10^{-8} Ом*м, удельная теплоёмкость меди 380 Дж/(кг*К).

С5. В электрической схеме, показанной на рисунке, ключ К замкнут. Заряд конденсатора $q \equiv 2$ мкКл, ЭДС батарейки 24 В, её внутреннее сопротивление $r = 5$ Ом, сопротивление резистора $R \equiv 25$ Ом. Определите количество теплоты, которая выделяется на резисторе после размыкания ключа К в результате разрядки конденсатора. Потерями на излучение можно пренебречь.

$$Q = W = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2} \left| \begin{array}{l} U \equiv IR = \dfrac{\varepsilon}{R+r} R \\ I = \dfrac{q}{t} \end{array} \right. \Rightarrow Q = \frac{q}{2} \cdot \frac{\varepsilon}{R+r} R$$

$$Q = \frac{2 \cdot 10^{-6}\,Кл}{2} \cdot \frac{24В \cdot 25Ом}{25Ом + 5Ом} = 20 \cdot 10^{-6}\,Дж = 20мкДж$$



Решение задач

К содержанию

№1. Аккумулятор с ЭДС 6.0 В и внутренним сопротивлением r = 0.1 Ом питает внешнюю цепь с сопротивлением R = 12.4 Ом. Какое количество теплоты Q выделится во всей цепи за 10 мин?

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

$$I = \frac{6B}{12.4Ом + 0.1Ом} = 0.48A$$

$$Q = I^2 Rt$$

$$Q = (0.48A)^2 \cdot 12.4Ом \cdot 600c = 1714Дж$$

№2. Разность потенциалов в сети зарядной станции равна 20 В. Внутреннее сопротивление аккумулятора, поставленного на зарядку, равно 0.8 Ом; в начальный момент времени его остаточная ЭДС равна 12 В. Какая мощность будет расходоваться станцией на зарядку аккумулятора при этих условиях? Какая часть этой мощности будет расходоваться на нагревание аккумулятора?

При зарядке аккумулятора зарядное устройство и аккумулятор соединены разноимёнными полюсами навстречу друг другу.

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

$$P_{станция} = IU = \frac{U - \xi}{R} \bullet U = \frac{20B - 12в}{0.8Ом} \bullet 20B = 200Вт$$

$$P_{нагрев} = I^2 R = \left(\frac{U - \xi}{R} \right)^2 \bullet R = \frac{20B - 12в}{0.8Ом} \bullet 0.8Ом = 80Вт$$

$$\frac{P_{нагрев}}{P_{станция}} = \frac{80Вт}{200Вт} = 0.4$$

№3. При подключении вольтметра с сопротивлением $R_V = 200$ Ом непосредственно к зажимам источника он показывает $U = 20$ В. Если же этот источник замкнуть на резистор сопротивлением $R = 8$ Ом, то сила тока в цепи $I_2 = 0.5$ А. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

$$\left.\begin{aligned} I_1 = \frac{\xi}{R_V + r} &\Rightarrow \xi = I_1(R_V + r) \\ I_2 = \frac{\xi}{R + r} &\Rightarrow \xi = I_2(R + r) \end{aligned}\right\} \Rightarrow I_1(R_V + r) = I_2(R + r)$$

$$I_1 R_V + I_1 r = I_2 R + I_2 r \Rightarrow I_1 R_V - I_2 R = I_2 r - I_1 r$$

$$I_1 R_V - I_2 R = r(I_2 - I_1)$$

$$\left.\begin{aligned} U_{падения} &= I_1 R_V \\ I_1 &= \frac{U_{падения}}{R_V} \end{aligned}\right\} \Rightarrow U - I_2 R = r\left(I_2 - \frac{U_{падения}}{R_V}\right)$$

$$\Rightarrow r = \frac{U - I_2 R}{I_2 - \frac{U_{падения}}{R_V}} = \frac{20В - 0.5А \cdot 8Ом}{0.5А - \frac{20В}{200Ом}} = 40Ом$$

$$\xi = I_2(R + r) = 0.5А(8Ом + 40Ом) = 24В$$

$$I_{КЗ} = \frac{\xi}{r}, \quad P = UI \Rightarrow U = \frac{P}{I}$$

$$U_1 = \frac{P_1}{I_1} = \xi - I_1 r \qquad U_2 = \frac{P_2}{I_2} = \xi - I_2 r$$

№4. Определите силу тока короткого замыкания для источника, который при силе тока в цепи $I_1 = 10$ А имеет полезную мощность $P_1 = 500$ Вт, а при силе тока $I_2 = 5$ А мощность $P_2 = 375$ Вт.

$$\frac{P_1}{I_1} - \frac{P_2}{I_2} = (\xi - I_1 r) - (\xi - I_2 r) = r(I_2 - I_1)$$

$$r = \frac{P_1 I_2 - P_2 I_1}{I_1 I_2 (I_2 - I_1)}$$

$$r = \frac{500Вт \cdot 5А - 375Вт \cdot 10А}{10А \cdot 5А(5А - 10А)} = 5Ом$$

$$\xi = U_1 + I_1 r = \frac{P_1}{I_1} + I_1 r$$

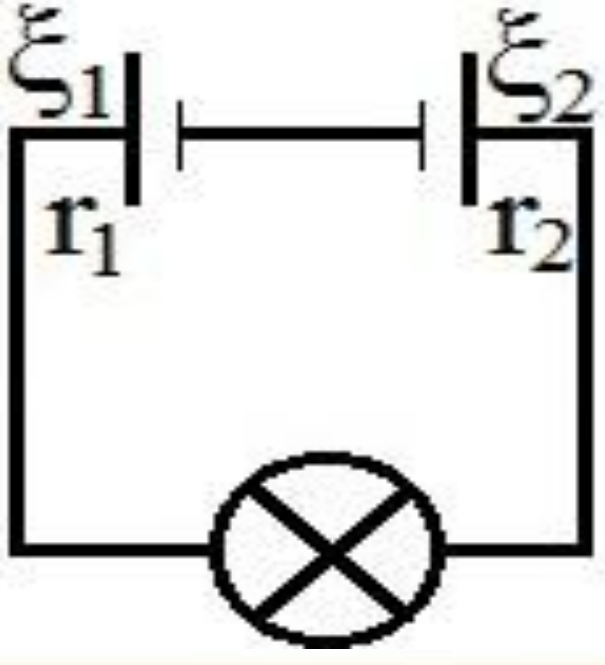
$$\xi = \frac{500Вт}{10А} + 10А \cdot 5Ом = 100В$$

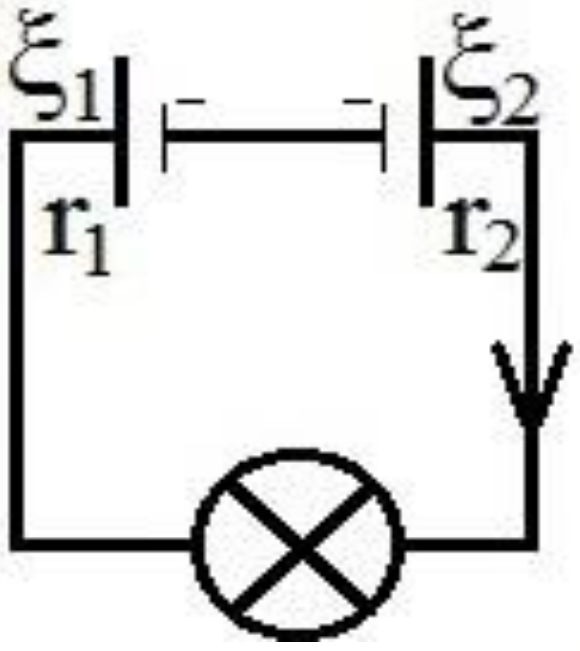
№5. Чему равна сила тока при коротком замыкании аккумулятора с ЭДС 12 В и внутренним сопротивлением r = 0.01 Ом?

$$R \approx 0 \Rightarrow I_{КЗ} = \frac{\xi}{r}$$

$$I_{КЗ} = \frac{12B}{0.01Ом} = 1200A = 1.2мА$$

№6. Источники тока с ЭДС 4.50 В и 1.50 В и внутренними сопротивлениями 1.50 Ом и 0.50 Ом, питают лампу от карманного фонаря. Какую мощность потребляет лампа, если известно, что сопротивление её нити в нагретом состоянии равно 23 Ом?





$$\left.\begin{array}{l} P = IU \\ I = \dfrac{U}{R} \Rightarrow U = IR \end{array}\right\} \Rightarrow P = I^2 R$$

$$\xi = \xi_2 - \xi_1, \quad r = r_1 + r_2$$

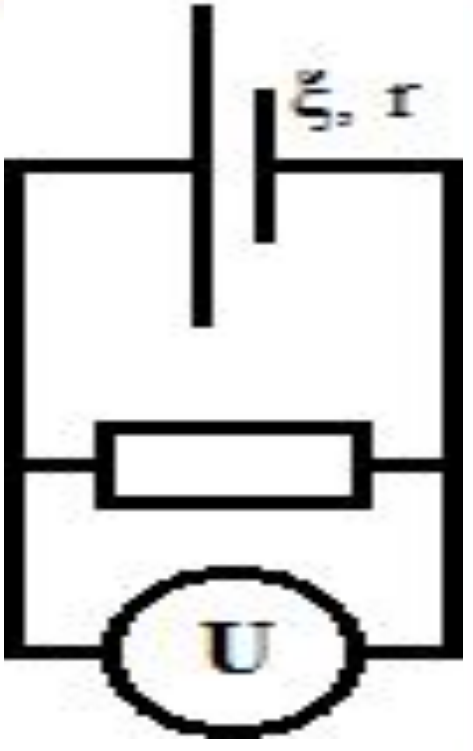
$$I = \frac{\xi_2 - \xi_1}{R + r_1 + r_2} \Rightarrow P = \left(\frac{\xi_2 - \xi_1}{R + r_1 + r_2} \right)^2 \bullet R$$

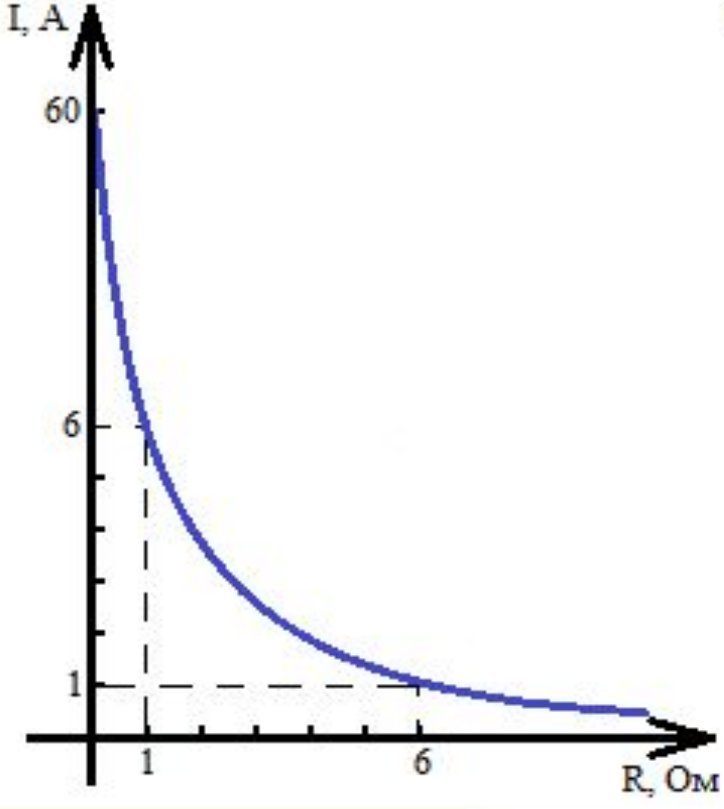
$$P = \left(\frac{4.5B - 1.5B}{23Ом + 1.5Ом + 0.5Ом} \right)^2 \bullet 23Ом = 0.3312Вт$$

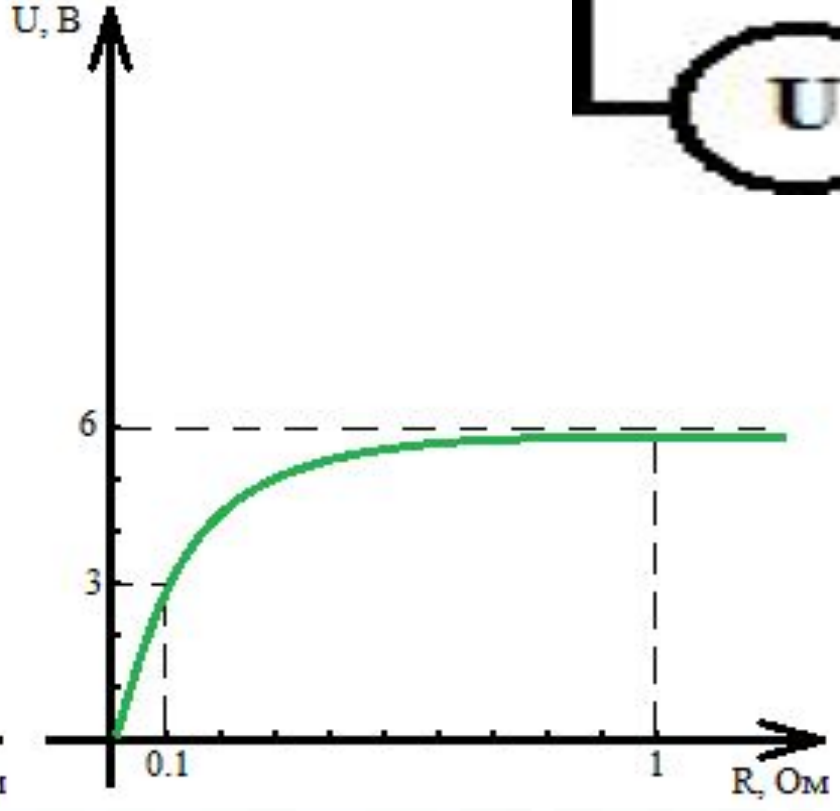
№7. Замкнутая цепь питается от источника с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 0.1 Ом. Постройте графики зависимости силы тока в цепи и напряжения на зажимах источника от сопротивления внешнего участка.

$$I = \frac{\xi}{R + r} = \frac{6B}{R + 0.1Ом}$$

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = IR = \frac{6B \bullet R}{R + 0.1Ом}$$







№8. Батарея состоит из 5 одинаковых последовательно соединенных элементов с ЭДС 2 В каждый. Чему равна полная мощность, выделяемая в цепи, при силе тока 4 А?

$$\xi_{общее} = n \cdot \xi = 5 \cdot 2B = 10B$$

$$P = \xi_{общее} \cdot I = 10B \cdot 4A = 40Bm$$

$$I = \frac{\xi}{r+R}, \quad I_{КЗ} = \frac{\xi}{r}$$

№9. При замыкании на сопротивление 9 Ом батарея элементов дает ток 1 А. Ток короткого замыкания 10 А. Какую максимальную полезную мощность может дать батарея?

$$\Rightarrow r = \frac{IR}{I_{КЗ} - I} = \frac{1A \cdot 9Ом}{10A - 1A} = 1Ом$$

$$\Rightarrow \xi = I_{КЗ} \cdot r = 10A \cdot 1Ом = 10В$$

$$P_{\substack{внешняя \\ цепь}} = P_{полная} - P_{потерянная} = \xi I - I^2 r$$

$$I = \frac{\xi}{2r} \Rightarrow P_{\substack{внешняя \\ цепь}\ MAX} = \frac{\xi^2}{4r} = \frac{100В}{4 \cdot 1Ом} = 25Вт$$

$$P_{полная} = IU,\ P_{потерянная} = P_{тепловой}$$

$$P_{тепловая} = I^2R$$

$$P_{полезная} = P_{полная} - P_{потерянная} = IU - I^2R = P_{тяги}$$

$$P_{тяги} = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t} = F\upsilon$$

№10. Электродвигатель трамвайного вагона работает при силе тока 100 А и напряжении 500 В. При силе тяги двигателя 4 кН скорость вагона 18 км/ч. Чему равно сопротивление обмотки двигателя?

$$IU - I^2R = F\upsilon \Rightarrow R = \frac{IU - F\upsilon}{I^2}$$

$$R = \frac{100A \cdot 500B - 4 \cdot 10^3 H \cdot 5\frac{м}{с}}{10^4 A^2} = 3Ом$$

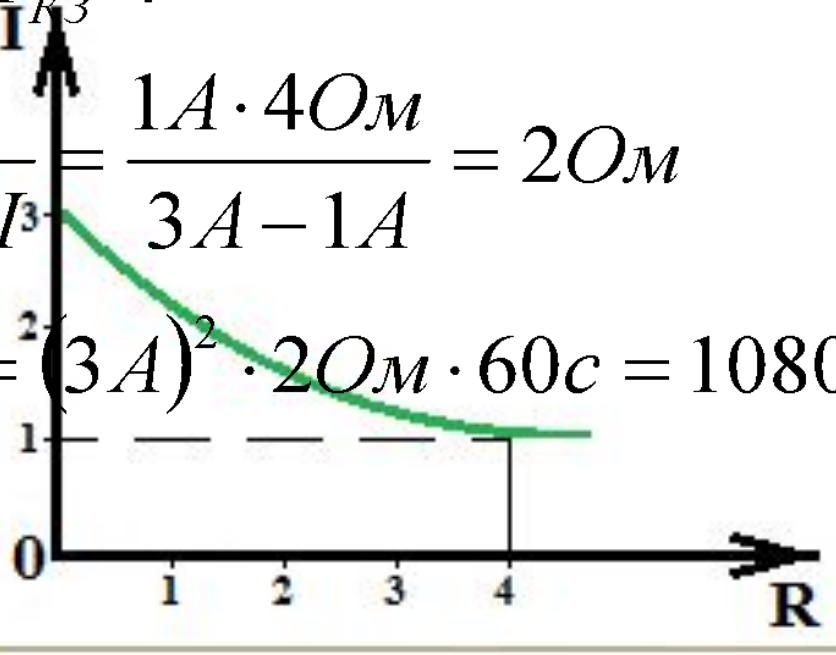
№11. Реостат подключен к источнику тока с ЭДС **ξ** и сопротивлением **r**. Зависимость силы тока в цепи от сопротивления реостата I (R) представлена на графике. Определить работу источника тока при R = 0 за 1 минуту.

$$A = I^2 rt$$

$$I = \frac{\xi}{R+r} \Rightarrow \xi = IR + Ir$$

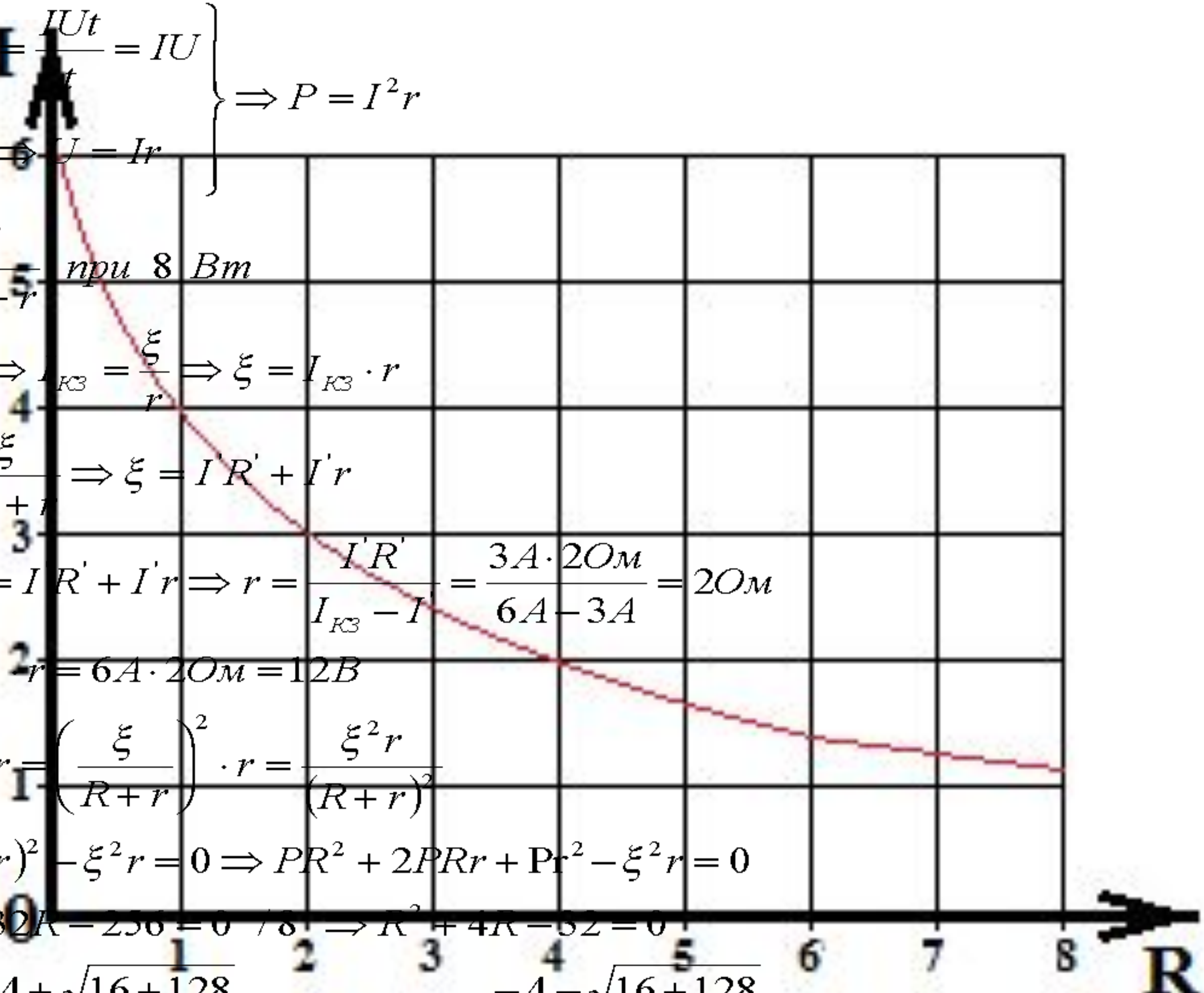
$$R = 0 \Rightarrow I_{КЗ} = \frac{\xi}{r} \Rightarrow \xi = I_{КЗ} \cdot r$$

$$IR + Ir = I_{КЗ} \cdot r$$



$$r = \frac{IR}{I_{КЗ} - I} = \frac{1A \cdot 4Ом}{3A - 1A} = 2Ом$$

$$A = I^2 rt = (3A)^2 \cdot 2Ом \cdot 60с = 1080\,Дж$$



$$\left.\begin{aligned} P = \frac{A}{t} = \frac{IUt}{t} = IU \\ I = \frac{U}{r} \Rightarrow U = Ir \end{aligned}\right\} \Rightarrow P = I^2 r$$

$$I = \frac{\xi}{R+r} \quad при \; 8 \; Вт$$

$$R = 0 \Rightarrow I_{КЗ} = \frac{\xi}{r} \Rightarrow \xi = I_{КЗ} \cdot r$$

$$I' = \frac{\xi}{R' + r} \Rightarrow \xi = I'R' + I'r$$

$$I_{КЗ} r = I'R' + I'r \Rightarrow r = \frac{I'R'}{I_{КЗ} - I'} = \frac{3A \cdot 2Ом}{6A - 3A} = 2Ом$$

$$\xi = I_{КЗ} \cdot r = 6A \cdot 2Ом = 12B$$

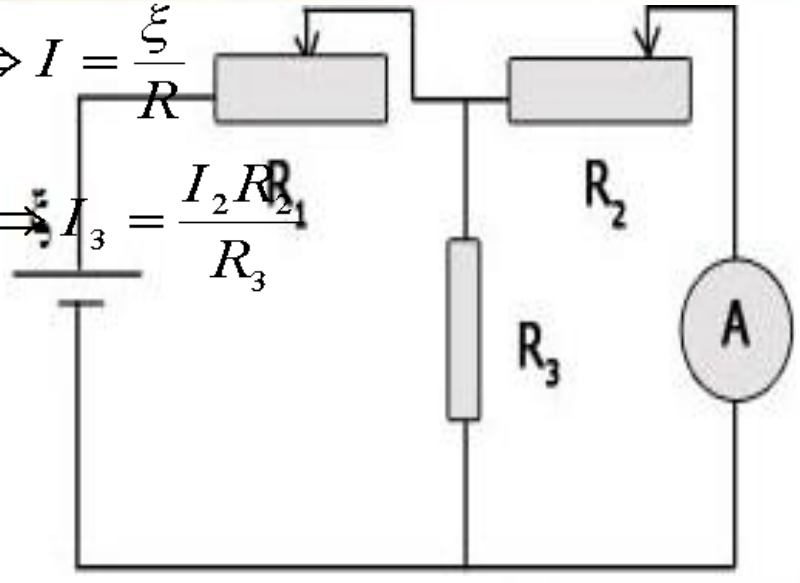
$$P = I^2 r = \left(\frac{\xi}{R+r}\right)^2 \cdot r = \frac{\xi^2 r}{(R+r)^2}$$

$$P(R+r)^2 - \xi^2 r = 0 \Rightarrow PR^2 + 2PRr + Pr^2 - \xi^2 r = 0$$

$$8R^2 + 32R - 256 = 0 \; /8 \Rightarrow R^2 + 4R - 32 = 0$$

$$R_1 = \frac{-4 + \sqrt{16+128}}{2} = 4Ом, \quad R_2 = \frac{-4 - \sqrt{16+128}}{2} = -8Ом - не \; учитываем$$

№13. Схема состоит из источника тока постоянного напряжения с нулевым внутренним сопротивлением, идеального амперметра, резистора с постоянным сопротивлением R_1 и двух реостатов, сопротивления которых R_2 и R_3 можно изменять. Сопротивления реостатов изменяют таким образом, что их сумма остаётся постоянной. При этом сила тока, текущего через амперметр, изменяется. При каком соотношении R_2/R_1 сила тока будет минимальной?



$$I_2 = \min;\ R_2 = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3};\ r = 0 \Rightarrow I = \frac{\xi}{R}$$

$$I = I_2 + I_3,\ U_2 = U_3 \Rightarrow I_2 R_2 = I_3 R_3 \Rightarrow I_3 = \frac{I_2 R_2}{R_3}$$

$$\Rightarrow I = I_2 + \frac{I_2 R_2}{R_3} = I_2\left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$

$$I_2 = \frac{IR_3}{R_2 + R_3} = \frac{\xi R_3}{R(R_2 + R_3)} \Rightarrow I_2 = \frac{\xi R_3}{R_1(R_2 + R_3) + \frac{R_2 R_3 (R_2 + R_3)}{R_2 + R_3}}$$

$$R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$I_2 = \frac{\xi R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} = \frac{\xi R_3}{R_1 R_2 + R_3(R_1 + R_2)}$$

$$\xi R_3 = const;\ R_3 = const,\ R_1 + R_2 = const \Rightarrow R_3(R_1 + R_2) = const$$

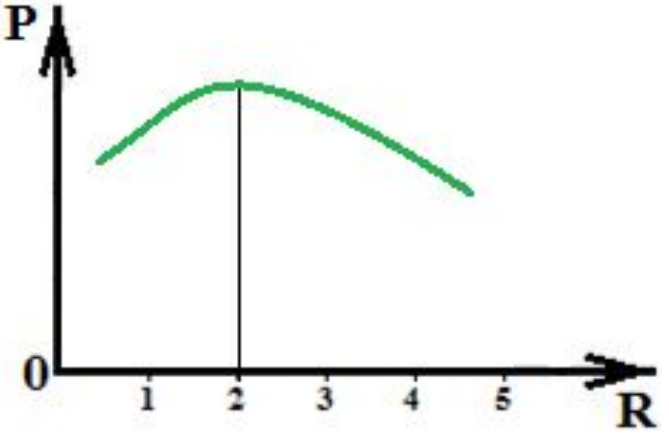
$$\Rightarrow I_2 = \min \ \ при\ \ R_1 R_2 = \max \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 1$$

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

№14. Электрическая це
источника тока с конечн
сопротивлением и

$$\left.\begin{array}{l} P = \dfrac{A}{t} = \dfrac{IUt}{t} = IU \\ I = \dfrac{U}{R} \Rightarrow U = IR \end{array}\right\} \Rightarrow P = I^2R$$

Сопротивление реостата можно изменять от 1 до 5 Ом. Максимальная мощность тока 4.5 Вт, выделяющаяся в реостате, достигается при его сопротивлении 2 Ом. Какова ЭДС источника тока?



$$\Rightarrow P = \frac{\xi^2 \bullet R}{(R+r)^2}$$

$$f'(x) = \left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - uv'}{v^2} \Rightarrow P' = \frac{\xi^2(R+r)^2 - 2\xi^2 R(R+r)}{(R+r)^4} = 0$$

$$\xi^2(R+r)^2 - 2\xi^2 R(R+r) = 0 \Rightarrow R + r - 2R = 0 \Rightarrow r = R = 2Ом$$

$$P = \frac{\xi^2 \bullet R}{(R+r)^2} \Rightarrow \xi = \sqrt{\frac{P(R+r)^2}{R}} = \sqrt{\frac{4.5Вт \cdot (2Ом + 2Ом)^2}{2Ом}} = 6В$$

№15. Сопротивление резистора и полное сопротивление реостата равны R, ЭДС батарейки ξ, внутреннее сопротивление батарейки мало. Как ведут себя показания идеального вольтметра при перемещении ползунка реостата из крайнего верхнего в крайнее нижнее положение?

Идеальный вольтметр – вольтметр, обладающий бесконечным внутренним сопротивлением.

Крайнее верхнее положение ползунка. Сопротивление реостата равно R. Сопротивление этой ветви – бесконечно большое. Вольтметр покажет значение, равное ЭДС источника тока, т.к. ток через эту ветвь не пойдёт, а внутренним сопротивление ИТ мы пренебрегаем (по условию задачи оно мало).

Крайнее нижнее положение ползунка. Сопротивление реостата стремится к нулю. Но ток всё равно не будет протекать через эту ветвь, а пойдёт только через резистор. И вольтметр покажет снова значение ЭДС.

Вывод. Показания вольтметра не изменятся.

№16. Требуется найти токи в ветвях, используя законы Кирхгофа.

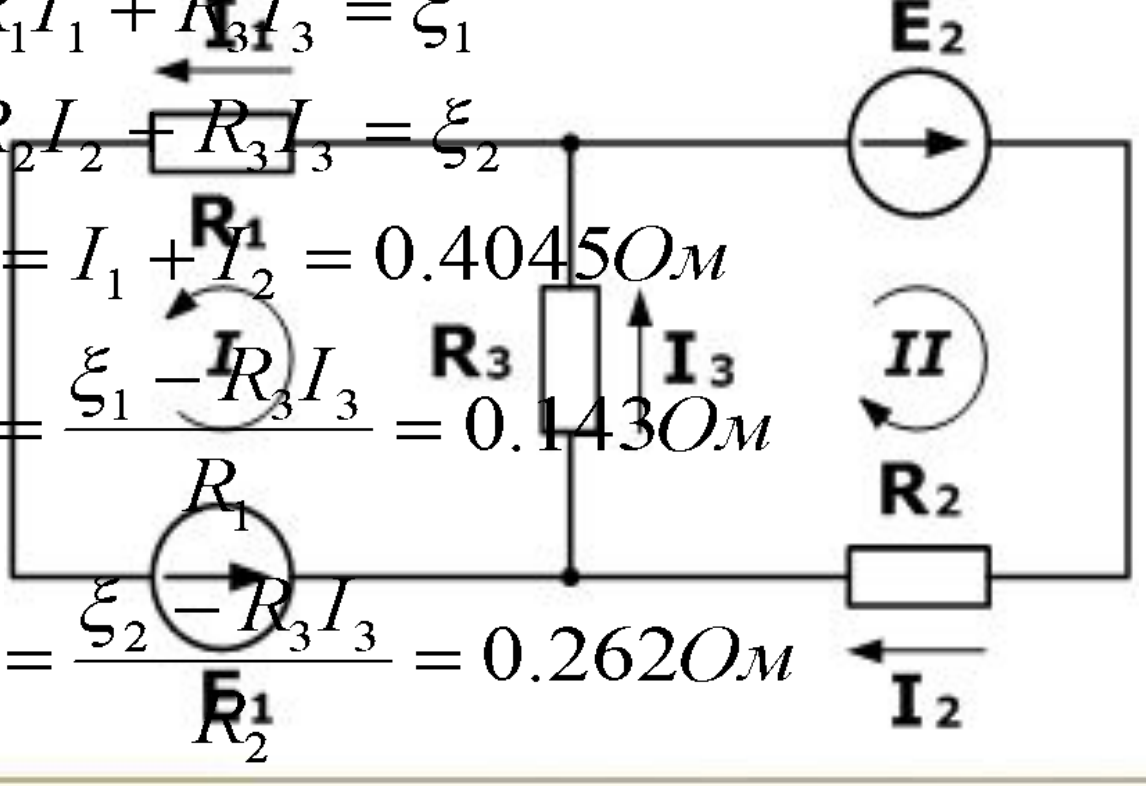
Сопротивление $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = R_3 = 150$ Ом, ЭДС первого ИТ 75 В, второго – 100 В.

$$\begin{cases} -I_1 - I_2 + I_3 = 0 \\ R_1 I_1 + R_3 I_3 = \xi_1 \\ R_2 I_2 + R_3 I_3 = \xi_2 \end{cases}$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = 0.4045 Ом$$

$$I_1 = \frac{\xi_1 - R_3 I_3}{R_1} = 0.143 Ом$$

$$I_2 = \frac{\xi_2 - R_3 I_3}{R_2} = 0.262 Ом$$



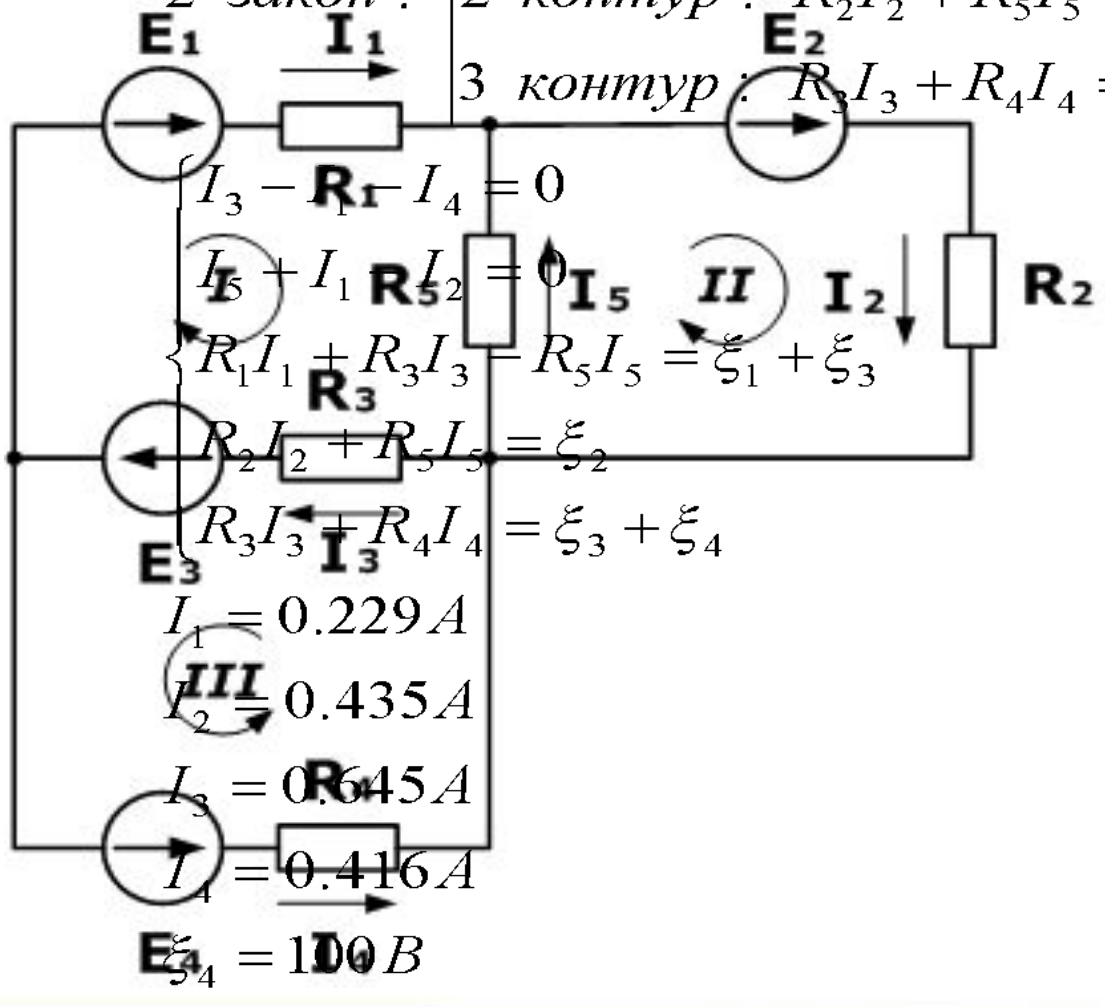
№17. Найти токи в ветвях и ЭДС четвертого ИТ.

1 закон: $\begin{cases} I_3 - I_1 - I_4 = 0 \\ I_5 + I_1 - I_2 = 0 \end{cases}$

1 контур: $R_1 I_1 + R_3 I_3 - R_5 I_5 = \xi_1 + \xi_3$

2 закон: 2 контур: $R_2 I_2 + R_5 I_5 = \xi_2$

3 контур: $R_3 I_3 + R_4 I_4 = \xi_3 + \xi_4$



$$\begin{cases} I_3 - I_1 - I_4 = 0 \\ I_5 + I_1 - I_2 = 0 \\ R_1 I_1 + R_3 I_3 - R_5 I_5 = \xi_1 + \xi_3 \\ R_2 I_2 + R_5 I_5 = \xi_2 \\ R_3 I_3 + R_4 I_4 = \xi_3 + \xi_4 \end{cases}$$

$I_1 = 0.229\,A$

$I_2 = 0.435\,A$

$I_3 = 0.645\,A$

$I_4 = 0.416\,A$

$\xi_4 = 100\,B$

Дано

R_1= 130 Ом

R_2= 100 Ом

R_3= 150 Ом

R_4= 200 Ом

R_5 = 80 Ом

E_1= 30 В

E_2= 60 В

E_3= 80 В

I_5 = 0,206 А

I_1, I_2, I_3, I_4 - ?

E_4 -?

Электрический ток в различных средах

К содержанию

Проводники –
вещества, в которых электрические заряды могут свободно перемещаться.

Примеры:
металлы (проводники I рода),
водные растворы солей и кислот – **электролиты** (проводники II рода),
раскалённые газы.

Диэлектрики/изоляторы
(гр. *dia* – через, англ. *electric* – электрический) –
вещества, в которых электрические заряды не могут свободно перемещаться.

Примеры:
фарфор, стекло, янтарь,
эбонит, резина, шёлк,
газы при комнатных температурах.

Полупроводники –
вещества, в которых концентрация подвижных носителей заряда значительно ниже,
чем концентрация атомов,
и может изменяться под влиянием температуры, освещения или относительно малого количества примесей.

Электронная проводимость металлов

К содержанию

Носителями свободных зарядов
в металлах являются **электроны**,
концентрация $\sim 10^{28}$ 1/м^3.
Электроны участвуют в беспорядочном
тепловом движении.
Под действием электрического поля начинают
перемещаться упорядоченно
со средней скоростью:

$$\overline{\upsilon} = \frac{l}{enS}$$

l – длина проводника
e – элементарный заряд
n – средняя концентрация
свободных электронов
S – площадь поперечного сечения

Леонид Исаакович Мандельштам
(22.04.1879 – 27.11.1944)

Русский и советский физик,
один из основателей отечественной
научной школы по радиофизике.

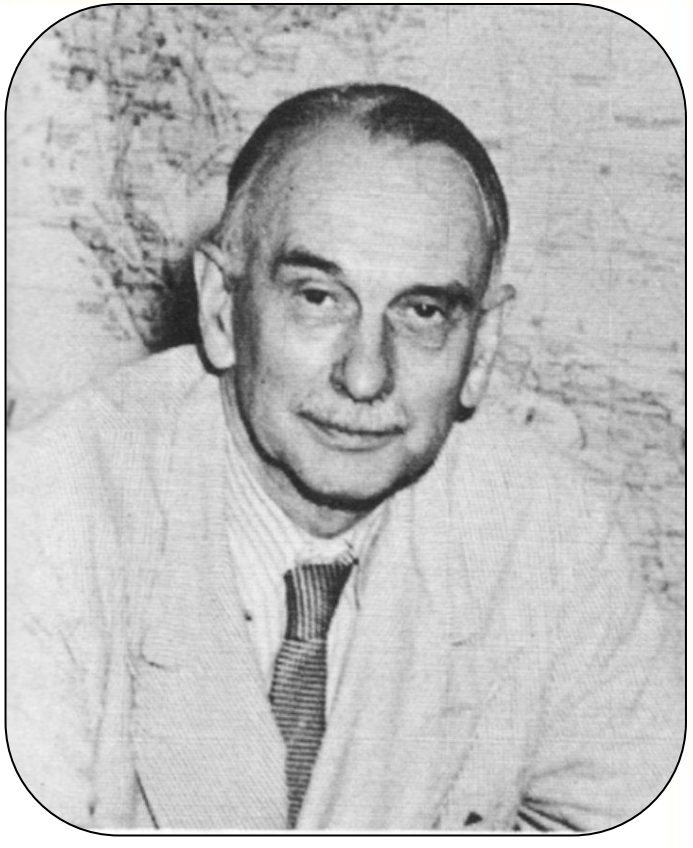
Николай Дмитриевич Папалекси
(20.11.1880 – 03.02.1947)

Признанный основоположник советской радиоастрономии. Совместно с Мандельштамом руководил научным отделом.

Ими были проведены основополагающие работы по нелинейным и параметрическим колебаниям. Изучены и открыты: резонанс n-го рода, комбинационные и параметрические резонансы, разработан метод параметрического возбуждения электрических колебаний, при помощи предложенного ими интерференционного метода они детально исследовали распространение радиоволн над земной поверхностью и осуществили точное измерение их скорости.

Ричард Чейз Толмен

(04.03.1881 – 05.09.1948)



Американский физико-химик и физик-математик, специализировавшийся на статистической механике.

Томас Дейл Стюарт
(14.08.1890 – 06.02.1958)

Американский химик, совместно с Р.Ч. Толменом открывший эффект Стюарта-Толмена.

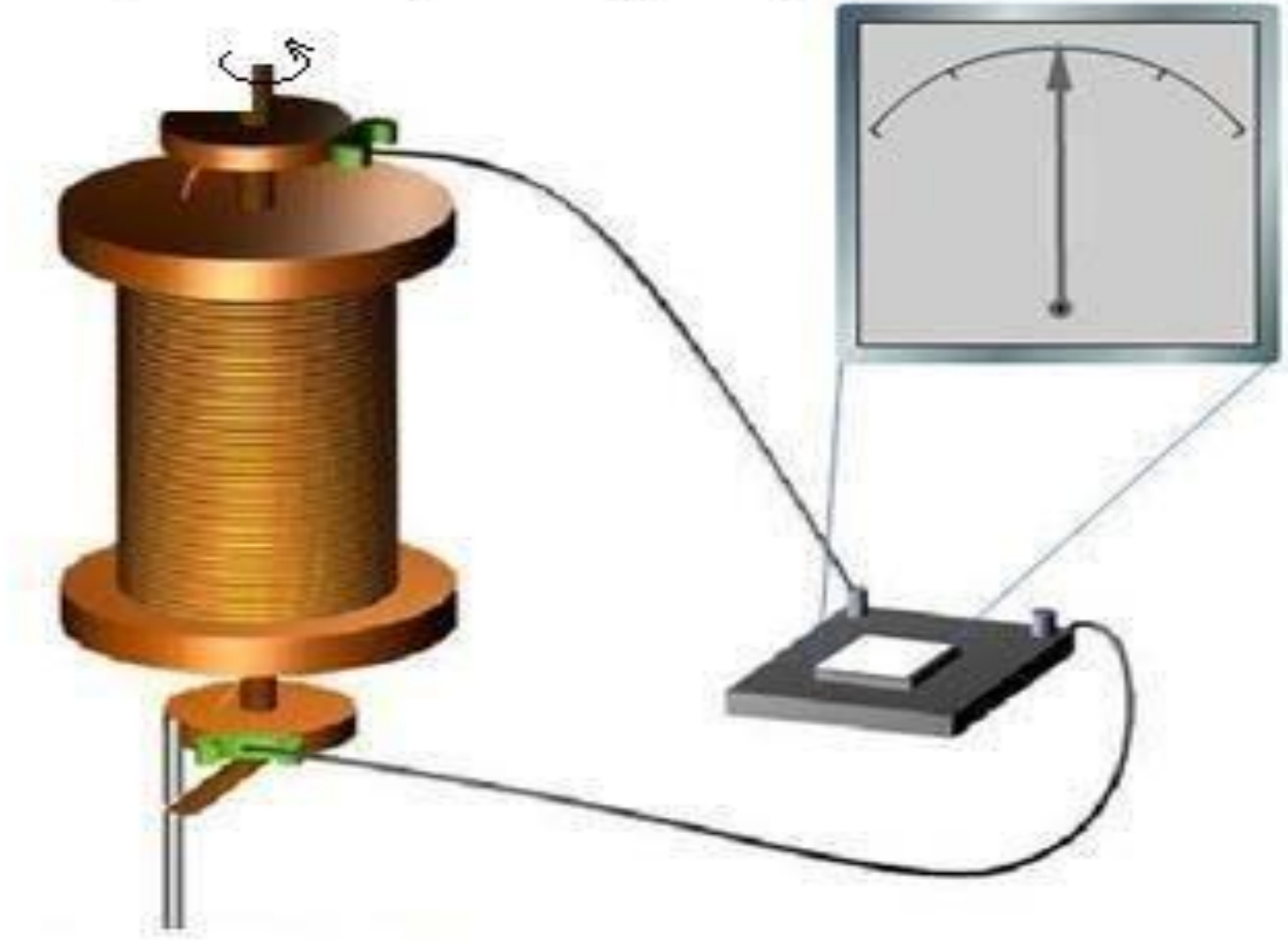
Опыт по наблюдению инерционного тока в металлах. Определение знака заряда носителей тока в них и соотношения *e/m*.

Дата: 1913 (М–П), 1916 (Т–С).
Методы:
качественная регистрация явления (М–П),
количественное измерение (Т–С).
Прямота эксперимента:
непосредственное наблюдение (М–П),
практически прямое измерение (Т–С).
Исследуемые фундаментальные принципы: электронный характер тока в металлах.

В качестве проводника использовалась катушка индуктивности, которая раскручивалась вокруг своей оси и резко останавливалась.
Длина проволоки составляла 500м,
линейная скорость вращения 500м/с.
Катушка была подключена к гальванометру, который регистрировал возникновение инерционной ЭДС.
По отклонению стрелки гальванометра определяли удельный заряд,
по направлению отклонения - знак заряда.
В данном опыте роль сторонних сил, создающих ЭДС, играла сила инерции.

Опыт Мандельштама - Папалекси (1913) и Толмена - Стюарта (1916)

Удельный заряд электрона $\frac{e}{m} = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл / кг



Ещё до опытов Папалекси Мандельштама была гипотеза об электронной проводимости металлов.

В 1900 г. немецкий ученый Пауль Друде Карл Людвиг на основании гипотезы о существовании свободных электронов в металлах создал **электронную теорию проводимости металлов**.

Эта теория получила развитие в работах голландского физика Хендрика Лоренца и носит название **классической электронной теории**.

Основные положения классической электронной теории

1. Носителями тока в металлах являются электроны, движение которых подчиняется законом классической механики.
2. Поведение электронов подобно поведению молекул идеального газа (электронный газ).
3. При движении электронов в кристаллической решетке можно не учитывать столкновения электронов друг с другом.
4. При упругом столкновении электронов с ионами электроны полностью передают им накопленную в электрическом поле энергию.

Температурный коэффициент сопротивления –
величина, равная отношению относительного изменения сопротивления проводника к изменению его температуры.

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \Rightarrow R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

$$\alpha = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1(T_2 - T_1)} \Rightarrow \rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T)$$

ρ_0 *при* 0^0C

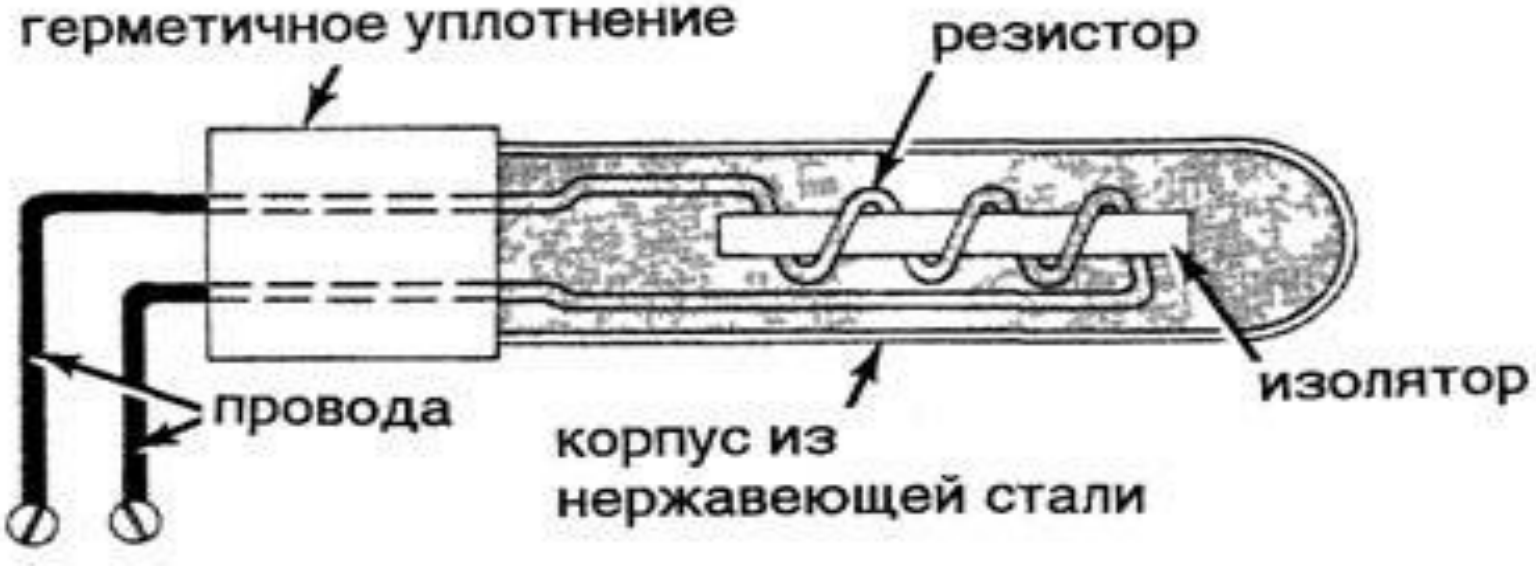
Для всех металлических проводников коэффициент $\boldsymbol{\alpha > 0}$ и незначительно меняется с изменением температуры.

При нагревании проводника его геометрические размеры меняются незначительно. Сопротивление проводника меняется в основном за счёт изменения его удельного сопротивления.

У растворов электролитов сопротивление с ростом температуры не увеличивается, а уменьшается, и для них $\boldsymbol{\alpha < 0}$.

Металл	**ρ**, (Ом*мм^2)/м	**α**, 1/К при 20°С
Серебро	0.016	0.0035
Медь	0.017	0.0040
Железо	0.10	0.0066
Вольфрам	0.055	0.0046
Никелин	0.40	0.0003
Константан	0.43	0.000005
Нихром	1.1	0.00016
Ртуть	0.96	0.0090

Термометр сопротивления – средство измерения температуры, состоящее из одного или нескольких термочувствительных элементов сопротивления и внутренних соединительных проводов.

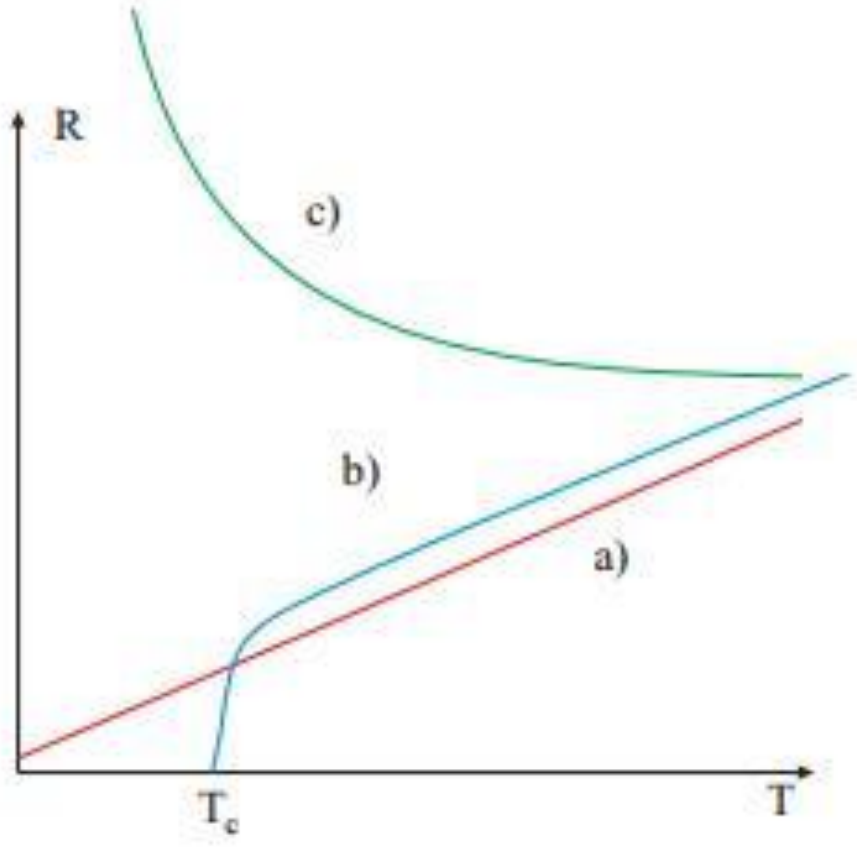


Термистор –
это резистор, сопротивление которого меняется от температуры.

Сверхпроводимость –
явление падения до нуля сопротивления проводника при критической температуре.

Критическая температура –
температура, при которой вещество переходит в сверхпроводящее состояние.

Характерная зависимость сопротивления металлов и полупроводников от температуры.



a)металл с конечным остаточным сопротивлением

b) сверхпроводящий металл

c) полупроводник

Хейке Камерлинг-Оннес

(21.09.1853 – 21.02.1926)

Голландский физик,
открывший сверхпроводимость.

В 1911 г. обнаружил, при охлаждении ртути в жидком гелии её сопротивление сначала меняется постепенно, а затем при температуре 4.1 К резко падает до нуля.

В 1913 г. обнаружил разрушение сверхпроводимости сильными магнитными полями и токами.

В 1912 г. впервые получил новое состояние жидкого гелия, которое стало называться **сверхтекучим** после открытия Петром Капицей сверхтекучести жидкого гелия.

Обнаружил сверхпроводимость ртути, олова и свинца, но и нашел первые сверхпроводящие сплавы – сплавы ртути с золотом и оловом.

У веществ в сверхпроводящем состоянии наблюдаются резкие аномалии магнитных, тепловых и ряда других свойств.

Если в кольцевом проводнике, находящемся в сверхпроводящем состоянии, создать ток, а затем удалить источник тока, то сила этого тока не меняется сколь угодно долго.

Если поднести магнит к сверхпроводящему образцу, то его магнитное поле не сможет проникнуть в сверхпроводник. Любая такая «попытка» приводит к возникновению тока в сверхпроводнике, магнитное поле которого компенсирует внешнее поле.

В итоге магнитное поле в толще сверхпроводника отсутствует, а по поверхности течет именно такой ток, какой для этого требуется.

Использование сверхпроводников.

Два главных направления в области применения сверхпроводимости: в магнитных системах различного назначения и в электрических машинах. Используются при разработке турбогенераторов, электродвигателей, униполярных машин, топологических генераторов, жестких и гибких кабелей, коммутационных и токоограничивающих устройств, магнитных сепараторов, транспортных систем, создание устройств для измерения температур, расходов, уровней, давлений, для экранирования.

Образцы заданий ЕГЭ

К содержанию

А1. Сопротивление медного провода, с помощью которого электроприбор подключается к источнику тока, не должно превышать 8 Ом. На каком максимальном расстоянии от источника можно установить электроприбор, если диаметр провода 2 мм? Удельное сопротивление меди $1.68*10^{-8}$ Ом*м.

1) 1500 м 2) 15 м 3) 150 м 4) 750 м

$$\left.\begin{array}{l} R = \dfrac{\rho l}{S} \\ S = \pi R^2 = \dfrac{\pi d^2}{4} \end{array}\right\} \Rightarrow R = \frac{4\rho l}{\pi d^2} \Rightarrow l = \frac{R\pi d^2}{4\rho} = \frac{8Ом \cdot 3.14 \cdot 4 \cdot 10^{-6} м^2}{4 \cdot 1.68 \cdot 10^{-8} Ом \cdot м} = 1495 м$$

А2. На сколько градусов нагрелась вольфрамовая спираль лампы, если её сопротивление увеличилось на 46% ?

1) 20 °C 2) 50 °C 3) 100 °C 4) 1000 °C

$$\alpha_{вольфрам} = 0.0046 \frac{1}{К}$$

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T) \Rightarrow R = R_0 + \alpha\Delta T R_0$$

$$1.46R_0 - R_0 = \alpha\Delta T R_0$$

$$0.46 = \alpha\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{0.46}{\alpha} = \frac{0.46}{0.0046 \frac{1}{К}} = 100K = 100^0 C$$

Решение задач

К содержанию

$$R_X = R_0(1+\alpha\Delta t_X),\quad R_0\left(0^0C\right) - ?$$

№1. Лампа накаливания, имеющая спираль из вольфрама включена в сеть с напряжением 120 В, по ней идет ток 0,33 А. Какой будет температура спирали, если при температуре 20°С она имеет сопротивление 35,8 Ом?

Температурный коэффициент сопротивления вольфрама 0.0046 1/К.

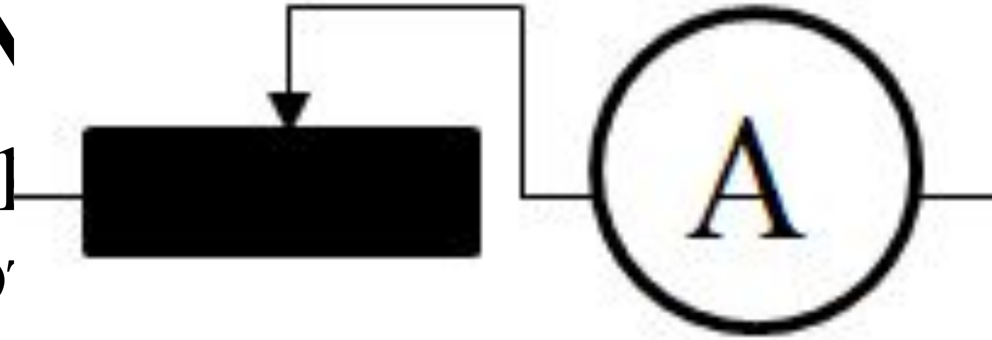
$$R_{20} = R_0(1+\alpha\Delta t_{20}) \Rightarrow R_0 = \frac{R_{20}}{1+\alpha\Delta t_{20}}$$

$$R_0 = \frac{35.8Ом}{1+0.0046\frac{1}{^0C}\cdot 20^0C} = 32.8Ом$$

$$I = \frac{U}{R_X} \Rightarrow R_X = \frac{U}{I} = \frac{120В}{0.33А} \approx 364Ом$$

$$R_X = R_0(1+\alpha\Delta t_X) \Rightarrow \Delta t_X = \frac{R_0 - R_0}{\alpha R_0}$$

$$\Delta t_X = \frac{364Ом - 32.8Ом}{0.0046\frac{1}{^0C}\cdot 32.8Ом} = 2195^0C$$



№ … 0^0C

сопр… но $\mathbf{R_0}$,

сопро… вно $\mathbf{R_{A0}}$,

показывает силу тока $\mathbf{I_0}$.

Реостат, сделан из железной проволоки, последовательно соединен с амперметром. Какая будет сила тока течь через амперметр, если реостат нагреть до температуры **t**? Считать температурный коэффициент сопротивления железа равным α.

$$I_0 = \frac{U}{R_0 + R_{A0}} \Rightarrow U = I_0(R_0 + R_{A0})$$

$$\uparrow t \Rightarrow R_0 \to R$$

$$I = \frac{U}{R + R_{A0}}$$

$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

$$\Rightarrow I = \frac{I_0(R_0 + R_{A0})}{R_0(1 + \alpha T) + R_{A0}}$$

№3. К концам цепи, состоящей из последовательно включенных термистора и резистора сопротивлением 1 кОм, подано напряжение 20 В. При комнатной температуре сила тока в цепи была 5 мА. Когда термистор опустили в горячую воду, сила тока в цепи стала 10 мА. Во сколько раз изменилось в результате нагрева сопротивление термистора?

$$\frac{R_{T1}}{R_{T2}} - ?$$

$$I_1 = \frac{U}{R_{T1} + R_P} \Rightarrow R_{T1} + R_P = \frac{U}{I_1} \Rightarrow R_{T1} = \frac{U}{I_1} - R_P$$

$$I_2 = \frac{U}{R_{T2} + R_P} \Rightarrow R_{T2} + R_P = \frac{U}{I_2} \Rightarrow R_{T2} = \frac{U}{I_2} - R_P$$

$$\frac{U}{I_1} - R_P = \frac{20B}{5 \cdot 10^{-3} A} - 10^3 Ом$$

$$\frac{R_{T1}}{R_{T2}} = \frac{\frac{U}{I_1} - R_P}{\frac{U}{I_2} - R_P} = \frac{\frac{20B}{5 \cdot 10^{-3} A} - 10^3 Ом}{\frac{20B}{10 \cdot 10^{-3} A} - 10^3 Ом} = 3$$

$$\frac{R_{T1}}{R_{T2}} = 3$$

№4. Для определения температурного коэффициента сопротивления меди на катушку медной проволоки подавали одно и то же напряжение. При погружении этой катушки в тающий лед сила тока была 14 мА, а при опускании в кипяток сила тока стала 10 мА. Найти по этим данным температурный коэффициент сопротивления меди.

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

$$U_1 = U_2 \Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_2$$

$$R_1 = R_0(1+\alpha T_1)$$

$$R_2 = R_0(1+\alpha T_2)$$

$$I_1 R_0(1+\alpha T_1) = I_2 R_0(1+\alpha T_1)$$

$$\alpha T_0 \frac{I_1 - I_2}{I_2 t_2 - I_1 t_1}$$

$$\alpha = \frac{14 мА - 10 мА}{10 мА \cdot 100^0 C - 14 мА \cdot 0^0 C} = 0.004 \frac{1}{^0 C} = 0.004 \frac{1}{K}$$

№5. На сколько процентов изменится мощность, потребляемая электромагнитом, обмотка которого выполнена из медной проволоки, при изменении температуры от 0 до 30 °С?

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100\% - ?$$

$$\left.\begin{aligned} P &= \frac{A}{t} = \frac{IUt}{t} = IU \\ I &= \frac{U}{R} \end{aligned}\right\} \Rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{\frac{U^2}{R_1} - \frac{U^2}{R_2}}{\frac{U^2}{R_1}} = \frac{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1}} = \frac{R_2 - R_1}{R_2 R_1} \bullet R_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_2}$$

$$R_n = R_0 \left(1 + \alpha t_n\right)$$

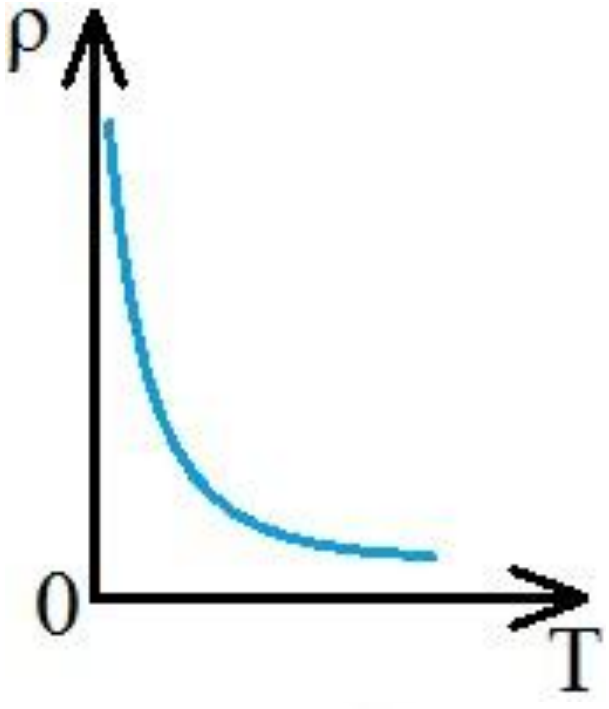
$$\frac{R_2 - R_1}{R_2} = \frac{R_0\left(1 + \alpha t_2\right) - R_0\left(1 + \alpha t_1\right)}{R_0\left(1 + \alpha t_2\right)} = \frac{\alpha\left(t_2 - t_1\right)}{1 + \alpha t_2}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{\alpha\left(t_2 - t_1\right)}{1 + \alpha t_2} = \frac{0.004 \frac{1}{K}\left(30^0 C - 0^0 C\right)}{1 + 0.004 \frac{1}{K} \cdot 30^0 C} = 10.7\%$$

Электрический ток в полупроводниках

К содержанию

Полупроводники –
вещества, удельное сопротивление которых имеет промежуточное значение между удельным сопротивлением металлов
($10^{-6} – 10^{-8}$ Ом*м)
и удельным сопротивлением диэлектриков
($10^{8} – 10^{13}$ Ом*м).



$$T \to 0$$

$$\rho \uparrow$$

При низких температурах п/п ведёт себя как диэлектрик.

Виды п/п (химия)

1. Элементарные: Ge, Si, C (алмаз*)*, B, Sn, Te, Se.

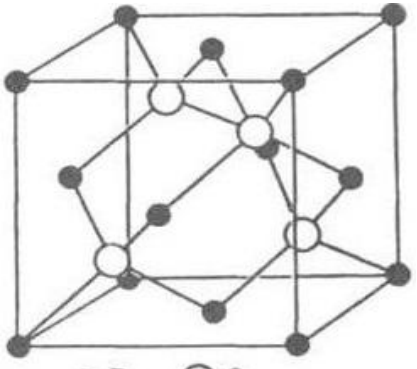
2. Соединения типа $A^{III}B^{V}$.
КР типа **сфалерита**.

3. Соединения элементов VI группы (O, S, Se, Te) с элементами I - V групп, а также с переходными и редкоземельными металлами.

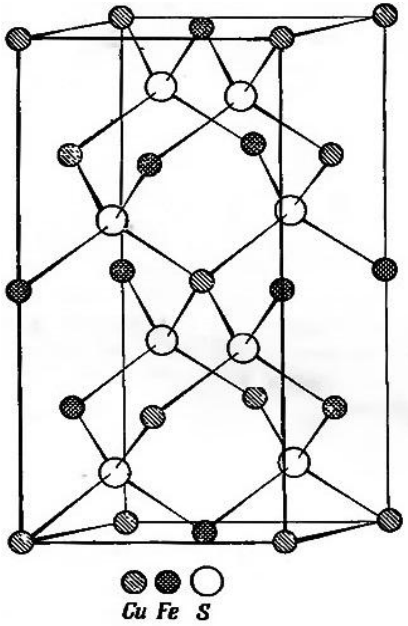
4. Тройные соединения типа $A^{II}B^{IV}C^{V}$.
КР типа **халькопирита**.

5. Карбид кремния SiC - единственное соединение, образуемое элементами IV группы между собой.

6. Некристаллические (стеклообразные).



сфалерит



халькопирит

Виды п/п (физика)

По характеру проводимости:

1. Собственная проводимость

2. Примесная проводимость

По виду проводимости:

1. Электронные (n-тип)

n – negative, заряд основных носителей – отрицательный

2. Дырочные (p-тип)

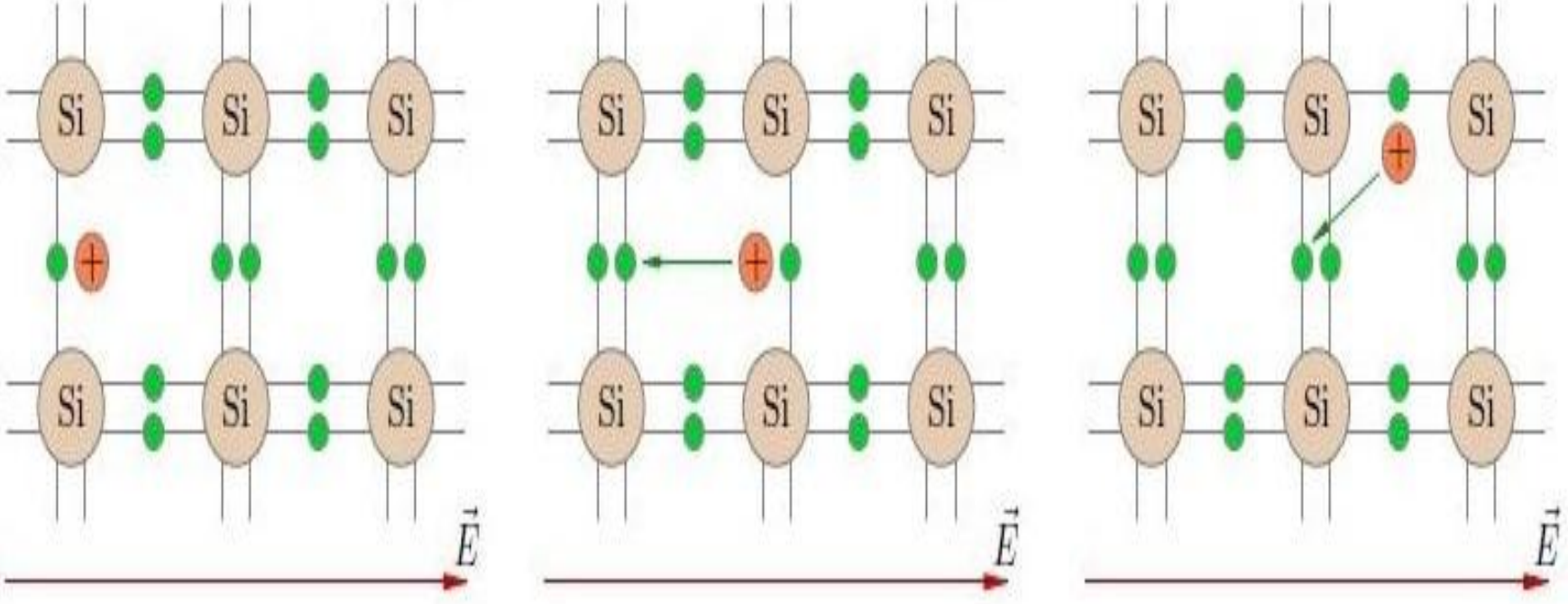
p – positive, заряд основных носителей – положительный

Электронная проводимость – проводимость п/п, обусловленная наличием у них свободных электронов.

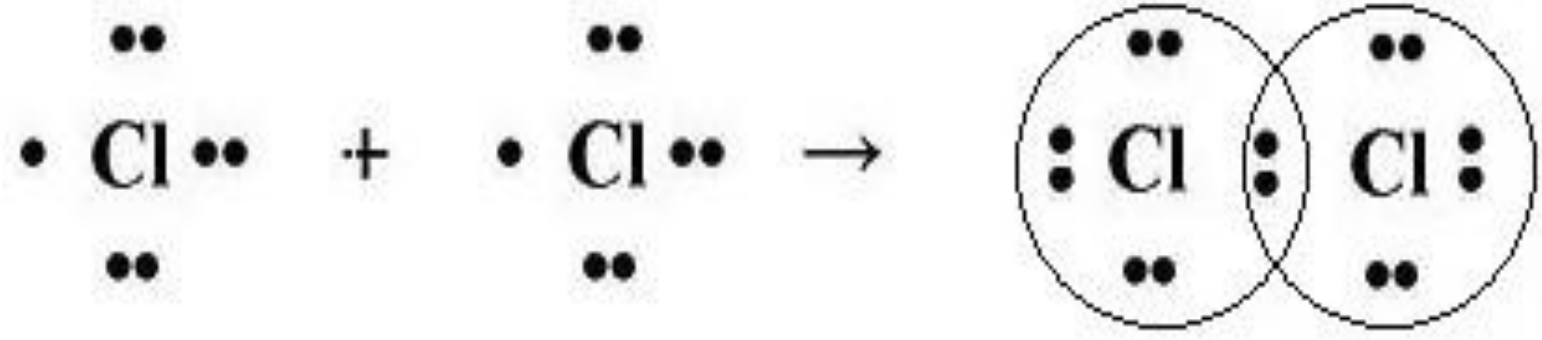
Дырочная проводимость – проводимость п/п, обусловленная движением дырок.

Дырка – свободное энергетическое состояние в валентной зоне, имеющее единичный положительный заряд.

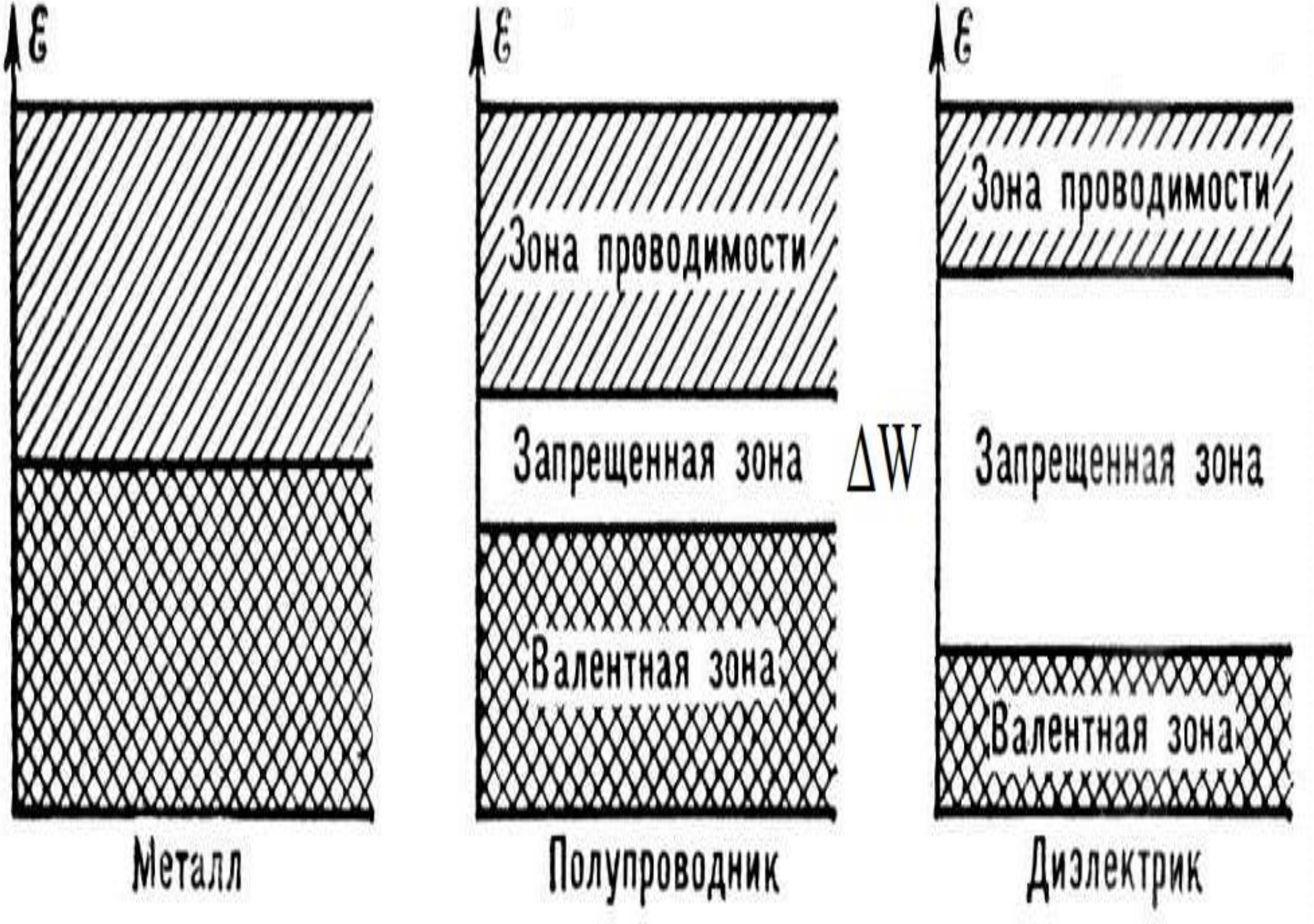
Собственная проводимость –



зоны в зону проводимости.



Ковалентная связь –
связь, которая осуществляется парами валентных электронов.
Каждый валентный электрон принадлежит двум атомам.


ε
Зона проводимости
Запрещенная зона
ΔW
Валентная зона
Металл
Полупроводник
Диэлектрик

ΔW – энергия активации,
равная ширине запрещенной зоны;
появляется за счет температуры, облучения,
сильных электрических полей и т.д.

$$\Delta W = W_{\substack{\textit{минимальная}\\ \textit{энергия дна}\\ \textit{для ЗП}}} - W_{\substack{\textit{максимальная}\\ \textit{энергия}\\ \textit{потолка ВЗ}}}$$

При абсолютном нуле -273.15°С
зона проводимости пустая,
уровни валентной зоны полностью заполнены.
Под действием избыточной энергии ΔW некоторая
часть электронов валентной зоны переходит
в зону проводимости.

Зависимость концентрации носителей заряда от температуры

$$n_i = p_i = A \cdot e^{-\frac{\Delta W}{2kT}}$$

$n_i = p_i$ – концентрации электронов и дырок

A – константа, зависящая от температуры

W_0 – ширина запрещённой зоны

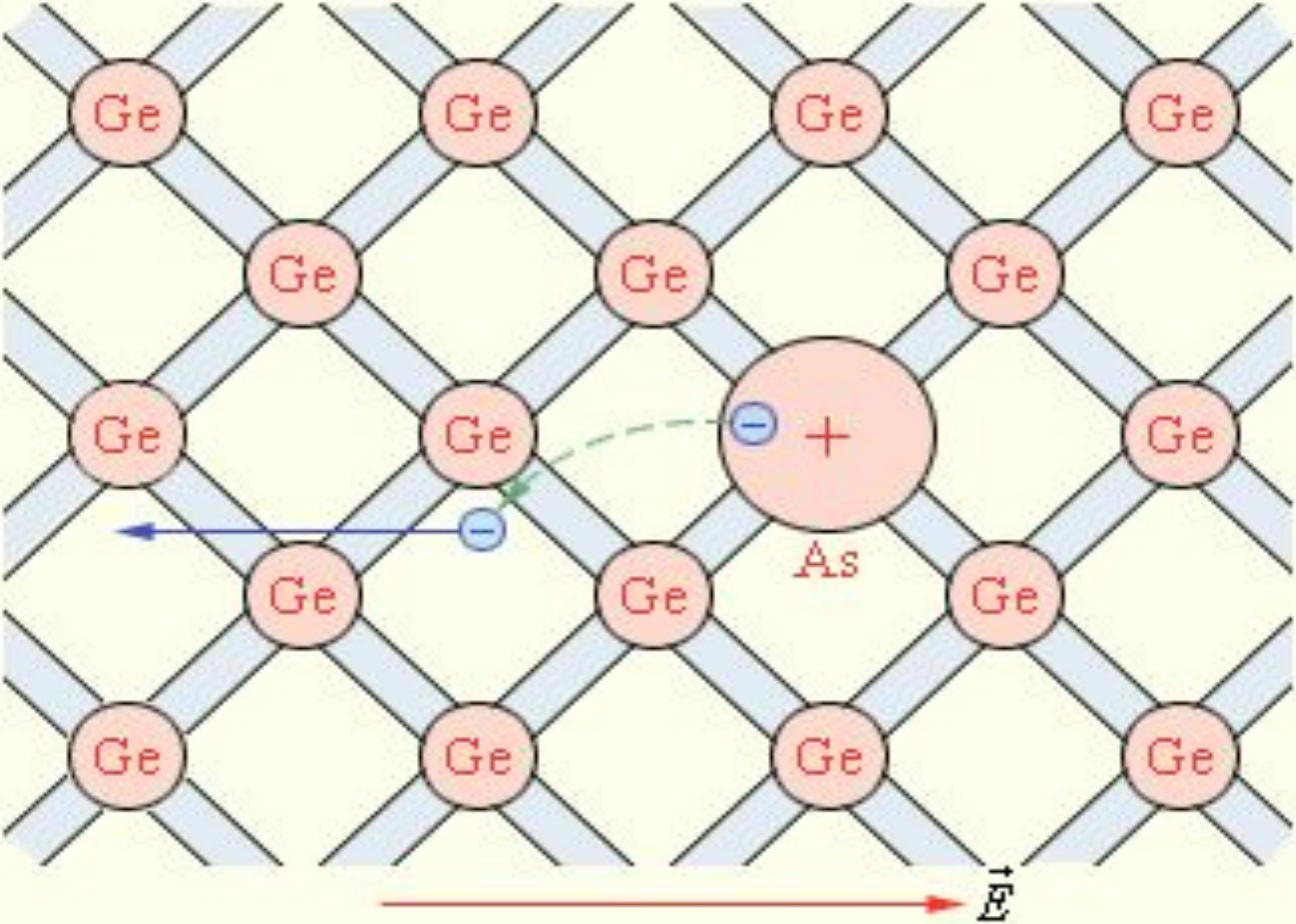
k – коэффициент Больцмана

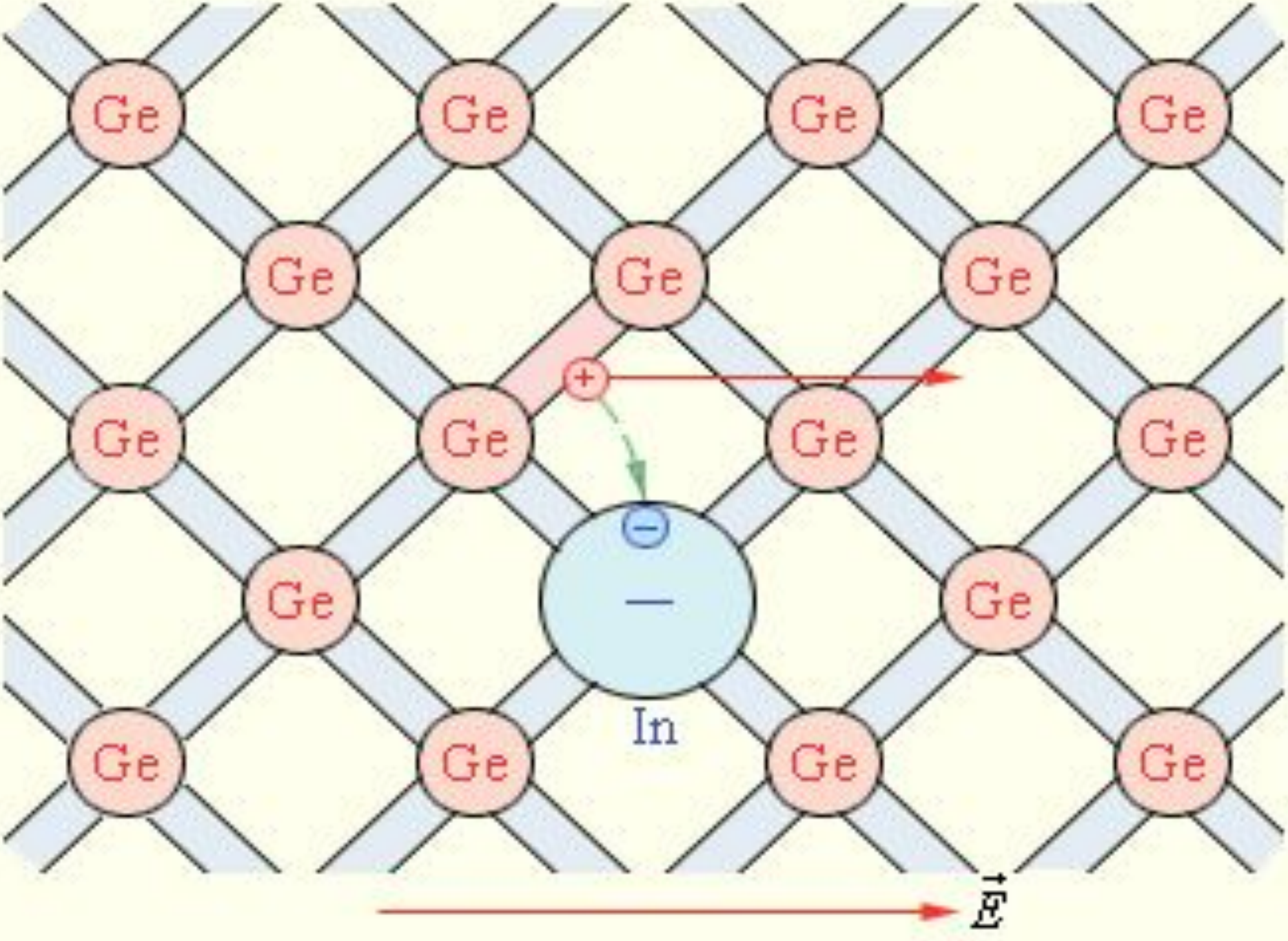
T – абсолютная температура

Примесная проводимость – проводимость, обусловленная внесением в их КР примесей (атомов посторонних химических элементов).

Виды:

Электронные	Дырочные
n-тип	p-тип

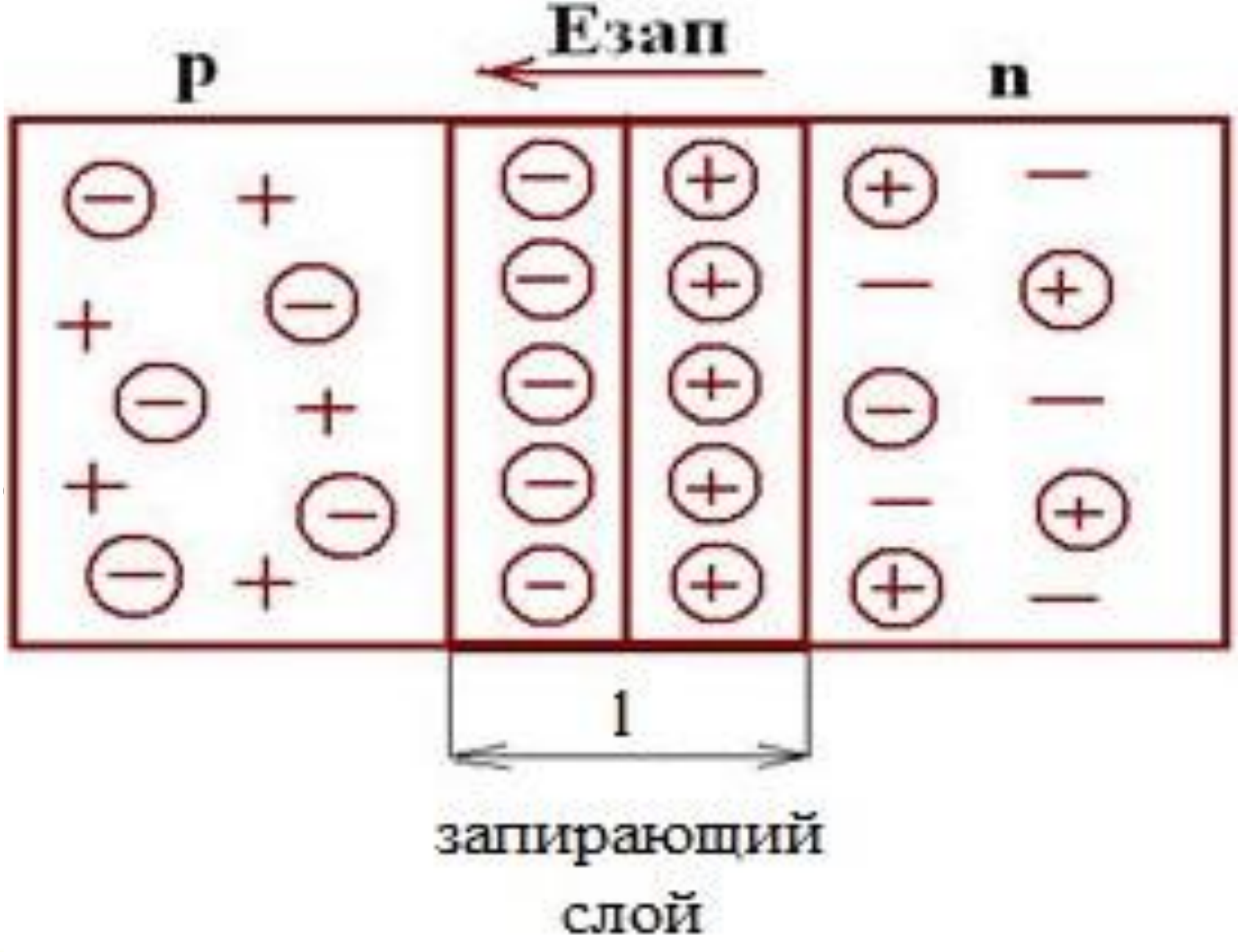

Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
+
As
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
$\vec{E}$


Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
Ge
+
−
In
E

Зависимость концентрации носителей заряда от температуры

$$n_1 = B \cdot e^{-\frac{\Delta W_n}{2kT}}$$

n_1 – концентрации носителей заряда
B – константа, не зависящая от температуры
W_n – энергия ионизации примеси
k – коэффициент Больцмана
T – абсолютная температура


Eзап
p
n
l
запирающий
слой

П/п n-типа заряжается положительно,
п/п p-типа – отрицательно.

Образуется слой толщиной l,
лишенный свободных носителей,
обладающий высоким сопротивлением –
запирающий слой,
который препятствует движению основных носителей заряда и не препятствует движению неосновных носителей заряда
(дрейфовый ток).

Прямой p-n-переход

При прямом включении p-n-перехода $U_{внешнее}$ создает в переходе поле, которое противоположно по направлению внутреннему диффузионному электрическому полю.
Напряженность результирующего поля падает, что сопровождается сужением запирающего слоя.
В результате этого большое количество основных носителей зарядов получает возможность диффузионно переходить в соседнюю область.
Ток дрейфа при этом не изменяется, поскольку он зависит от количества неосновных носителей, появляющихся на границах перехода.
Т.е. через переход будет протекать результирующий ток, определяемый в основном диффузионной составляющей.
Диффузионный ток зависит от высоты потенциального барьера и по мере его снижения увеличивается экспоненциально.

Прямой p-n-переход

Повышенная диффузия носителей зарядов через переход приводит к повышению концентрации дырок в области n-типа и электронов в области p-типа.

Такое повышение концентрации неосновных носителей вследствие влияния внешнего напряжения, приложенного к переходу, называется ***инжекцией неосновных носителей***.

Неравновесные неосновные носители диффундируют вглубь п/п и нарушают его электронейтральность.

Восстановление нейтрального состояния п/п происходит за счет поступления носителей зарядов от внешнего источника.

Это является причиной возникновения тока во внешней цепи, называемого ***прямым током***.

Обратный p-n-переход

При включении p-n-перехода в обратном направлении внешнее обратное напряжение создает электрическое поле, совпадающее по направлению с диффузионным, что приводит к росту потенциального барьера и увеличению ширины запирающего слоя.

Все это уменьшает диффузионные токи основных носителей.

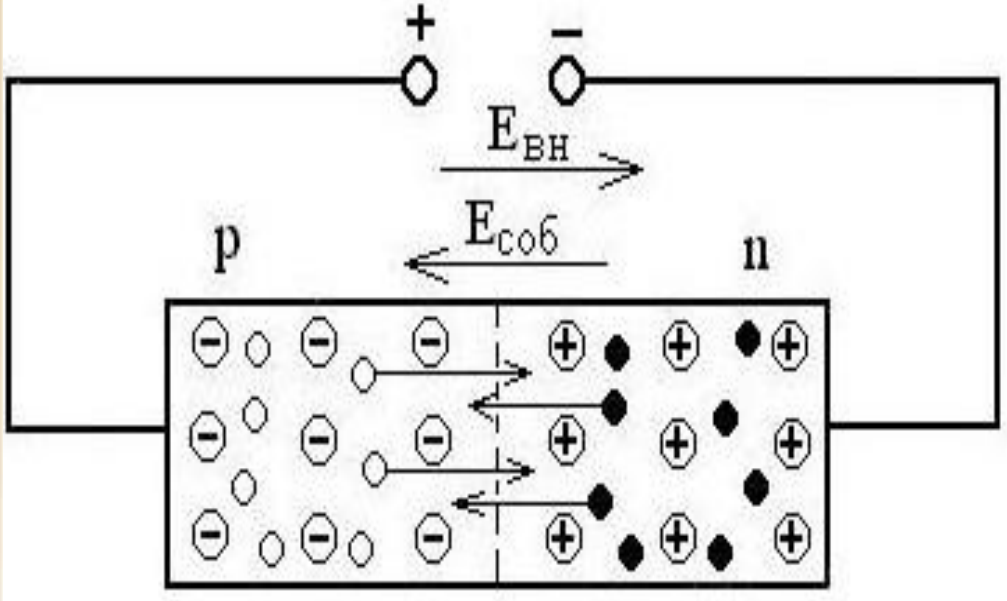
Для неосновных носителей поле в p-n-переходе остается ускоряющим, поэтому дрейфовый ток не изменяется.

Т.о. через переход будет протекать результирующий ток, определяемый в основном током дрейфа неосновных носителей.

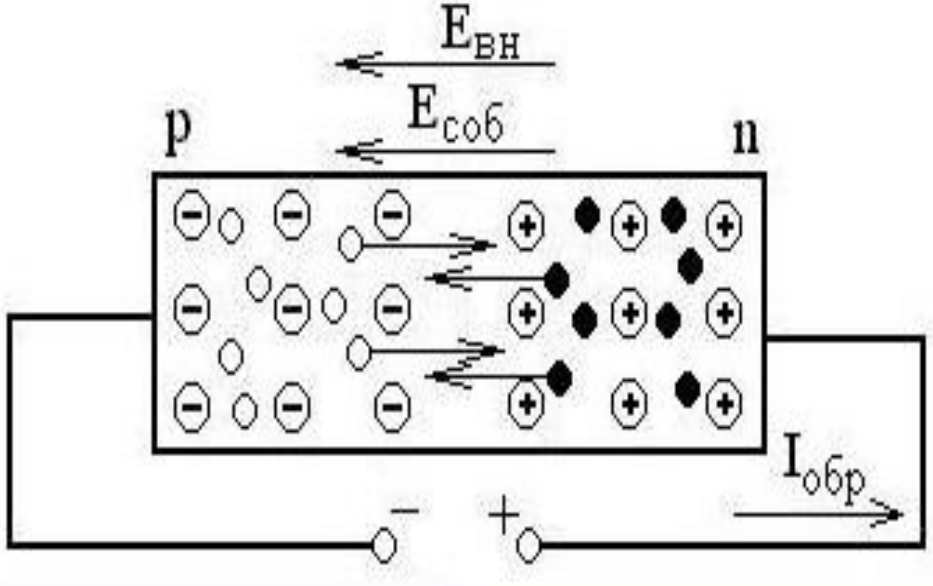
Поскольку количество дрейфующих неосновных носителей не зависит от приложенного напряжения (оно влияет только на их скорость), то при увеличении обратного напряжения ток через переход стремиться к предельному значению I_S, которое называется ***током насыщения***.

Чем больше концентрация примесей доноров и акцепторов, тем меньше ток насыщения.

$C \uparrow T \uparrow I_S$ растет по экспоненциальному закону.

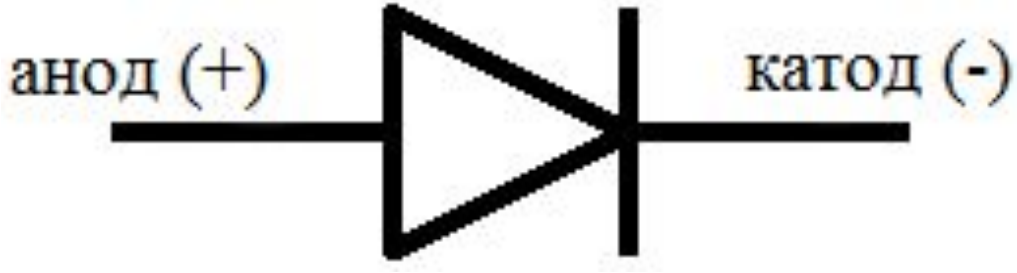


Прямое включение p-n-перехода



Обратное включение p-n-перехода

Полупроводниковый диод – устройство, содержащее p-n-переход и способное пропускать ток в одном направлении и не пропускать в противоположном.

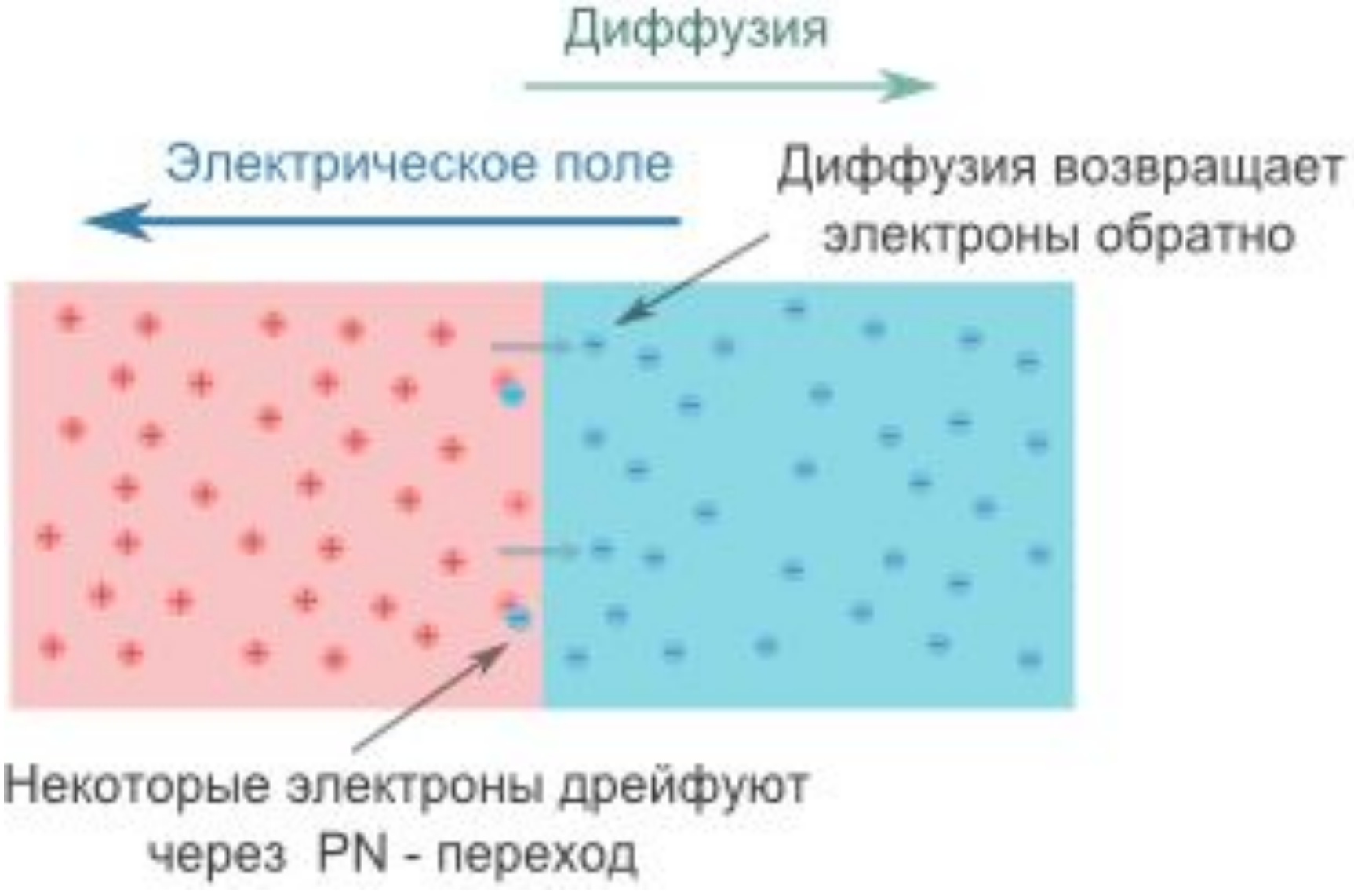


Диод

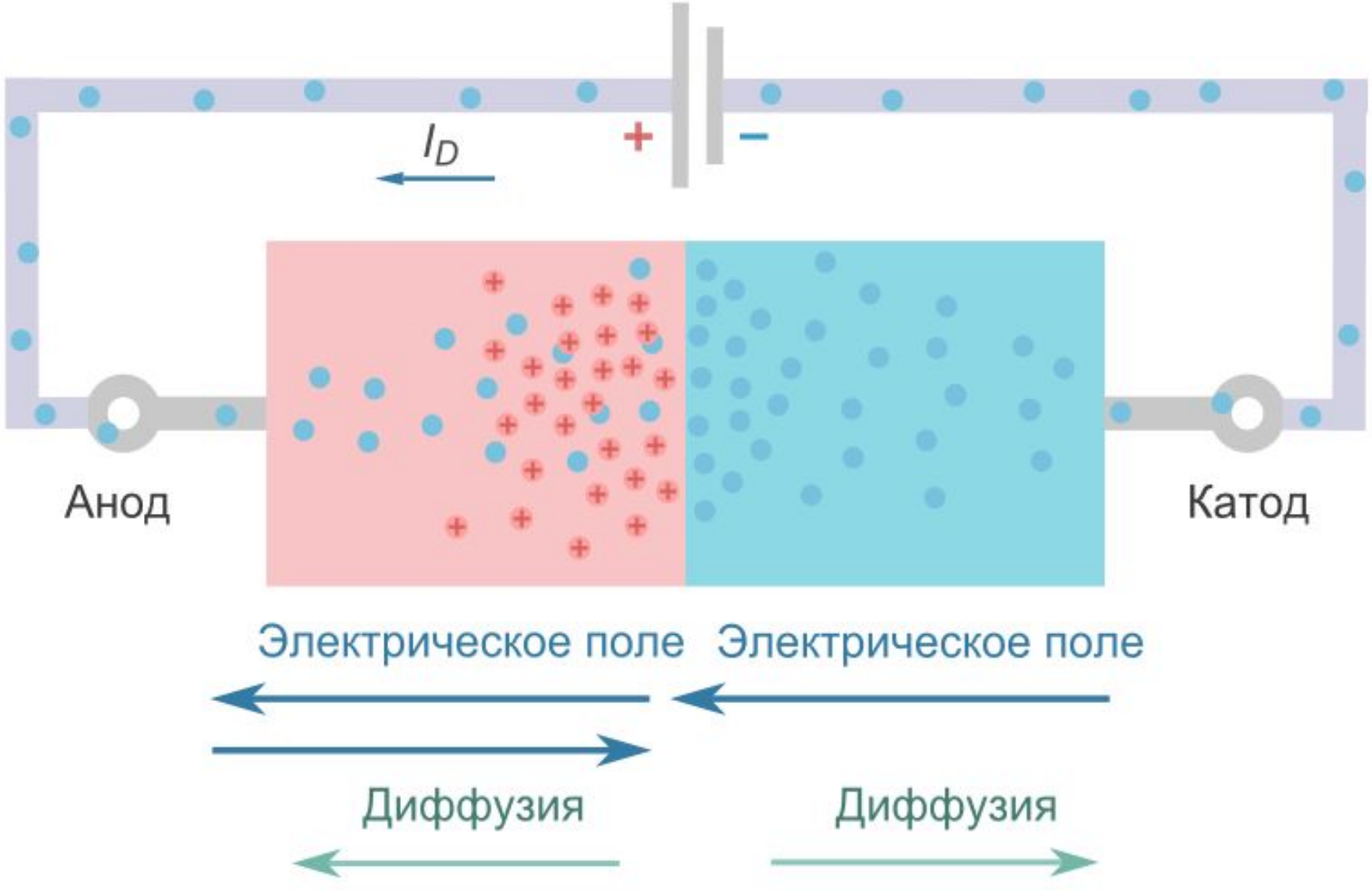
(др.-греч. *ди* – два, *одос* – путь) — электронный элемент, обладающий различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока.

Электроды диода носят названия анод (+) и катод (-).

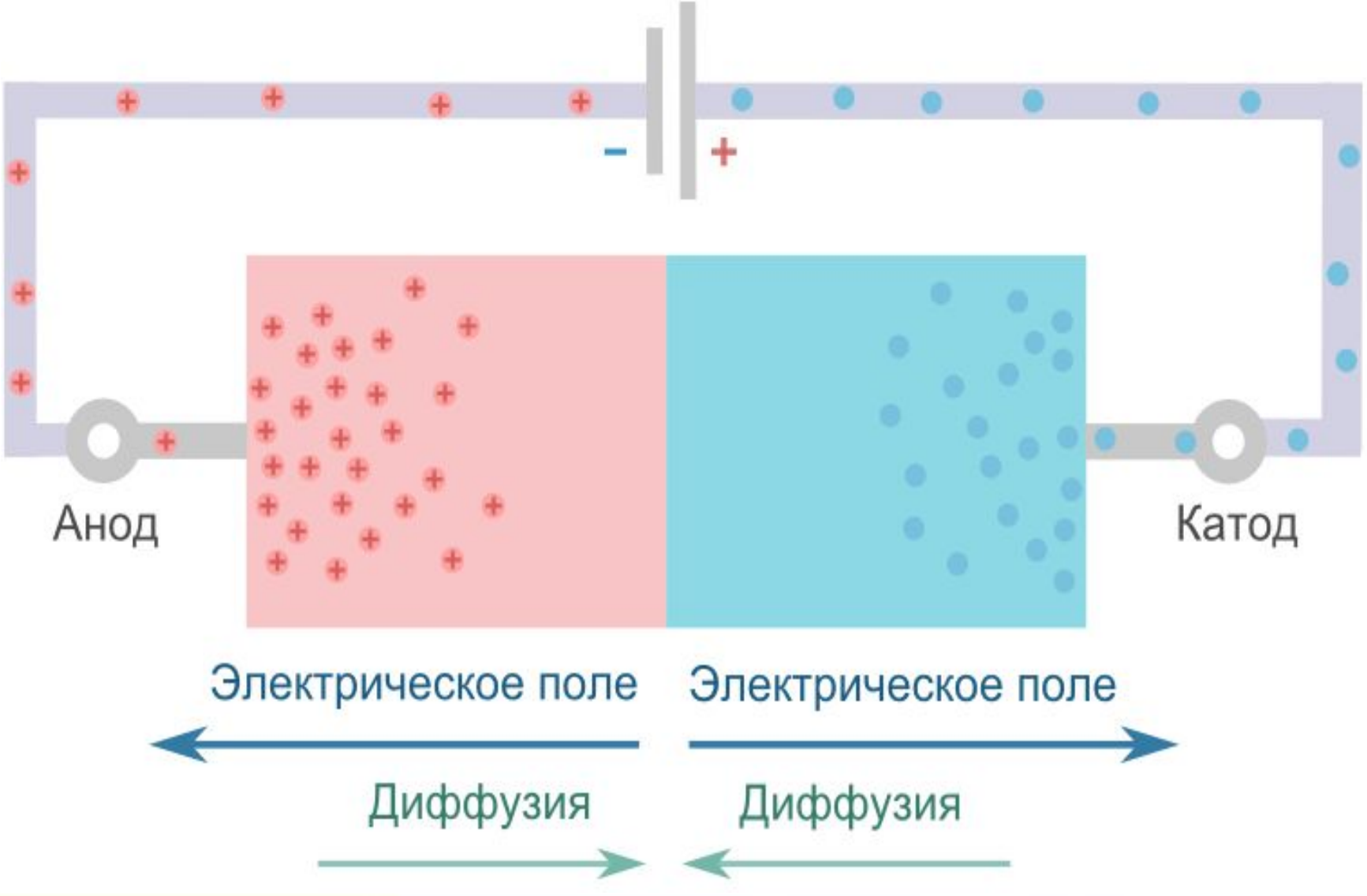
П/п диод в состоянии покоя



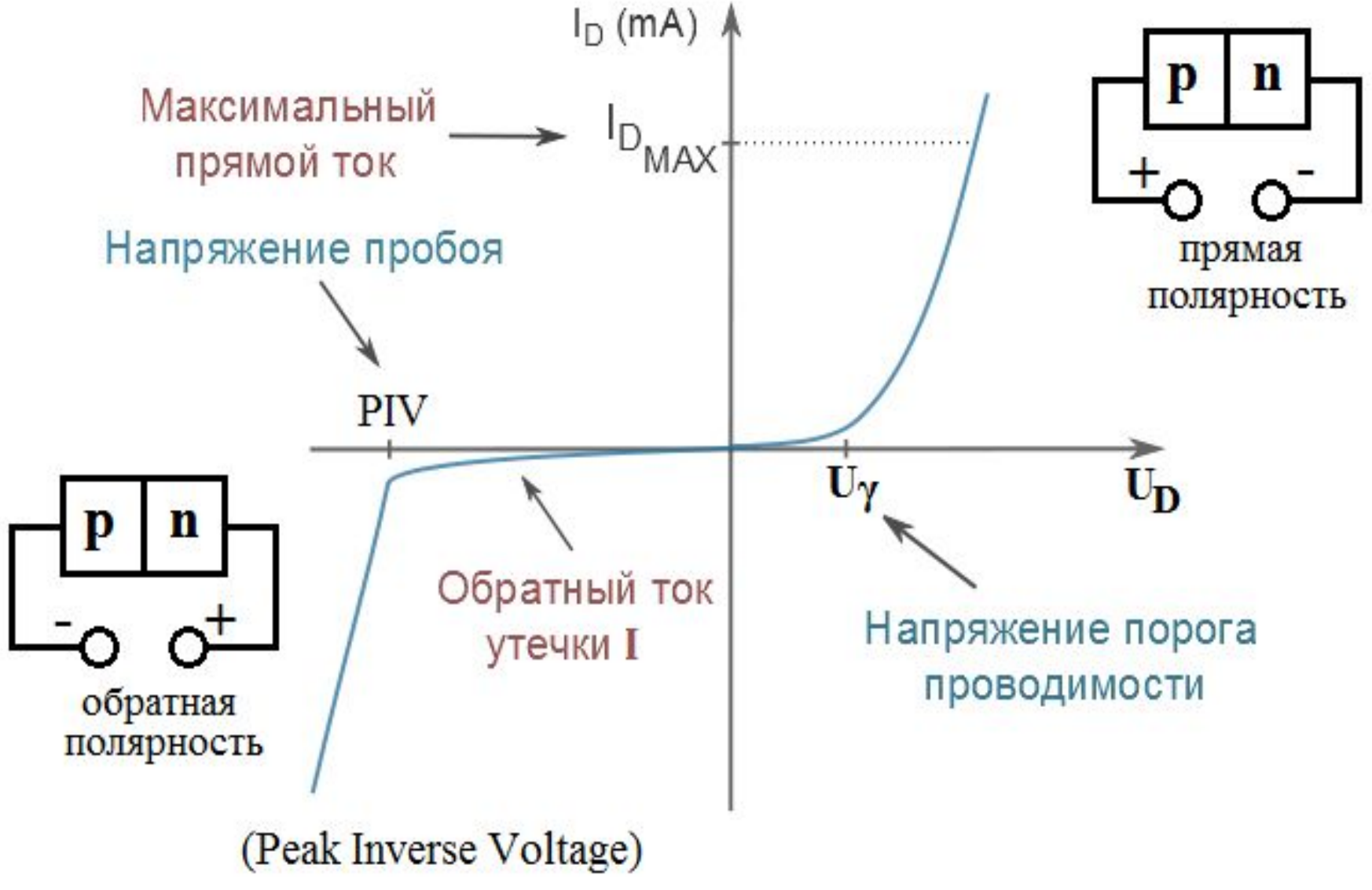
Прямое включение п/п диода



Обратное включение п/п диода



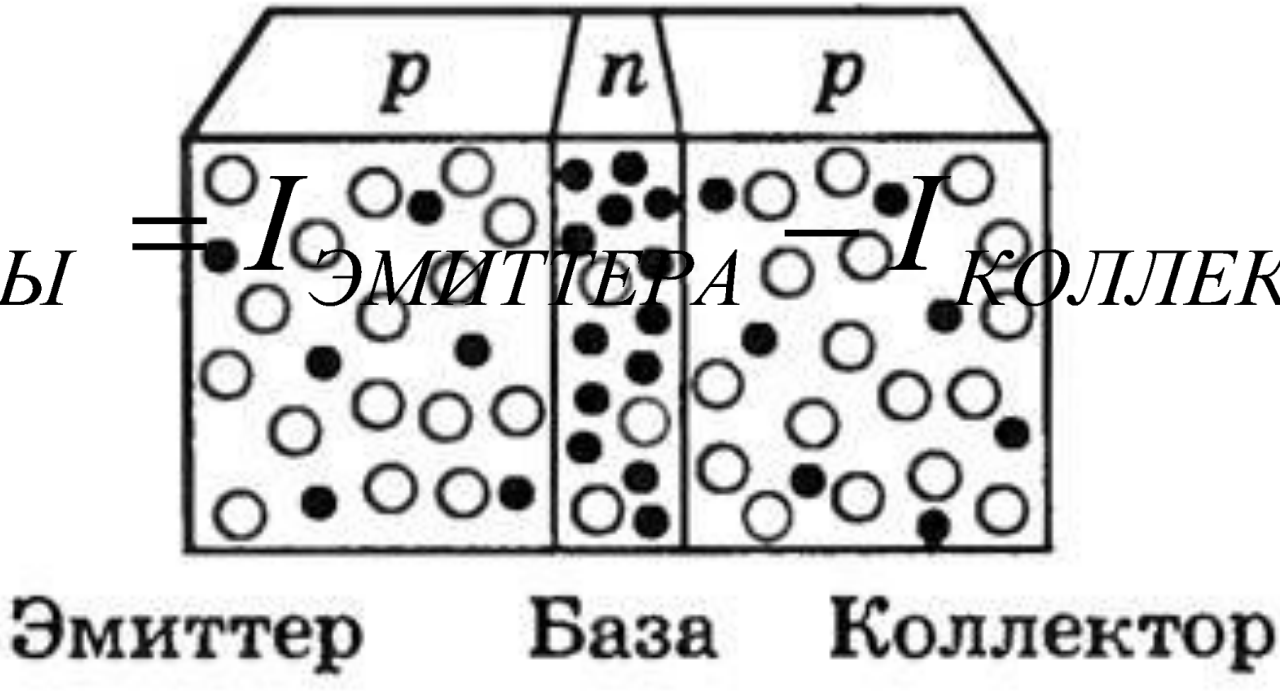
ВАХ п/п диода


I_D (mA)
Максимальный прямой ток
$I_{D_{MAX}}$
Напряжение пробоя
PIV
U_γ
U_D
p
n
+
-
прямая полярность
p
n
-
+
обратная полярность
Обратный ток утечки I
Напряжение порога проводимости
(Peak Inverse Voltage)

Транзистор
(англ. *transistor – транзистор*) –
п/п триод,
радиоэлектронный компонент из
п/п материала,
способный от небольшого входного
сигнала управлять значительным током
в выходной цепи, что позволяет его
использовать для усиления,
генерирования, коммутации и
преобразования электрических сигналов.

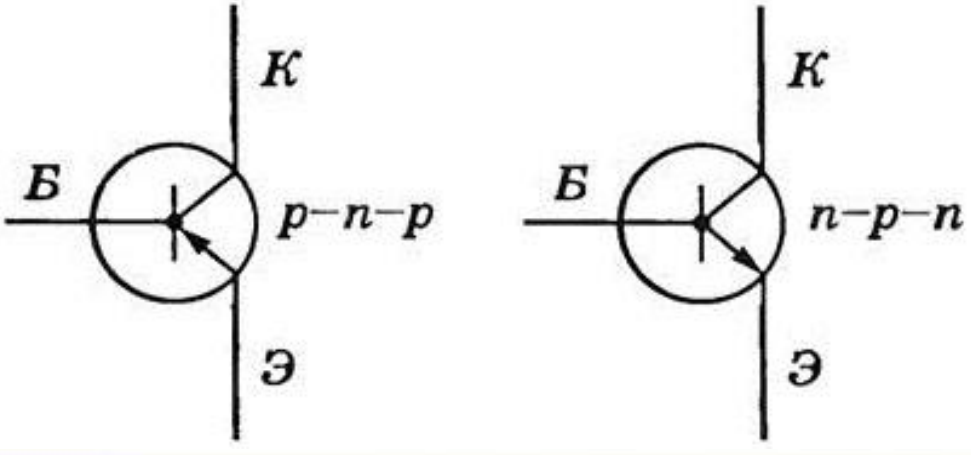
Средняя область кристалла называется **базой транзистора**, а две крайние области кристалла, обладающие проводимостью противоположного базе типа, называются **коллектором** и **эмиттером**.

$$I_{БАЗЫ} = I_{ЭМИТТЕРА} - I_{КОЛЛЕКТОРА}$$



Транзисторы, в которых эмиттер и коллектор обладают дырочной проводимостью, а база – электронной, называются **транзисторами p-n-p-перехода**.

Транзисторы, в которых эмиттер и коллектор обладают электронной проводимостью, а база – дырочной, называются **транзисторами n-p-n-перехода**.



Эмиттер

(лат. *emitto* – выпускаю) –
область п/п прибора, назначение которой
– инжекция носителей заряда в базу.

Инжекция

(лат. *injectio* – вбрасывание) –
проникновение избыточных носителей заряда
в п/п под действием электрического поля.

Коллектор

(англ. *to collect* – собирать) –
область транзистора, предназначенная главным обра
зом для приема носителей заряда из базы.

Применение транзисторов

Используется для ограничения силы тока, поступающего в нагрузку,
и включается в разрыв между источником питания и нагрузкой.
Т.е. транзистор представляет собой некий вариант полупроводникового резистора, сопротивление которого можно очень быстро изменять.

Применение транзисторов

В усилительных схемах.
Работает, как правило, в усилительном режиме.

В генераторах сигналов.
В зависимости от типа генератора транзистор может использоваться либо в ключевом (генерация прямоугольных сигналов), либо в усилительном режиме (генерация сигналов произвольной формы).

В электронных ключах.

Уолтер Хаузер Браттейн
(10.02.1902 – 13.10.1987)

Американский физик,
изобретатель транзистора.

Джон Бардин
(23.05.1908 – 30.01.1991)

Американский физик,
изобретатель транзистора.

Уильям Брэдфорд Шокли

(13.02.1910 – 12.08.1989)

Американский физик, изобретатель плоскостного биполярного транзистора.

16 декабря 1947 г. физик-экспериментатор Уолтер Браттейн, работавший с теоретиком Джоном Бардином, собрал первый работоспособный точечный транзистор.

В январе 1948 г. Шокли изобрёл плоскостной биполярный транзистор, а затем создал научную теорию, объяснявшую его работу.

В 1956 г. за создание транзистора Джон Бардин, Уильям Брэдфорд Шокли и Уолтер Браттейн получили Нобелевскую премию.

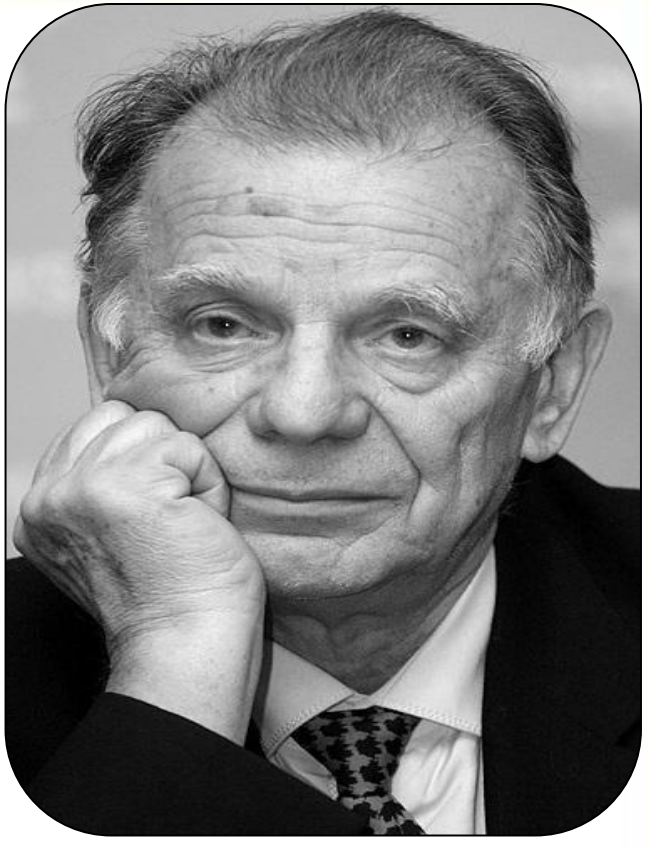
Образцы заданий ЕГЭ

К содержанию

А1. Выберите фамилию нашего соотечественника, получившего Нобелевскую премию за исследование полупроводников, использующихся в лазерах, средствах мобильной связи.

1) Басов
2) Прохоров
3) Гинзбург
4) Алфёров

Жорес Алфёров
(15.03.1930)



Советский и российский физик, разработал полупроводниковую гетероструктуру.

Жорес Иванович Алферов
и *Герберт Кремер* (учёный из США)
открыли и создали быстродействующие опто- и микроэлектронные устройства на базе полупроводниковых гетероструктур: быстродействующие транзисторы, лазерные диоды для систем передачи информации в оптоволоконных сетях, мощные эффективные светоизлучающие диоды, способные в будущем заменить лампы накаливания и т.д.
За это Шведская Королевская Академия наук удостоила их Нобелевской премии
по физике за 2000 г.

А2. Идеальный p-n-переход присоединён через металлические контакты к источнику тока так, что к p-полупроводнику присоединена отрицательная клемма источника. Если током неосновных носителей зарядов пренебречь, то ток

1) в p-области перехода обеспечивается в основном движением дырок, в n-области — электронов

2) в p-области перехода обеспечивается в основном движением электронов, в n-области — дырок

3) в p-области и n-области перехода обеспечивается в равной степени движением дырок и электронов

4) в p-области и n-области перехода не идёт

С3. Чему примерно равна концентрация носителей заряда в полупроводнике р-типа, если он получен добавлением трёхвалентного металла в германий (число атомов примеси составляет 0.01% от числа атомов германия в кристалле). Собственной проводимостью германия можно пренебречь, плотность его считайте равной 5400 кг/м^3. Молярная масса германия 0.0725 кг/моль.

$$\nu = \frac{N}{N_A} \Rightarrow N = \nu N_A = \frac{m}{M} N_A$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V$$

$$N = \frac{0.01}{100} \rho V N_A$$

$$N = \frac{0.01}{100} \cdot 5400 \frac{кг}{м^3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \frac{1}{моль} \cdot \frac{моль}{0.0725 кг} = 44.83 \cdot 10^{23} м^{-3}$$

С4. В цепи сопротивление диодов в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке А положительного полюса, а к точке В отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением потребляемая мощность равна 7.2 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 14.4 Вт. Укажите условия прохождения тока через диоды и резисторы в обоих случаях и определите сопротивление резисторов в этой цепи.

$$1.\ A+,\ B-$$

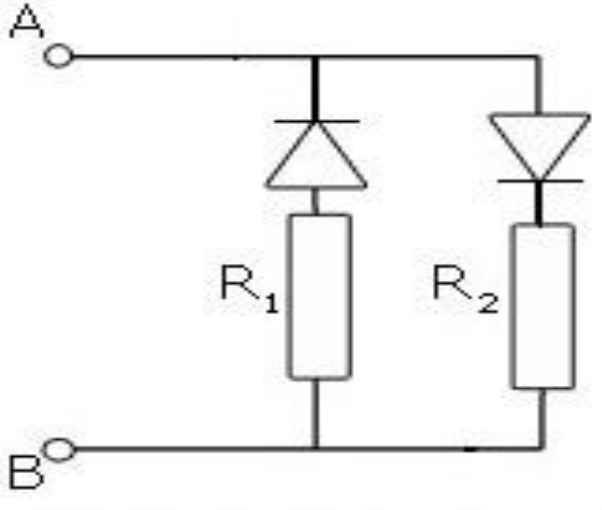
$$\phi_A > \phi_B \Rightarrow I(R_1) = 0$$

$$P_1 = \frac{\mathcal{E}^2}{R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{\mathcal{E}^2}{P_1} = \frac{(12\,B)^2}{7.2\,Bm} = 20\,Ом$$

$$2.\ A-,\ B+$$

$$\phi_A < \phi_B \Rightarrow I(R_2) = 0$$

$$P_2 = \frac{\mathcal{E}^2}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{\mathcal{E}^2}{P_2} = \frac{(12\,B)^2}{14.4\,Bm}$$



Решение задач

К содержанию

$$n = \frac{N}{V}$$

$$\left.\begin{aligned} \nu = \frac{N}{N_A} \Rightarrow N = \nu N_A = \frac{m}{M} N_A \\ \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} \end{aligned}\right\} \Rightarrow n = \frac{\frac{m}{M} N_A}{\frac{m}{\rho}} = \frac{\rho N_A}{M}$$

№1. Концентрация электронов проводимости в германии при комнатной температуре n = $3*10^{19}$ $м^{-3}$. Какую часть составляет число электронов проводимости от общего числа атомов?

$$\frac{n_Э}{n} = \frac{n_Э \cdot M}{\rho N_A}$$

$$\frac{n_Э}{n} = \frac{3 \cdot 10^{19} \frac{1}{м^3} \cdot 73 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{моль}}{5400 \frac{кг}{м^3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \frac{1}{моль}} = 6.7 \cdot 10^{-10}$$

№2. Найти сопротивление полупроводникового диода в прямом и обратном направлениях тока, если при напряжении на диоде 0.5 В сила тока 5 мА, а при напряжении 10 В сила тока 0.1 мА.

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

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{0.5B}{5 \cdot 10^{-3} M} = 100 Ом$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{10B}{1 \cdot 10^{-4} M} = 10^5 Ом$$

№3. В усилителе, собранном на транзисторе по схеме с общей базой, сила тока в цепи эмиттера равна 12 мА, в цепи базы 600 мкА. Найти силу тока в цепи коллектора.

$$I_{БАЗЫ} = I_{ЭМИТТЕРА} - I_{КОЛЛЕКТОРА}$$

$$I_{КОЛЛЕКТОРА} = I_{ЭМИТТЕРА} - I_{БАЗЫ}$$

$$I_K = 12 \cdot 10^{-3}\, A - 0.6 \cdot 10^{-3}\, A = 11.4 \cdot 10^{-3}\, A = 11.4 мА$$

№4. В вакуумном диоде электрон подходит к аноду со скоростью 8 Мм/с. Найти анодное напряжение.

$$\left.\begin{array}{l} A = E_{КИН_2} - E_{КИН_1} \\ \upsilon_0 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow A = E_{КИН_2}$$

$$\left.\begin{array}{l} A = qU \\ q = e \end{array}\right\} \Rightarrow A = eU$$

$$E_{КИН} = \frac{m\upsilon^2}{2}$$

$$\Rightarrow eU = \frac{m\upsilon^2}{2}$$

$$U = \frac{m\upsilon^2}{2e}$$

$$U = \frac{9.1 \cdot 10^{-31} кг \cdot \left(8 \cdot 10^6 \frac{м}{с}\right)^2}{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} Кл} = 182 В$$

$$\left.\begin{array}{l} A = E_{КИН_2} - E_{КИН_1} \\ \upsilon_0 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow A = E_{КИН_2}$$

$$\left.\begin{array}{l} A = qU \\ q = e \end{array}\right\} \Rightarrow A = eU \qquad \left.\begin{array}{l} A = eU \\ E_{КИН} = \dfrac{m\upsilon^2}{2} \end{array}\right\} \Rightarrow eU = \dfrac{m\upsilon^2}{2}$$

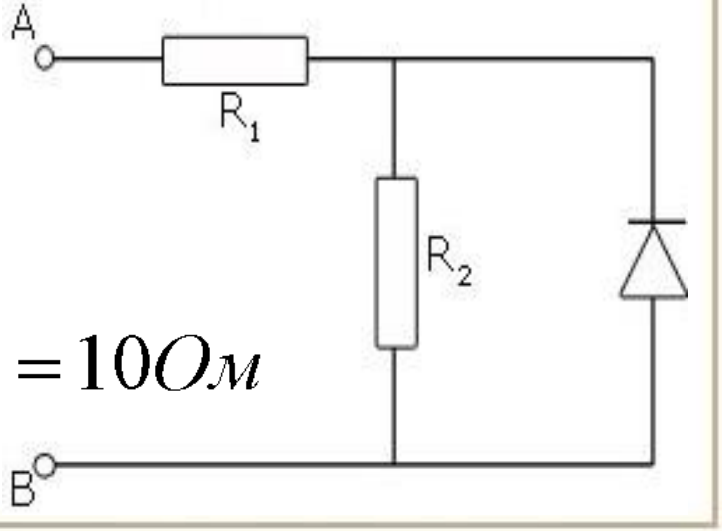
№5. В телевизионном кинескопе ускоряющее анодное напряжение равно 16 кВ, а расстояние от анода до экрана составляет 30 см. За какое время электроны проходят это расстояние?

$$\upsilon = \frac{s}{t} \Rightarrow \upsilon^2 = \frac{s^2}{t^2}$$

$$eU = \frac{ms^2}{2 \cdot t^2} \Rightarrow t^2 = \frac{ms^2}{2 \cdot eU} \Rightarrow t = s\sqrt{\frac{m}{2 \cdot eU}}$$

$$t = 0.3м\sqrt{\frac{9.1 \cdot 10^{-31} кг}{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} Кл \cdot 1.6 \cdot 10^4 В}} \approx 4 \cdot 10^{-9} с = 4нс$$

№6. В цепи сопротивление диодов в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке А положительного полюса, а к точке В отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением потребляемая мощность равна 4.8 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 14.4 Вт. Укажите условия прохождения тока через диоды и резисторы в обоих случаях и определите сопротивление резисторов в этой цепи.



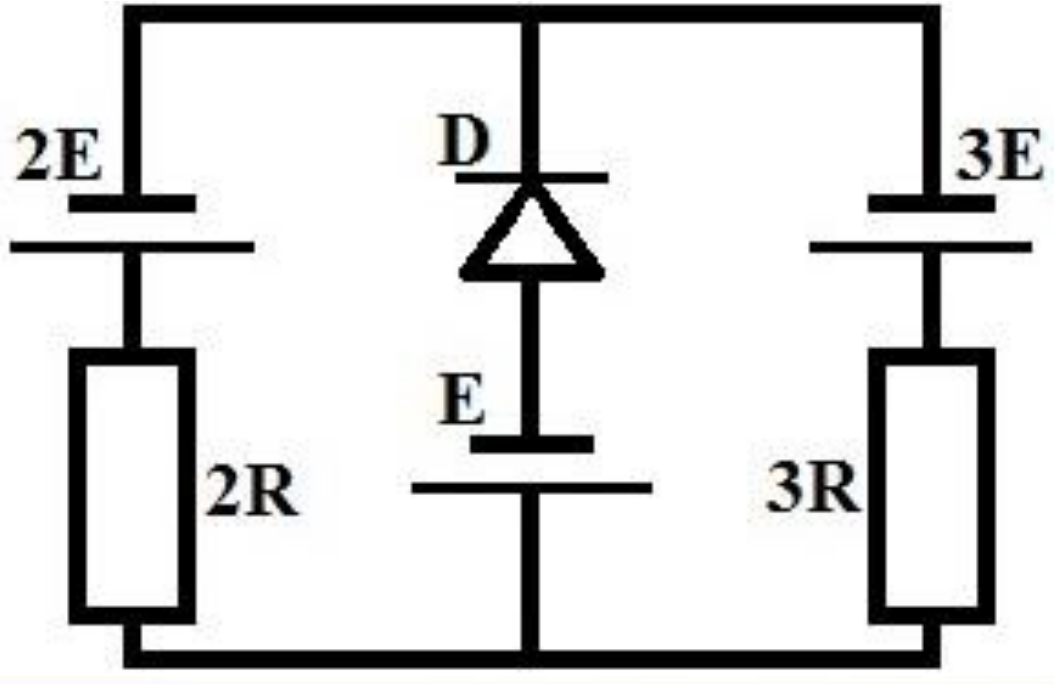
№7. Найти сопротивление полупроводникового диода в прямом и обратном направлениях тока, если при напряжении на диоде 0.5 В сила тока 5 мА, а при напряжении 10 В сила тока 0.1 мА.

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

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{0.5B}{5 \cdot 10^{-3} A} = 100Ом$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{10B}{10^{-4} A} = 10^5 Ом$$

№8. В схеме, изображенной на рисунке, определите ток через идеальный диод **D** и напряжение на диоде. Параметры схемы указаны на рисунке, внутренними сопротивлениями батарей пренебречь.



Когда диод открыт, то на нем происходит падение напряжения. Это падение напряжения создается протекающим через диод так называемым прямым током и зависит от величины этого тока.

$$I(D) \Rightarrow U(D) = 0$$

$$I = I_1 + I_2$$

левый контур:

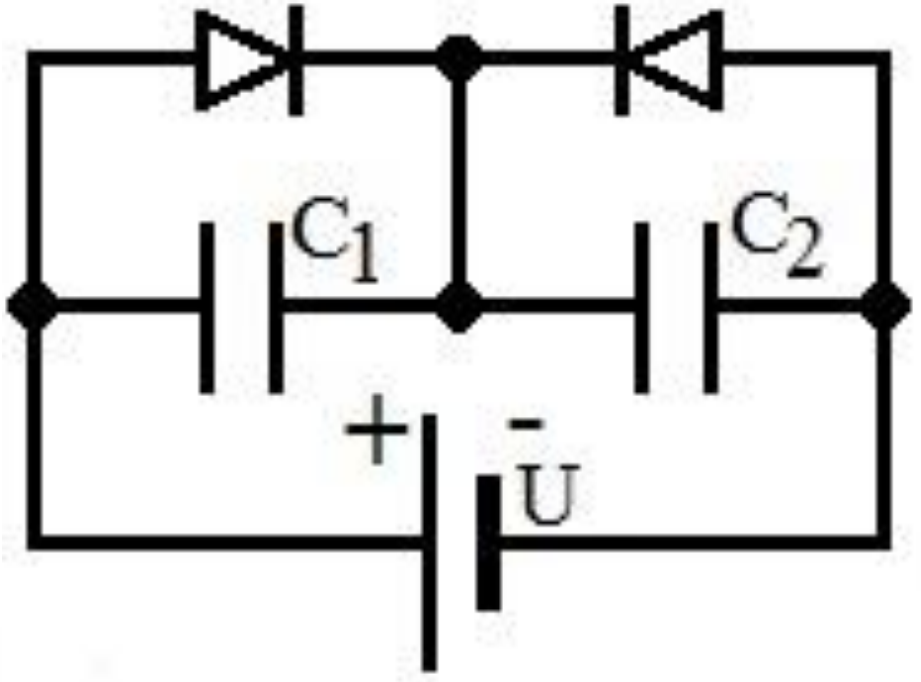
$$2\xi - \xi = I_1 \cdot 2R \Rightarrow I_1 = \frac{\xi}{2R}$$

правый контур:

$$3\xi - \xi = I_2 \cdot 3R \Rightarrow I_2 = \frac{2\xi}{3R}$$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\xi}{2R} + \frac{2\xi}{3R} = \frac{7\xi}{6R}$$

№9. На вход электроцепи подано с ИТ постоянное напряжение **U**.



Какие заряды окажутся на конденсаторах?

Какие заряды окажутся на конденсаторах после изменения полярности напряжения?

Диоды идеальные, а конденсаторами $\mathbf{C_1}$ и $\mathbf{C_2}$ первоначально не заряжены.

1. До смены полярности конденсатор $\mathbf{C_1}$ не будет заряжен, а на конденсаторе $\mathbf{C_2}$ установится заряд $\mathbf{q_2 = UC_2}$.

2. После смены полярности возможны два случая:

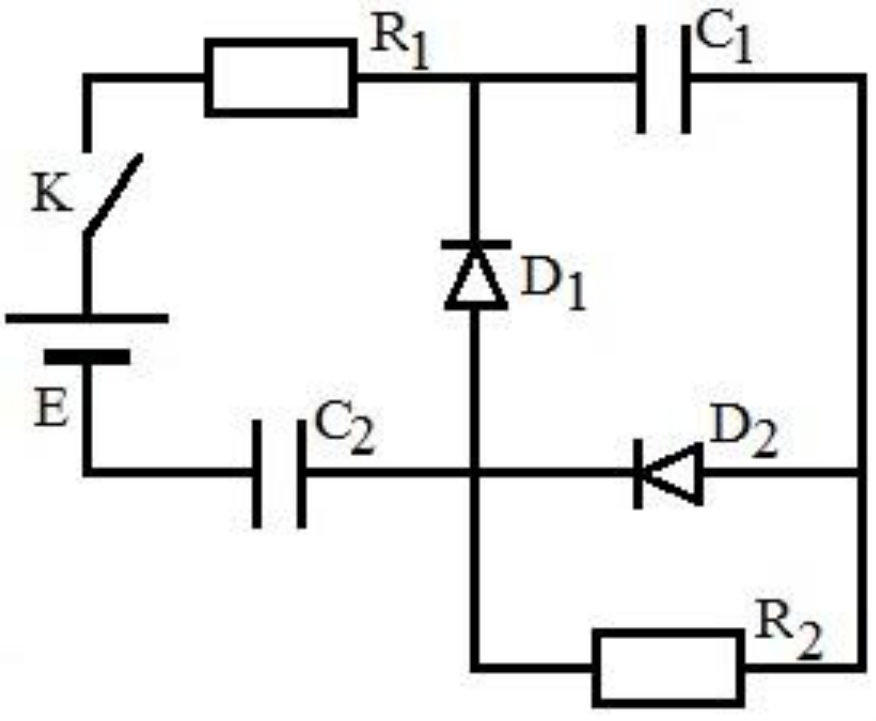
1. $C_1 > C_2$

C_2 *разряжается* $\Rightarrow q_2' = 0,\ q_1' = UC_1$

2. $C_1 < C_2$

$$\left.\begin{aligned} q_1'' + q_2'' &= UC_2 \\ U &= \frac{q_1''}{C_1} - \frac{q_2''}{C_2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left|\begin{aligned} q_1'' &= \frac{2UC_1C_2}{C_1 + C_2} \\ q_2'' &= \frac{UC_2(C_2 - C_1)}{C_1 + C_2} \end{aligned}\right.$$

№10. Считая параметры элементов цепи известными, найти:



1) ток через батарею сразу после замыкания ключа **K**;

2) количество теплоты, выделившееся в схеме после замыкания ключа.

Внутренним сопротивлением батареи пренебречь. Диоды $\mathbf{D_1}$ и $\mathbf{D_2}$ идеальные.

1. Сразу после замыкания ключа **K** падение напряжения на диоде $\mathbf{D_2}$ равно нулю. ЭДС батареи равна падению напряжения на резисторе сопротивлением $\mathbf{R_1}$, а ток будет равен: $I = \frac{\xi}{R_1}$

2. После замыкания ключа будет происходить зарядка последовательно соединенных конденсаторов емкостью $\mathbf{C_1}$ и $\mathbf{C_2}$. За время зарядки через батарею протечет заряд: $q = \frac{EC_1C_2}{C_1 + C_2}$

$$\Rightarrow A = qE = \frac{E^2C_1C_2}{C_1 + C_2}, \quad W = \frac{\frac{1}{2}E^2C_1C_2}{C_1 + C_2}$$

$$Q = A - W = \frac{\frac{1}{2}E^2C_1C_2}{C_1 + C_2}$$

Электрический ток в вакууме

К содержанию

Вакуум (лат. *vacuus* – пустой) – пространство, свободное от вещества.

Вакуум –
состояние газа, при котором молекулы успевают пролететь от одной стенки сосуда к другой, ни разу не испытав соударений друг с другом.

Физический вакуум –
низшее (основное) энергетическое состояние квантованного поля, обладающее нулевыми импульсом, моментом импульса и другими квантовыми числами.

Технический вакуум –
состояние газа с низким давлением,
сильно разреженный газ.

Космический вакуум –
космическое пространство с очень низкой плотностью и давлением; является наилучшим приближением физического вакуума.

Откачивая газ из сосуда, можно получить газ с очень малой концентрацией молекул.

Тогда для создания тока должен быть источник заряженных частиц, т.к. в вакууме нет носителей заряда!

Используют источник заряженных частиц, действие которого основано на свойстве тел, нагретых до высокой температуры, испускать электроны.

Нагрев необходим для того, чтобы энергии теплового движения электрона было достаточно для преодоления сил кулоновского притяжения между отрицательно заряженным электроном и индуцируемым им на поверхности металла положительным зарядом при удалении с поверхности.

Нагретый металлический электрод,
в отличие от холодного,
непрерывно испускает электроны.

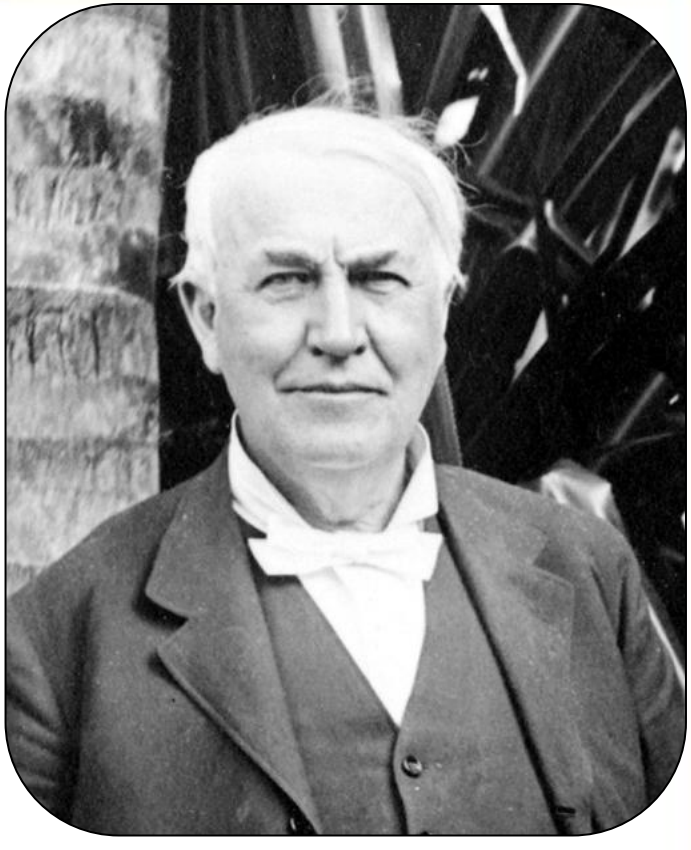
Термоэлектронная эмиссия –

явление испускания электронов нагретыми металлами (эмиттерами) в вакуум;

испарение электронов с поверхности металла.

Томас Альва Эдисон

(11.02.1847 – 18.10.1931)



Американский изобретатель и предприниматель.

Создал фонографа, усовершенствовал телеграф, телефон, киноаппаратуру (кинетоскоп).
Разработал один из первых коммерчески успешных вариантов электрической лампы накаливания.
Предложил использовать в начале телефонного разговора слово «алло».
Открыл явление термоэлектронной эмиссии в 1883 г.

В 1927 г. была экспериментально подтверждена двойственная природа электрона:
с одной стороны он обладает свойствами частицы (имеет определенную массу покоя),
с другой – его движение напоминает волну
и может быть описано определенной амплитудой, длиной волны, частотой колебаний и др.

Поэтому нельзя говорить о какой-либо определенной траектории движения электрона, можно лишь судить о той или иной степени вероятности его нахождения в данной точке пространства.

Электрон представляют не в виде материальной точки, а как бы "размазанным" по всему объему атома в виде т.н. электронного облака, имеющего области сгущения и разрежения электрического заряда.

Электронное облако –
модель состояния электрона в атоме.

Плотность участков облака
пропорциональна вероятности
нахождения там электрона.

Атомная орбиталь

(лат. *orbita* – путь, колея) –
область пространства определённой
формы и размера в атоме,
в которой наиболее вероятно пребывание
электрона.

Орбиталь следует воспринимать как
некое объемное тело, внутри которого
электрон находится с вероятностью 95%.

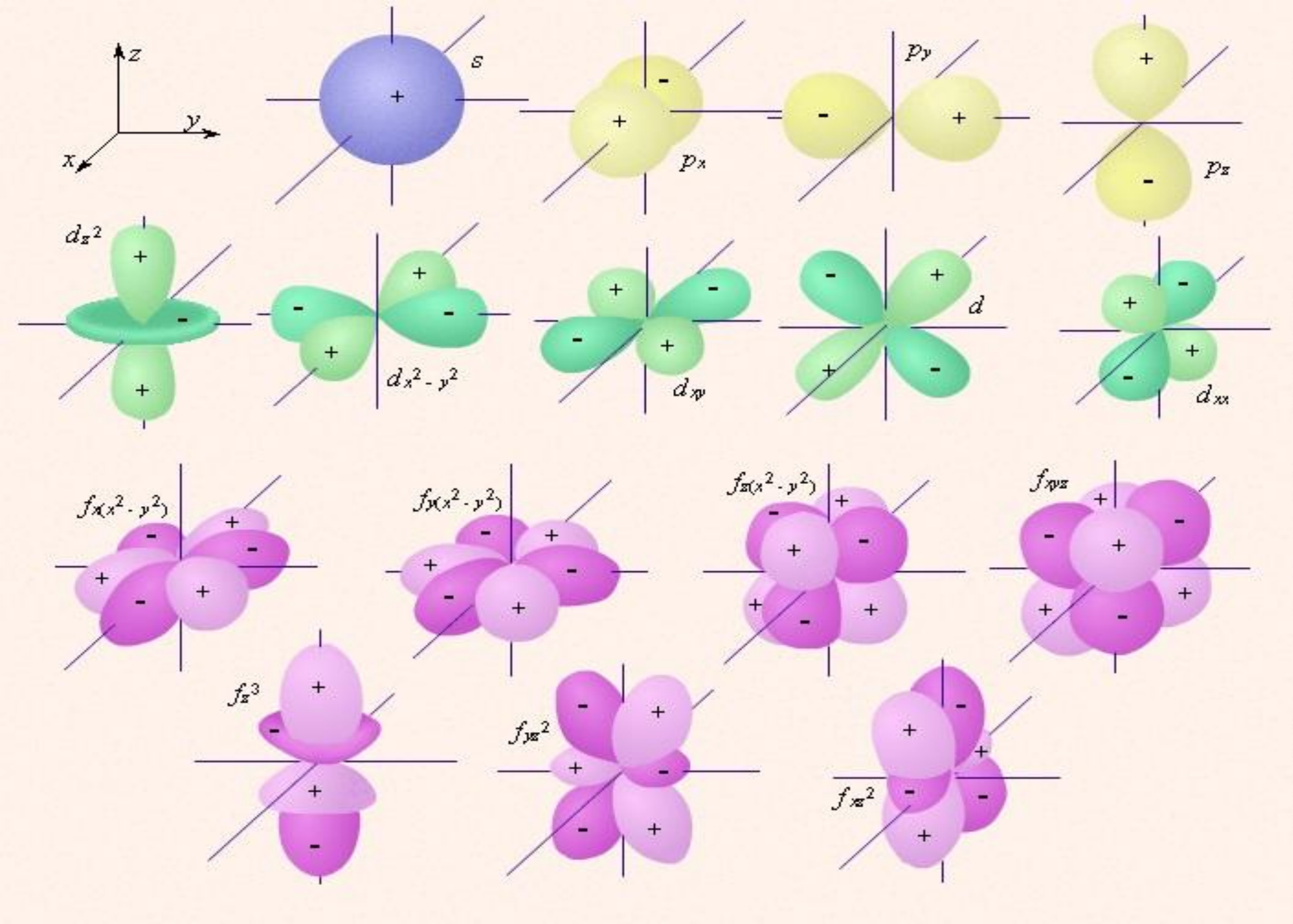
Буквенные обозначения атомных орбиталей произошли от описания спектральных линий в атомных спектрах:

s (*sharp*) – резкая серия в атомных спектрах, имеют форму шара

p (*principal*) – главная, имеют форму гантели

d (*diffuse*) – диффузная, имеют сложные формы

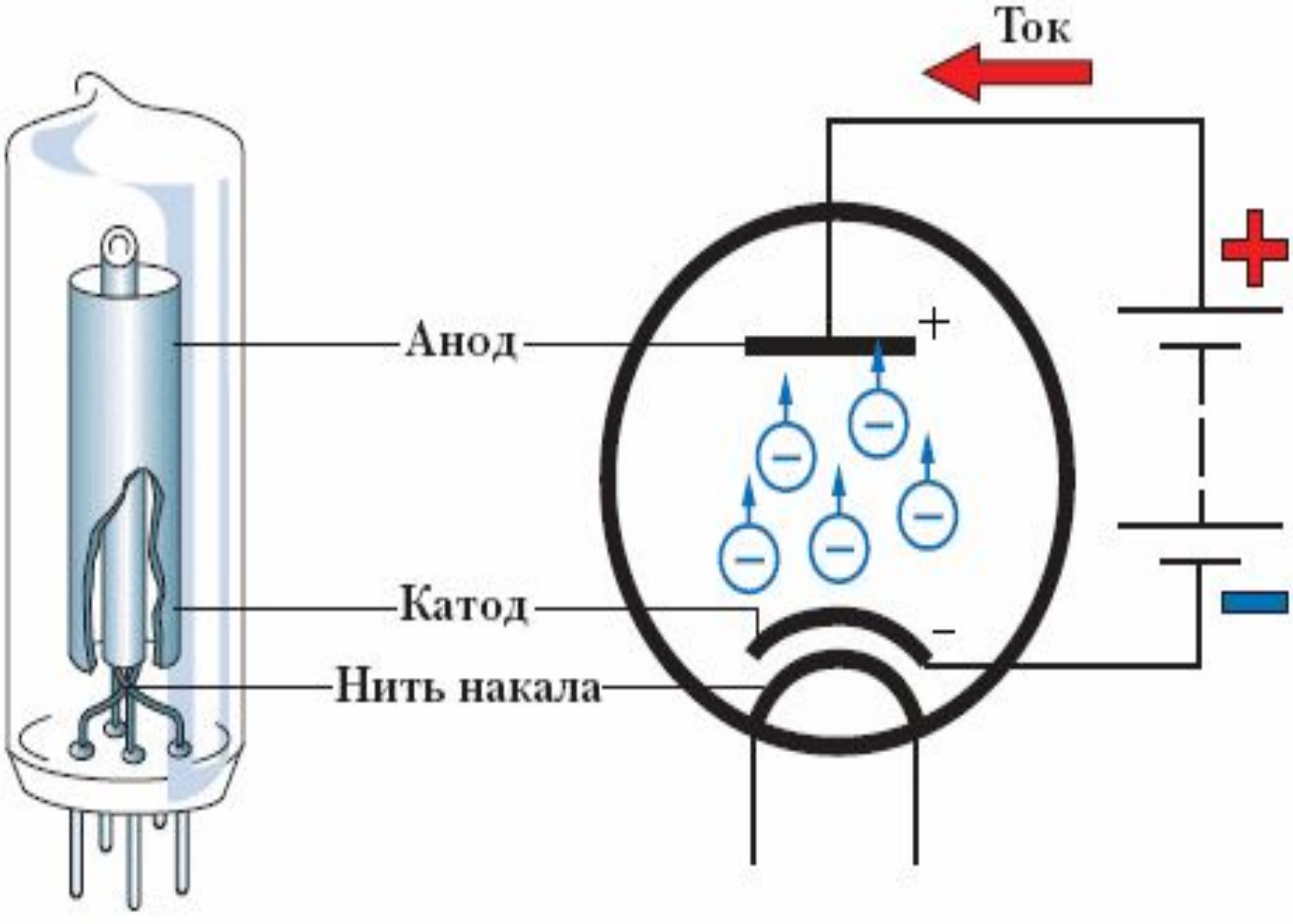
f (*fundamental*) – фундаментальная, имеют сложные формы

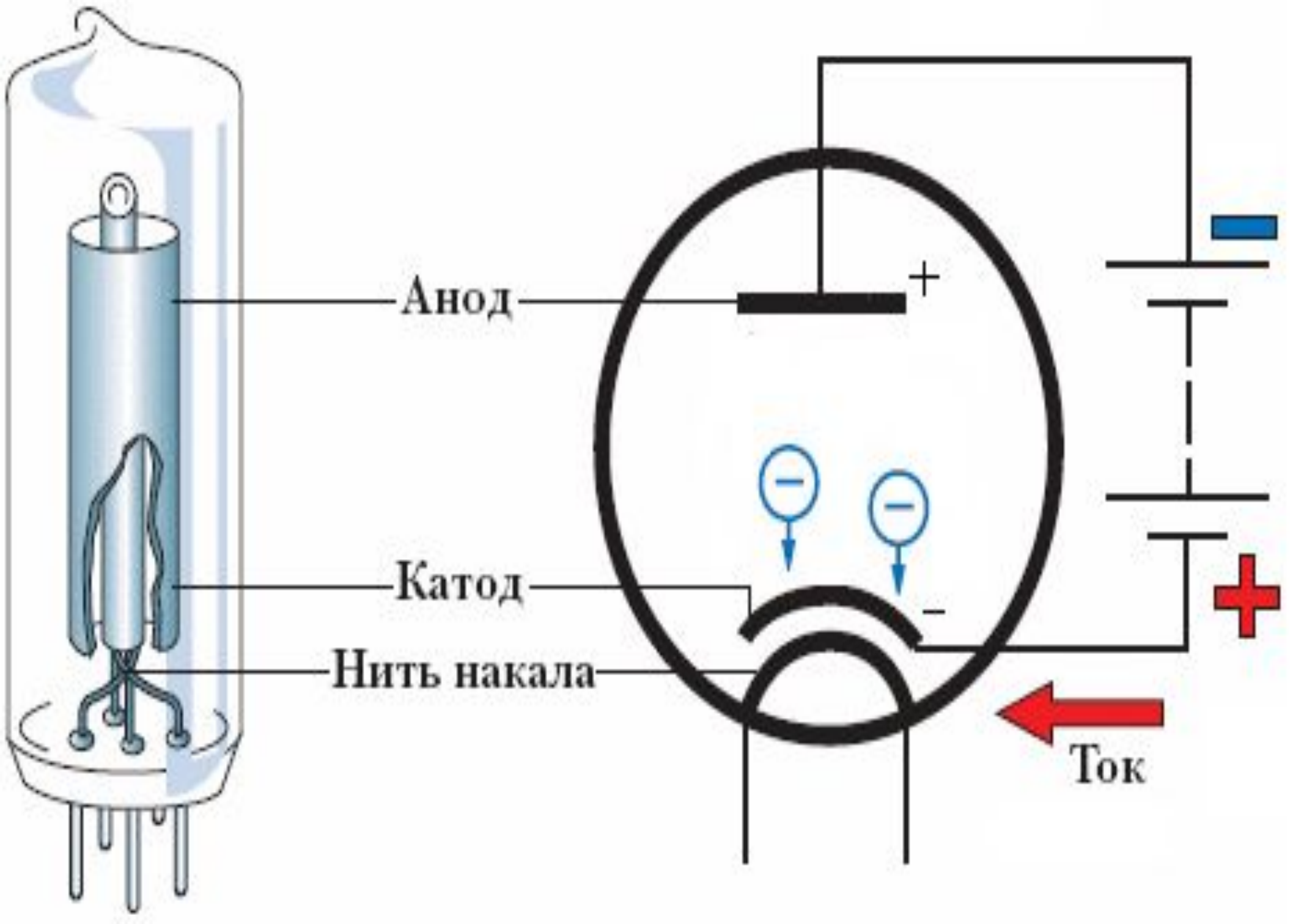

z
y
x
s
p_x
p_y
p_z
d_{z^2}
$d_{x^2-y^2}$
d_{xy}
d
d_{xz}
$f_{x(x^2-y^2)}$
$f_{y(x^2-y^2)}$
$f_{z(x^2-y^2)}$
f_{xyz}
f_{z^3}
f_{yz^2}
f_{xz^2}

При ТЭ электроны образуют вокруг нагретого электрода электронное облако.

Электрод заряжается «+»,
под влиянием ЭП заряженного облака
электроны из облака частично возвращаются
на электрод.

В равновесном состоянии число электронов,
покинувших электрод в секунду,
равно числу электронов, возвратившихся
на электрод за это время.


Ток
Анод
Катод
Нить накала
+
−


Анод
Катод
Нить накала
+
−
Ток

Катодные лучи, «электронные пучки» – поток электронов, излучаемый катодом вакуумной трубки.

Юлиус Плюккер
(16.06.1801 – 22.05.1868)

Немецкий математик и физик,
открывший катодные лучи.

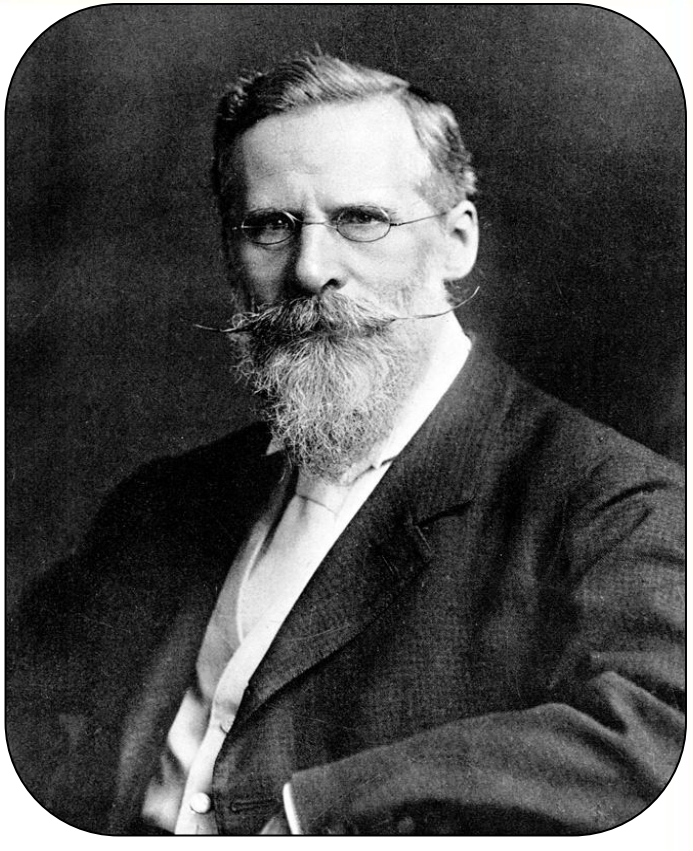
Его физические работы посвящены изучению магнетизма, электрических разрядов в газах, действия МП на эти разряды, спектров газов, катодных лучей.

В 1855 г. он сконструировал трубки для исследования спектров газов.

В 1859 г. установил, что спектр электрического газового разряда характеризует природу этого газа, обнаружил три первых линии в спектре водорода, исследовал флюоресценцию стекла трубки, где происходит разряд.

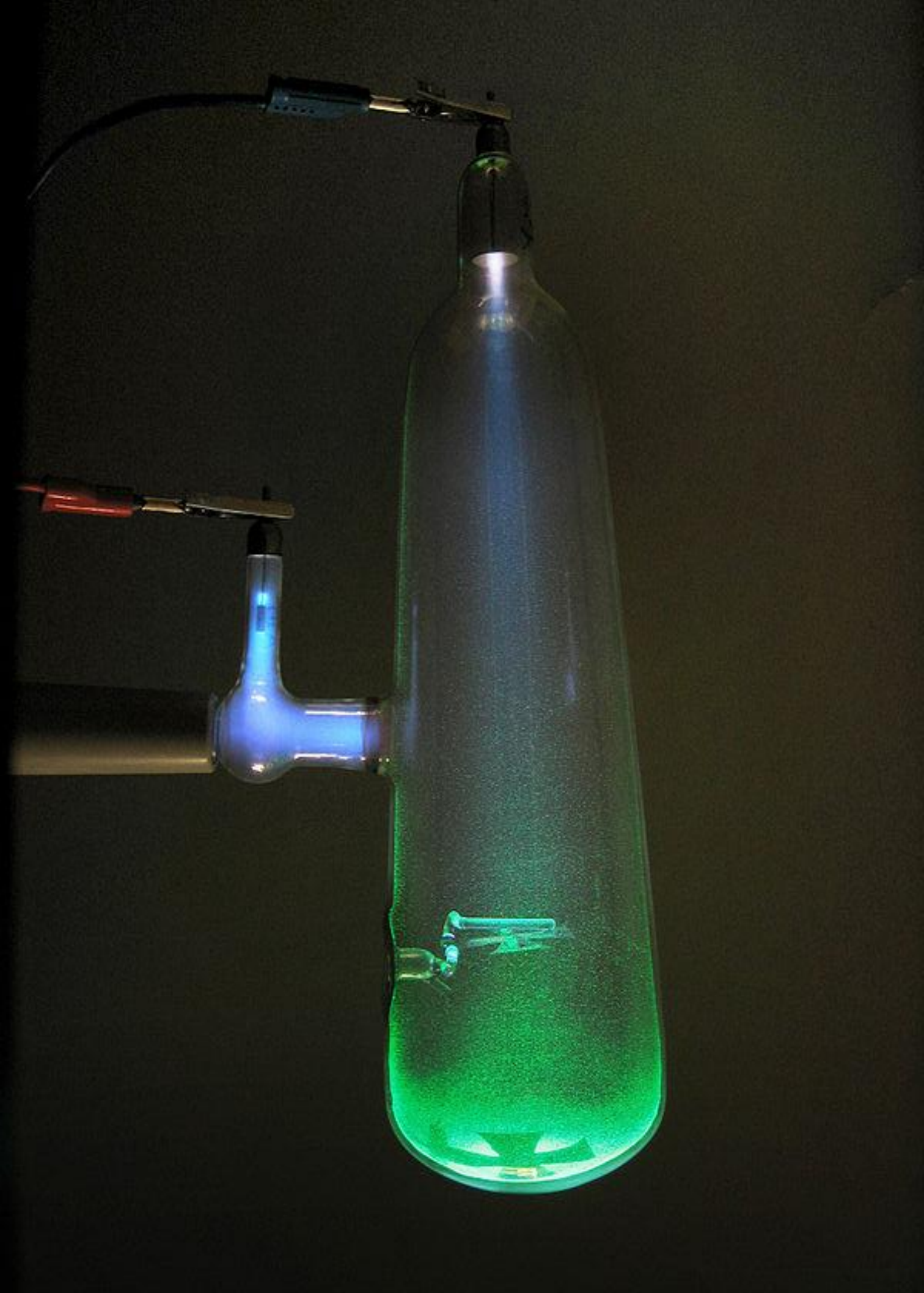
В том же 1859 г. открыл катодные лучи и наблюдал их отклонение под действием магнита.

Уильям Крукс
(17.06.1832 – 04.04.1919)



Английский химик и физик,
создавший прообраз электронной трубки.

Установил, что катодные лучи распространяются линейно, но могут отклоняться МП,
а при попадании катодных лучей на некоторые вещества последние начинают светиться.
Открыл явление сцинцилляции.
Изобрел радиометр и спинтарископ.
В 1861 г. он открыл прежде неизвестный элемент и назвал его таллием, а в 1895 г. впервые в лабораторных условиях выявил гелий.
Считается пионером в исследовании газоразрядных трубок, его исследования послужили основой для всей последующей работы по изучению плазмы.



Жан Батист Перрен
(30.09.1870 – 17.04.1942)

Французский физик,
определивший заряд катодных лучей.

В 1895 г. показал, что катодные лучи имеют корпускулярную природу и имеют отрицательный электрический заряд.

Определил значение числа Авогадро несколькими методами.

Объяснил источник солнечной энергии – термоядерные реакции с участием водорода.

Проверил и установил, что броуновское движение в жидкостях вызвано движением молекул, и тем самым дано решающее доказательство действительного существования молекул и атомов.

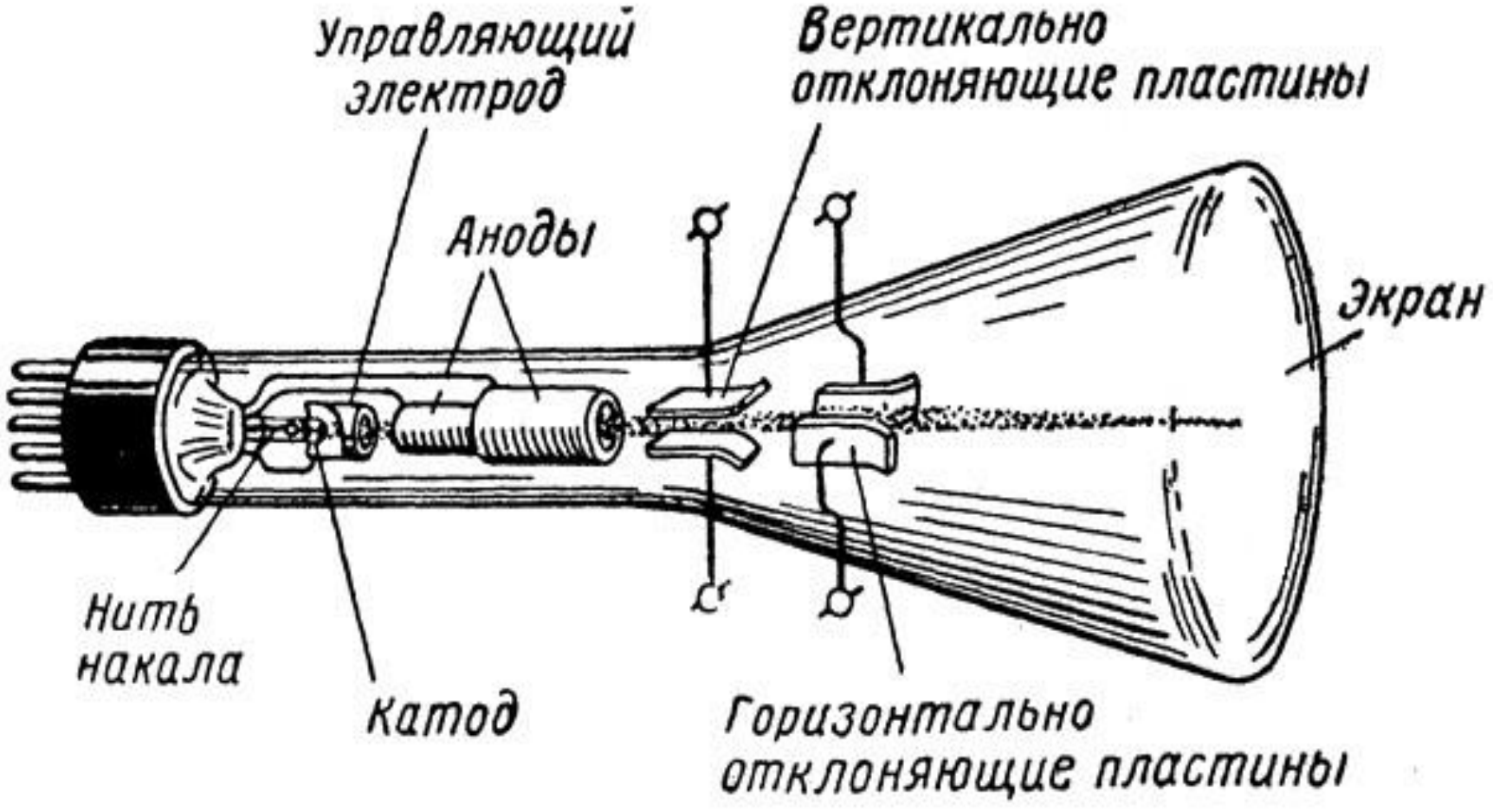
Проводя свои опыты с гуммигутом (смолокамедь), сумел взвесить молекулы и атомы.

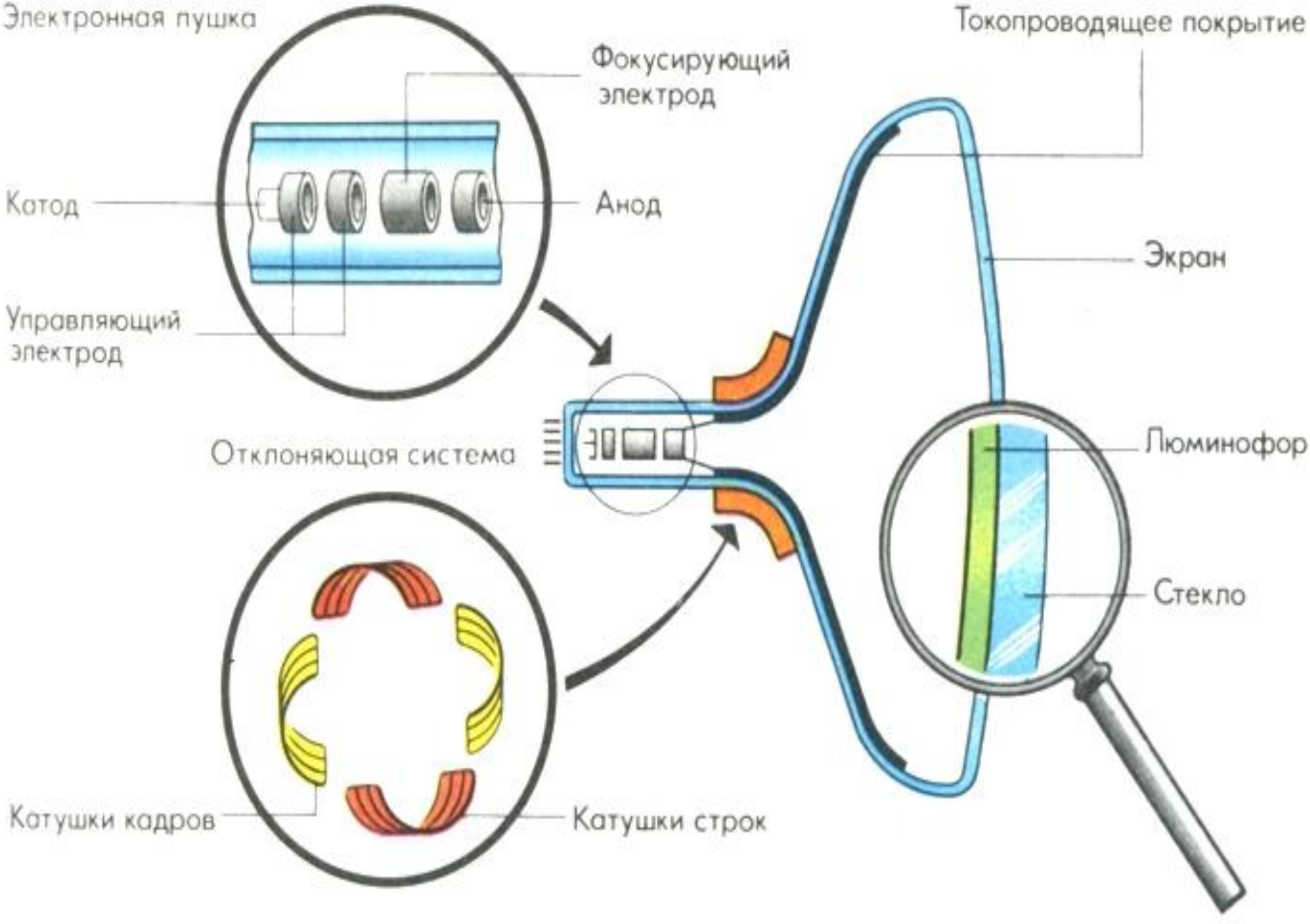
Свойства электронных пучков

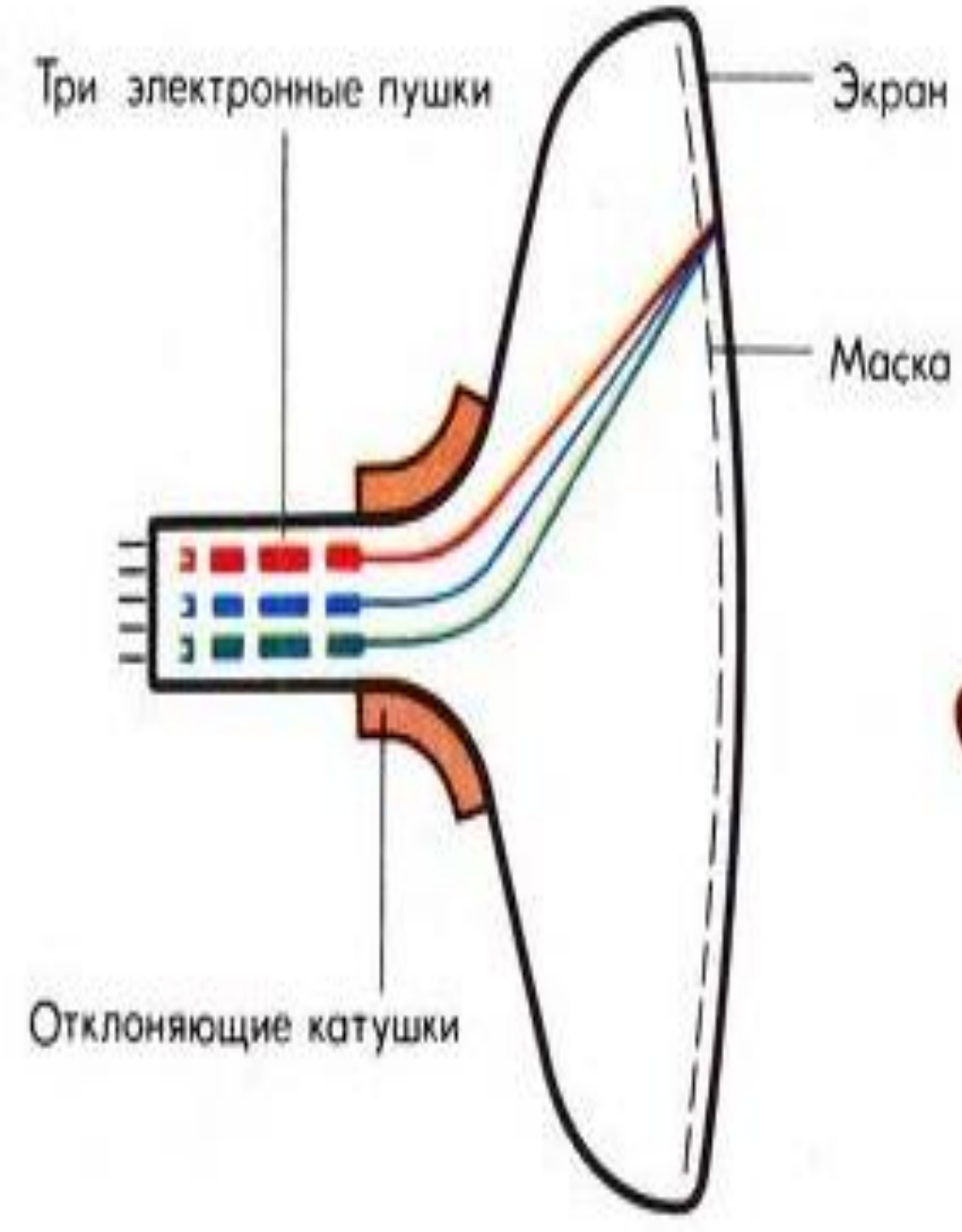
1. Электроны движутся по прямым линиям.
2. Электронный пучок, попадая на мишень, передаёт ей часть $E_{кин}$, что вызывает её нагревание – электронная плавка в вакууме сверхчистых металлов.
3. При торможении быстрых электронов, попадающих на вещество, возникает рентгеновское излучение.
4. Некоторые вещества (стекло, сульфиды Zn и Cd), бомбардируемые электронами, светятся – люминофоры.

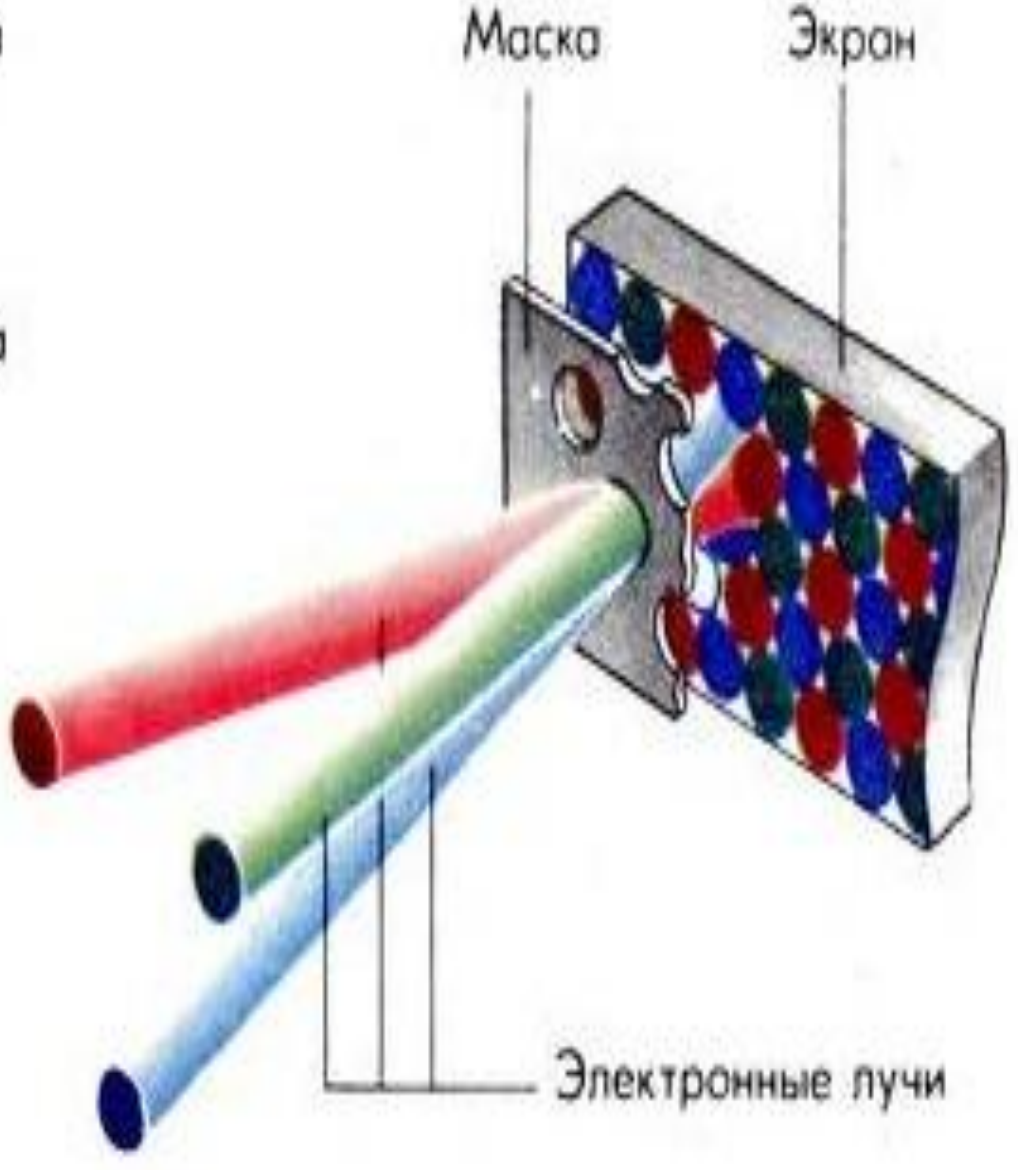
Свойства электронных пучков

5. Отклоняются ЭП.
6. Отклоняются в МП. Пролетая над северным полюсом магнита, электроны отклоняются влево, а пролетая над южным, отклоняются вправо.
7. Электронные пучки обладают ионизирующей способностью.
8. Электронные пучки могут проходить сквозь очень тонкие металлические пластины толщиной 0.003 – 0.03 мм.


Управляющий электрод
Вертикально отклоняющие пластины
Аноды
Экран
Нить накала
Катод
Горизонтально отклоняющие пластины


Электронная пушка
Фокусирующий электрод
Токопроводящее покрытие
Катод
Анод
Экран
Управляющий электрод
Отклоняющая система
Люминофор
Стекло
Катушки кадров
Катушки строк


Три электронные пушки
Экран
Маска
Отклоняющие катушки


Маска
Экран
Электронные лучи

Образцы заданий ЕГЭ

К содержанию

А1. Электронная пушка создаёт пучок электронов в стеклянной вакуумированной камере. Все электроны, покинувшие раскалённый катод пушки, покидают катод и ударяются в экран электронно-лучевой трубки. Если увеличить ускоряющее напряжение в пушке в 2 раза, то сила тока, идущего в вакууме через трубку

1) не изменится
2) возрастёт примерно в $\sqrt{2}$ раза
3) возрастёт примерно в 2 раза
4) возрастёт примерно в 4 раза

А2. Вакуумный диод, у которого анод («+») и катод («-») – параллельные пластины, работает в режиме, когда между током и напряжением выполняется соотношение $I = aU^{3/2}$
(где a – некоторая постоянная величина).
Линейная зависимость тока от напряжения (закон Ома) нарушается из-за

1) свойств электронного пучка
2) появления дополнительных носителей тока
3) того, что свойства анода и катода разные
4) движения электронов в вакууме

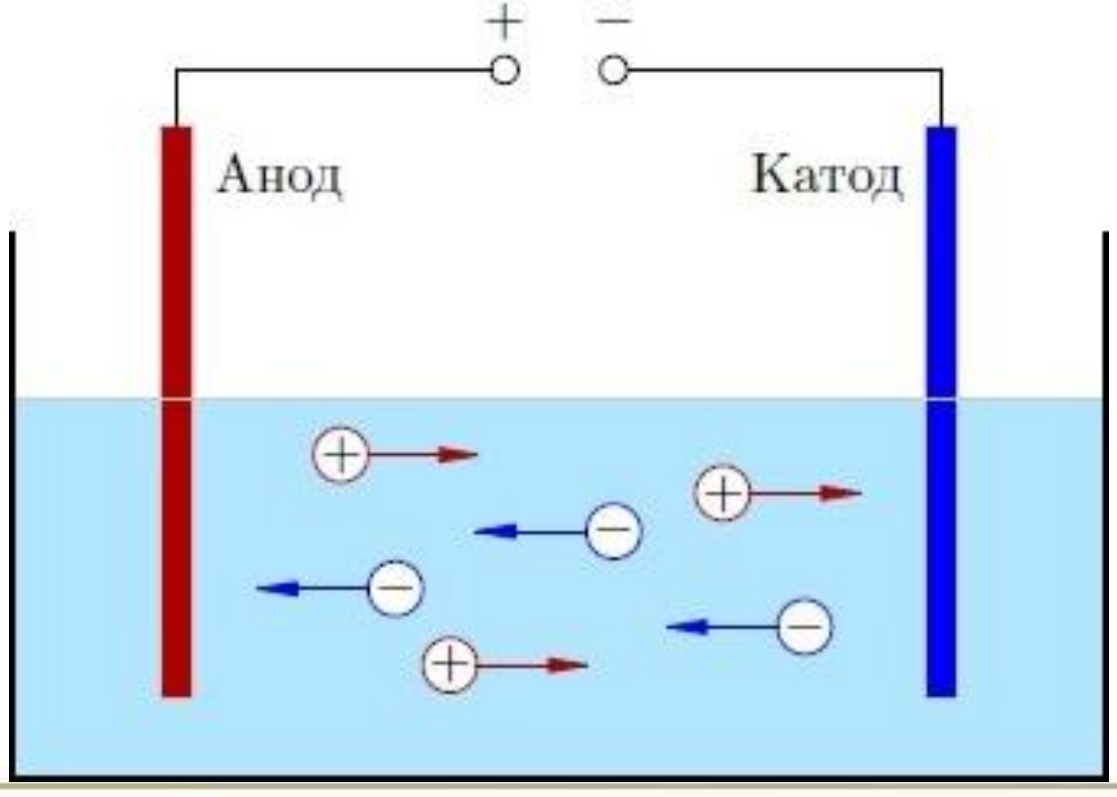
Электрический ток в жидкостях

К содержанию

Электролитическая диссоциация – распад молекул на ионы под влиянием электрического поля полярных молекул воды.

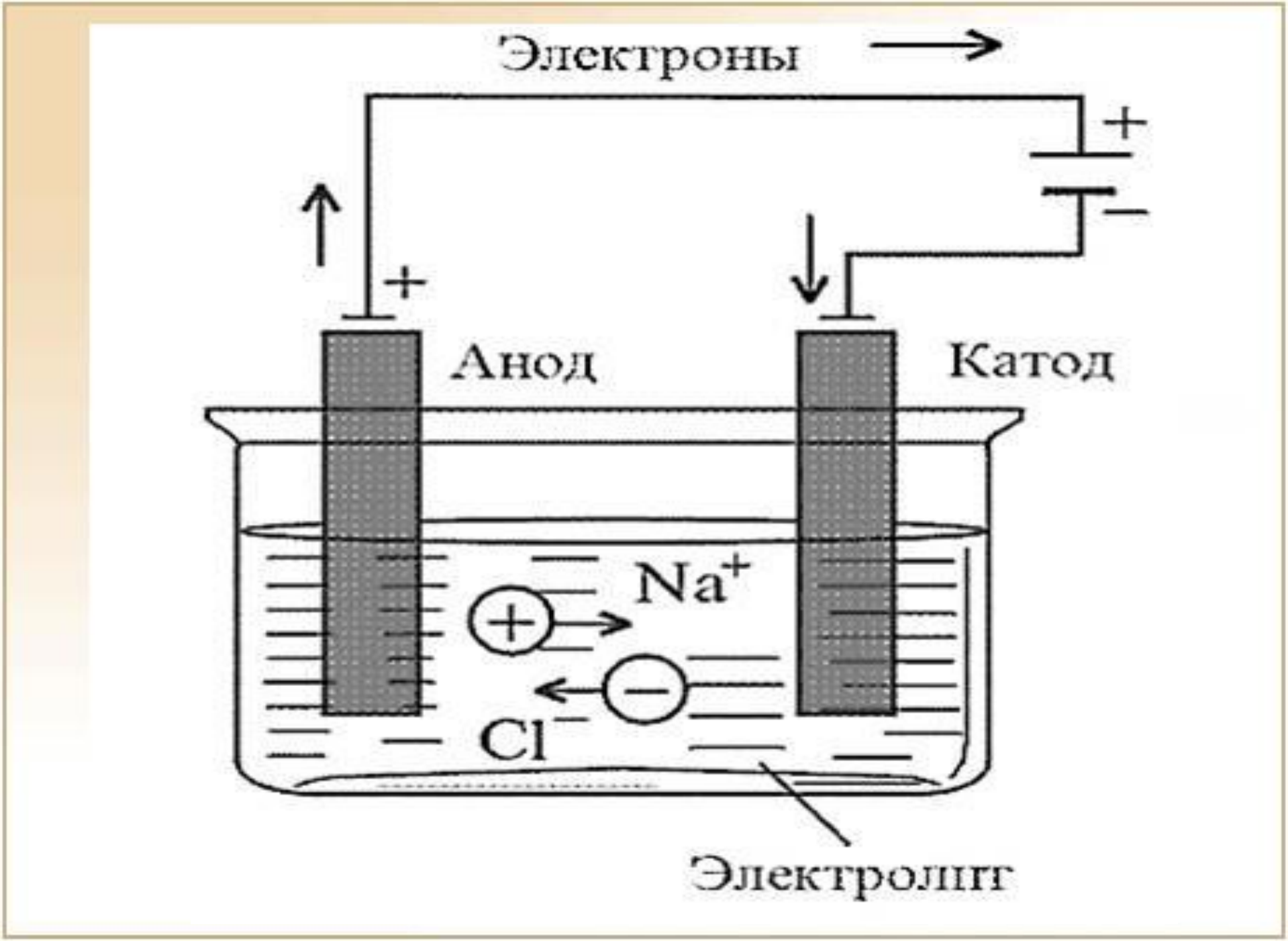
Степень диссоциации – доля в растворённом веществе молекул, распавшихся на ионы; зависит от температуры, концентрации раствора и электрических свойств растворителя.

Если сосуд с раствором электролита включить в электрическую цепь, то «-» ионы начнут двигаться к аноду (+), а «+» ионы – к катоду (-).



Ионная проводимость –
проводимость водных растворов или расплавов электролитов, которая осуществляется ионами.

Жидкие металлы обладают электронной проводимостью.


Электроны
+
–
+
Анод
Катод
Na^+
Cl^-
Электролит

$m = m_{0_i} \cdot N_i$ масса выделившегося вещества

$m_{0_i} = \frac{M}{N_A}$ масса одного иона

$N_i = \frac{\Delta q}{q_{0i}}$ число ионов, достигших электрода за время Δt

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

$q_{0i} = ne$ заряд иона, который определяется валентностью n атома

$\Rightarrow m = \frac{M}{neN_A} I\Delta t$

Закон электролиза Фарадея

Масса вещества, выделившегося при электролизе на электродах, прямо пропорциональна произведению силы тока и времени его прохождения через электролит.

$$m = kIt$$

Электрохимический эквивалент – показывает массу вещества, которая выделится на электроде при протекании через электролит заряда в 1 Кл.

$$k = \frac{1}{eN_A}\frac{M}{n} = \frac{1}{F}\frac{M\ (массовое\ число)}{n\ (валентность)}\left[\frac{кг}{Кл}\right]$$

$$F = eN_A = 96484\frac{Кл}{моль} - постоянная\ Фарадея$$

$$k = \frac{1}{F}\frac{M}{n}$$

$$F = 96484 \frac{Кл}{моль},\ 1г = 1000мг$$

$$Пример: k(H) = \frac{1}{96484 \frac{Кл}{моль}} \frac{1 \cdot 10^3 \frac{мг}{моль}}{1} = 0.01 \frac{мг}{Кл}$$

$$F = 96484 \frac{Кл}{моль} \{Кл = А \cdot с\} = \frac{96484 \frac{Кл}{моль}}{3600} = 26.801 \frac{А \cdot ч}{моль}$$

$$1кг = 1000г$$

$$Пример: k(H) = \frac{1}{26.801 \frac{А \cdot ч}{моль}} \frac{1 \frac{г}{моль}}{1} = 0.037 \frac{г}{А \cdot ч}$$

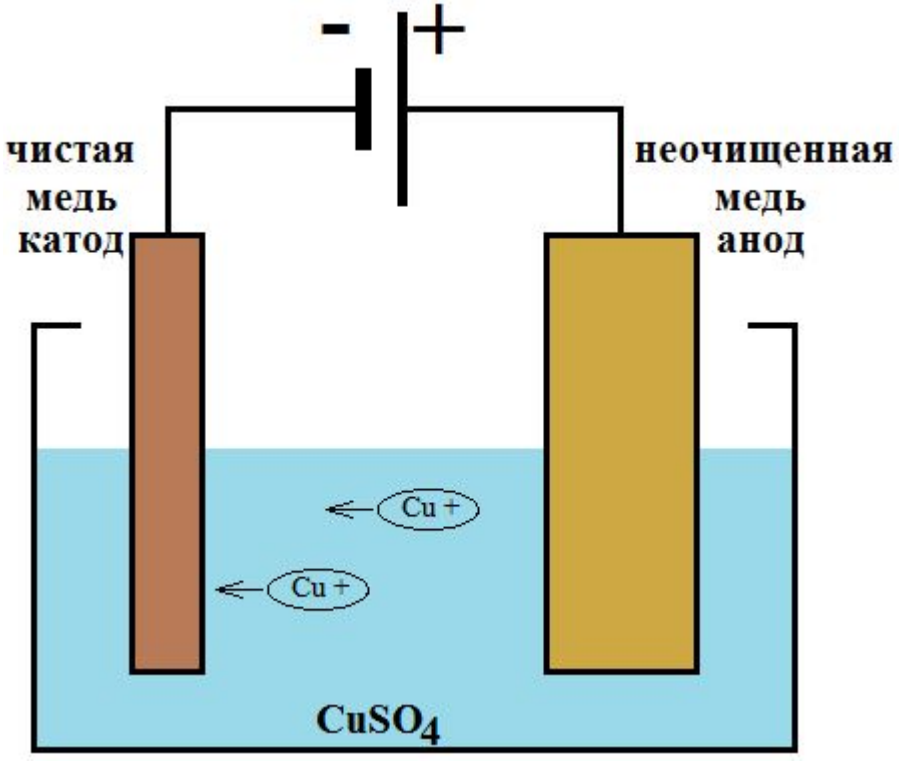
$$k = \frac{1}{eN_A}\frac{M}{n} = \frac{1}{F}\frac{M}{n}$$

$$\Rightarrow m = \frac{M}{neN_A} I\Delta t$$

$$m_{0i} = \frac{M}{N_A} \Rightarrow k = \frac{m_{0i}}{q_{0i}}$$

Применение электролиза

Рафинирование металлов (metal refining) – очистка черновых металлов от примесей.

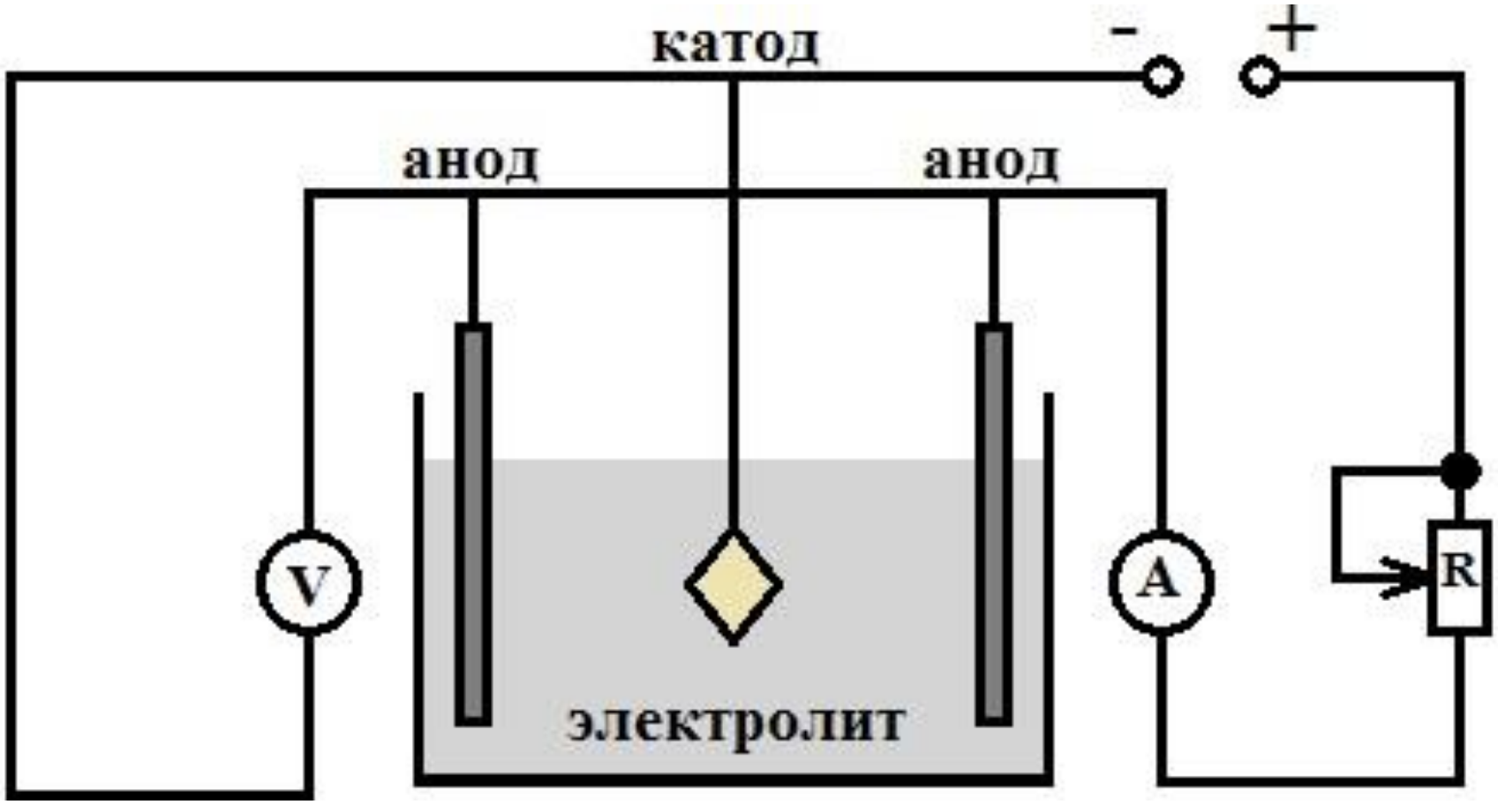


Очистка меди:
на **катоде** оседает чистая медь, **анод** расходуется и истощается, **примеси** остаются в электролите, могут осесть на дно.

Черновые (первичные) металлы – промежуточные продукты в цветной металлургии, представляющие собой цветные металлы
(Cu, Ni, Pb, Sn, Zn, Cd и др.)
с содержанием примесей (1 – 4%), получаемые при плавке руд или рудных материалов.

Применение электролиза

Электрометаллургия –
методы получения металлов,
основанные на электролизе,
т. е. выделении металлов из растворов или расплавов их соединений при пропускании через них постоянного электрического тока.
Применяют для получения очень активных металлов – щелочных, щелочноземельных и алюминия, а также производства легированных сталей.


катод
-
+
анод
анод
V
A
R
электролит

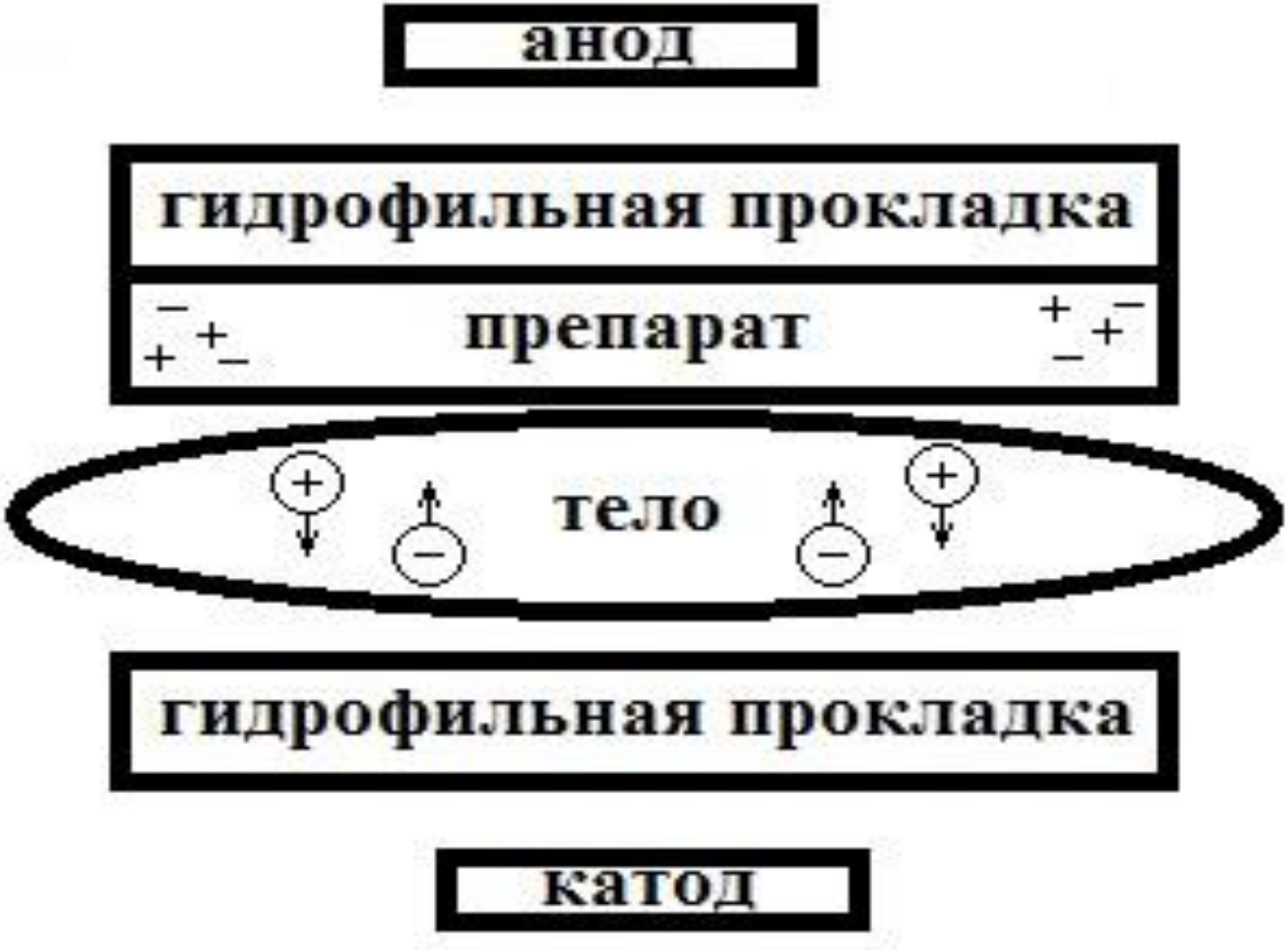
Гальванопластика –
получение с помощью электролиза точных копий рельефных изделий.

Борис Семёнович Якоби

(21.09.1801 – 27.02.1874)

Немецкий и русский физик,
«отец» гальванопластики.

Урождённый Moritz Hermann von Jacobi прославился открытием гальванопластики в 1838 г..
Изобрёл первый в мире электродвигатель с непосредственным вращением рабочего вала.
В 1839 г. сконструировал телеграфный аппарат, печатающий буквы; вместо мультипликатора использовался электромагнит, приводивший при помощи системы рычагов в действие карандаш.
Внес выдающийся вклад в строительство линий электромагнитного телеграфа и в решение вопроса об устойчивости и надежности телеграфирования.


анод
гидрофильная прокладка
препарат
тело
гидрофильная прокладка
катод

Образцы заданий ЕГЭ

А1. Какими носителями заряда создаётся электрический ток в растворах и расплавах электролитов?

1) только электронами
2) электронами и дырками
3) только ионами
4) электронами и ионами

А2. Известно, что раствор соляной кислоты в воде проводит электрический ток. Это объясняется тем, что в растворе кислоты присутствуют

1) свободные ионы
2) свободные электроны
3) дырки
4) атомы металлов

А3. Известно, что раствор поваренной соли в воде хорошо проводит электрический ток, а раствор сахара в воде – плохо. Это объясняется тем, что при растворении соли в воде появляются

1) положительные ионы, а при растворении сахара — отрицательные ионы

2) свободные ионы, а при растворении сахара — электроны

3) свободные ионы, а при растворении сахара свободные ионы не появляются

4) появляются электроны, а при растворении сахара электроны не появляются

Решение задач

К содержанию

№1. Проводящая сфера радиусом R = 5 см помещена в электролитическую ванну, наполненную раствором медного купороса. Насколько увеличится масса сферы, если отложение меди длится 30 мин, а электрический заряд, поступающий на каждый квадратный сантиметр поверхности сферы за 1 с, q = 0.01 Кл? Молярная масса меди 0.0635 кг/моль.

$$m = kI\Delta t$$

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

$$S = 4\pi R^2 = 4 \cdot 3.14 \cdot 5^2 см^2 = 314 см^2$$

$$\Delta q = qSt = 0.01 \frac{Кл}{см^2 \cdot с} \cdot 314 см^2 \cdot 1800 с = 5652 Кл$$

$$m = kq = 0.329 \frac{мг}{Кл} \cdot 5652 Кл = 1859.5 мг$$

$m = kIt$

$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M}R \Rightarrow m = \frac{pVM}{RT}$

$\frac{pVM}{RT} = kIt \Rightarrow T = \frac{pVM}{kIRt}$

$T = \frac{10^5\,Па \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}\,м^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3}\,моль}{8.31\frac{Дж}{моль \cdot К} \cdot 1 \cdot 10^{-8}\,\frac{кг}{Кл} \cdot 5A \cdot 36 \cdot 10^2\,с} = 102K$

№2. При электролизе, длившемся в течение одного часа, сила тока была равна 5 А. Чему равна температура выделившегося атомарного водорода, если при давлении, равном 10^5 Па, его объём равен 1.5 л? Электрохимический эквивалент водорода 1*10^{-8} кг/Кл.

$$j = \frac{I}{S} \Rightarrow I = jS$$

$$m = kIt \Rightarrow \rho lS = kjSt$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V = \rho lS$$

№3. При никелировании изделия в течение 1 ч отложился слой никеля толщиной 0.01 мм. Определите плотность тока, если молярная масса никеля 0.0587 кг/моль, валентность n = 2, плотность никеля $8.9 \cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$ 8900 кг/м^3.

$$j = \frac{\rho l}{kt} = \frac{89 \cdot 10^3 \frac{кг}{м^3} \cdot 1 \cdot 10^{-5} м}{30.4 \cdot 10^{-8} \frac{кг}{Кл} \cdot 36 \cdot 10^2 с} = 81.2 \frac{А}{м^2}$$

$$\eta = \frac{W_э}{W_{полная}} \cdot 100\% \Rightarrow W_{полная} = \frac{W_э}{\eta} \cdot 100\%$$

№4. Определите электрическую энергию, затраченную на получение серебра массой 200 г, если КПД установки 80%, а электролиз проводят при напряжении 20 В. Электрохимический эквивалент серебра равен $1.118*10^{-6}$ кг/Кл.

$$W_э = qU - \text{только на электролиз}$$

$$\left.\begin{array}{l} m = kIt \\ I = \dfrac{q}{t} \Rightarrow q = It \end{array}\right\} \Rightarrow m = kq \Rightarrow q = \frac{m}{k}$$

$$W_э = \frac{m}{k}U$$

$$W_{полная} = \frac{100\%}{\eta}\frac{m}{k}U$$

$$W_{полная} = \frac{100\%}{80\%}\frac{0.2кг}{1.118 \cdot 10^{-6}\frac{кг}{Кл}} \cdot 20В = 4.47 \cdot 10^{6}\,Дж$$

№5. При силе тока 1.6 А на катоде электролитической ванны за 10 мин отложилась медь массой 0.316 г. Определите электрохимический эквивалент меди.

$$m = kIt \Rightarrow k = \frac{m}{It}$$

$$k = \frac{0.316г}{1.6A \cdot 600c} = 3.29 \cdot 10^{-4} \frac{г}{A \cdot c}$$

Последовательно :

$I_A = I_B$

$m = kIt$

Параллельно :

$I_A > I_B$

$\uparrow$ *концентрация* $\Rightarrow \downarrow R \Rightarrow \uparrow I$

№6. Две одинаковые электролитические ванны (А и В) наполнены раствором медного купороса. Концентрация раствора в ванне **А** больше, чем в ванне **В**. В какой из ванн выделится больше меди, если их соединить последовательно? параллельно?

№7. Найти электрохимический эквивалент родия Rh.

$$\left.\begin{array}{l} m = kIt \\ I = \dfrac{q}{t} \Rightarrow q = It \end{array}\right\} \Rightarrow m = kq$$

$$k = \frac{1}{F}\frac{M}{n} = \frac{1}{96484\,\dfrac{Кл}{моль}}\,\frac{102.9\cdot 10^{3}\,\dfrac{мг}{моль}}{3} \approx 0.355\,\frac{мг}{Кл}$$

$$F = 96484\,\frac{Кл}{моль} = 26.801\,\frac{А\cdot ч}{моль}$$

$$k = \frac{1}{26.801\,\dfrac{А*ч}{моль}}\,\frac{102.9\,\dfrac{мг}{моль}}{3} \approx 1.28\,\frac{г}{А*ч}$$

№8. При никелировании на каждый 1 дм^2 поверхности никелируемого изделия подают силу тока 0.4 А. За какое время на изделие будет нанесен слой никеля толщиной 0.02 мм?

$$m = kIt$$

$$\left.\begin{array}{l} \rho = \dfrac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V \\ V = Sd \end{array}\right\} \Rightarrow m = \rho Sd$$

$$\rho Sd = kIt \Rightarrow t = \frac{\rho Sd}{kI}$$

$$t = \frac{8800\,\frac{кг}{м^3} \cdot 0.01 м^2 \cdot 2 \cdot 10^{-5}\,м}{3 \cdot 10^{-7}\,\frac{кг}{Кл} \cdot 0.4 А} = 14667 с \approx 4 ч 7 мин$$

$$\eta = \frac{A}{Q} \Rightarrow Q = \frac{A}{\eta}$$

$$A = IUt$$

$$m = kIt \Rightarrow It = \frac{m}{k}$$

$$A = \frac{mU}{k}$$

$$Q = \frac{mU}{k \bullet \eta}$$

№9. Какое количество электроэнергии (в МДж) расходуется на получение 1 кг алюминия, если электролиз ведется при напряжении 9 В, а КПД установки 50%? Электрохимический эквивалент алюминия $9*10^{-8}$ кг/Кл.

$$Q = \frac{mU}{k \bullet \eta} = \frac{1кг \cdot 9В}{9 \cdot 10^{-8} \frac{кг}{Кл} \cdot 0.5} = 2 \cdot 10^{8} Дж = 200МДж$$

№10. При электролизе медного купороса расходуется мощность 45 Вт. В течение 60 мин выделяется 10 г меди. Определите сопротивление электролита.

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

$$m = kIt \Rightarrow I = \frac{m}{kt} = \frac{1 \cdot 10^{-2} кг}{3.3 \cdot 10^{-7} \frac{кг}{Кл} \cdot 3.6 \cdot 10^{3} с} = 8.417 A$$

$$P = IU \Rightarrow U = \frac{P}{I} = \frac{45 Вт}{8.417 A} = 5.34 В$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5.34 В}{8.417 A} = 0.63 Ом$$

№11. Получение алюминия электролитическим способом ведется при напряжении 4.5 В. Какова мощность тока, при помощи которого можно получить 200 кг алюминия за сутки?

$$P = IU$$

$$1сутки = 24часа = 24ч \cdot 3600 = 86400с$$

$$m = kIt \Rightarrow I = \frac{m}{kt} = \frac{200кг}{9.3 \cdot 10^{-8} \frac{кг}{Кл} \cdot 0.000864 \cdot 10^{8} с} = 24890А$$

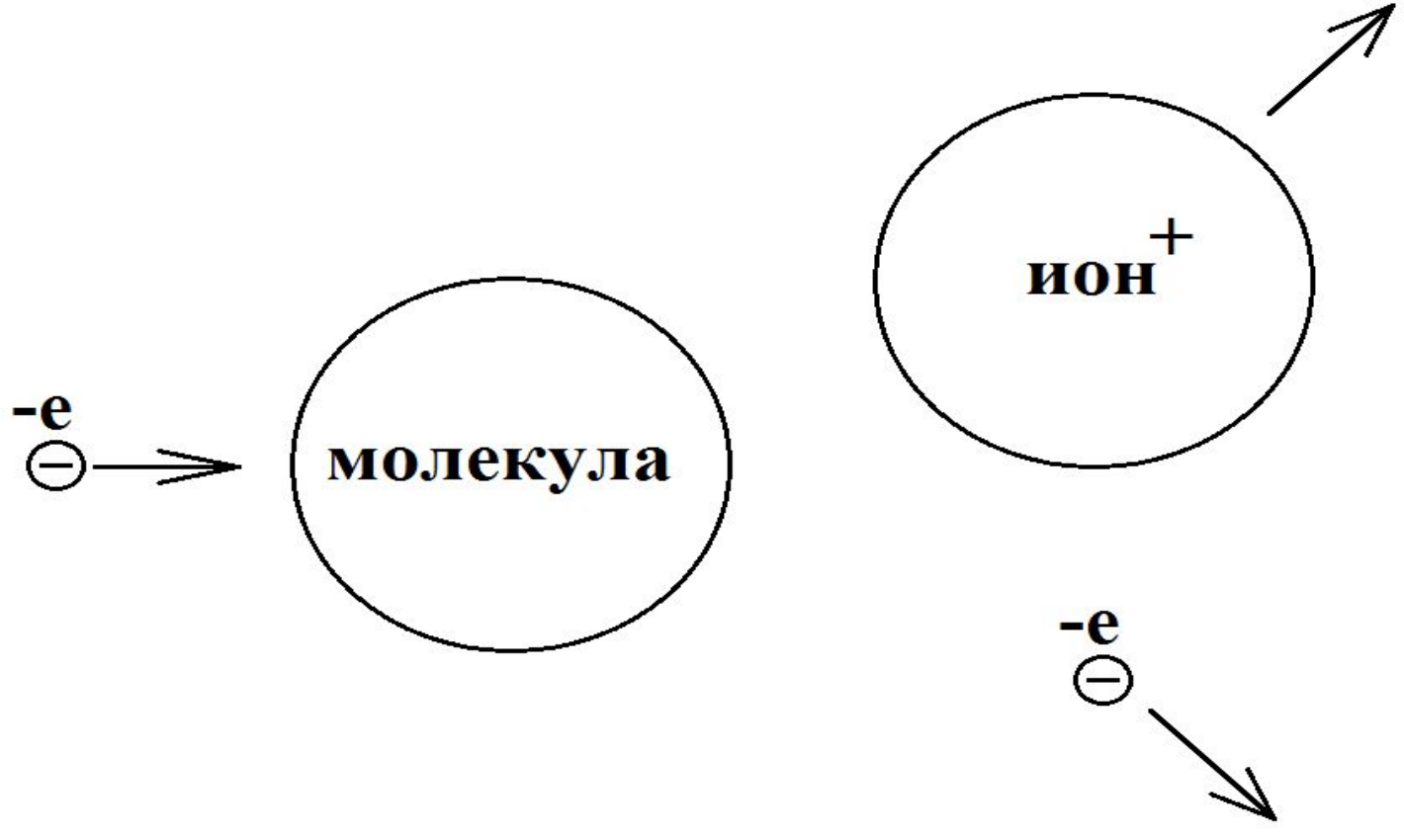
$$P = 24890А \cdot 4.5В = 112007Вт = 112кВт$$

Электрический ток в газах

К содержанию

Газовый разряд –
это прохождение электрического тока через газовую среду под действием ЭП, сопровождающееся изменением состояния газа (ионизация, перераспределение носителей и т.п.).

Ионизация –
процесс распада атомов и молекул на ионы и электроны.



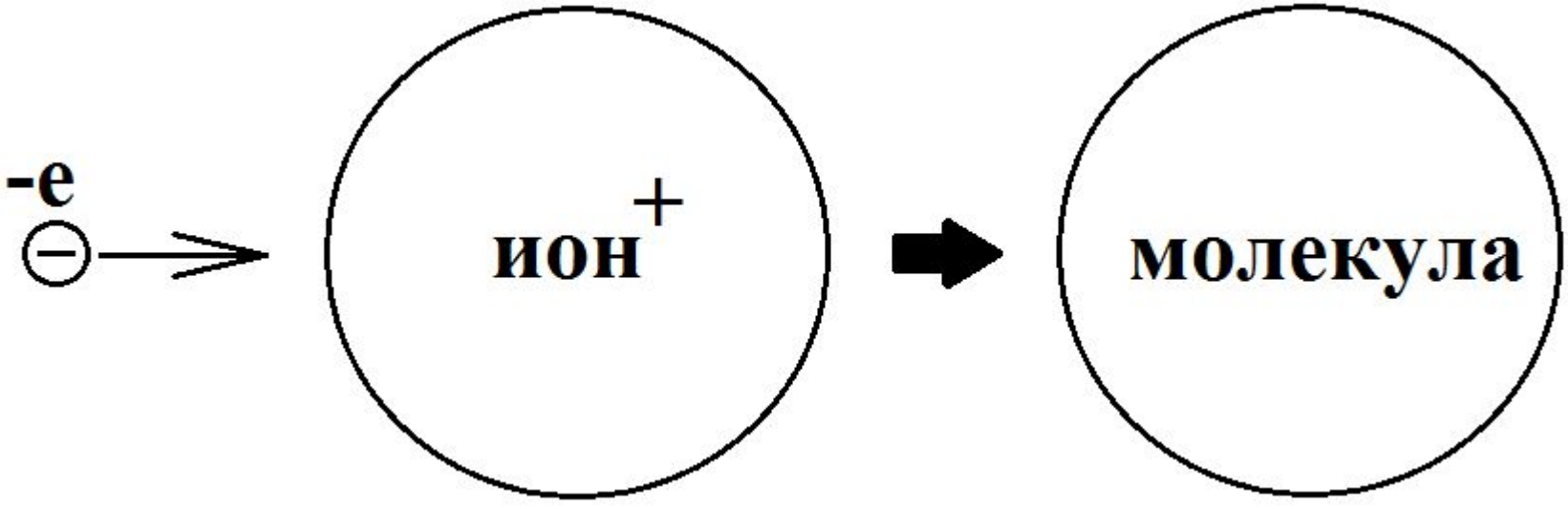
При обычных условиях газы почти полностью состоят из нейтральных атомов или молекул, являются диэлектриками.

При ионизации в газе могут образовываться отрицательные ионы, которые появляются благодаря присоединению электронов к нейтральным атомам.

Чем ↑T, тем больше образуется ионов.

«–» заряд переносится в основном не отрицательными ионами, а электронами.

Рекомбинация заряженных частиц – процесс образования из ионов и электронов нейтральных атомов и молекул.



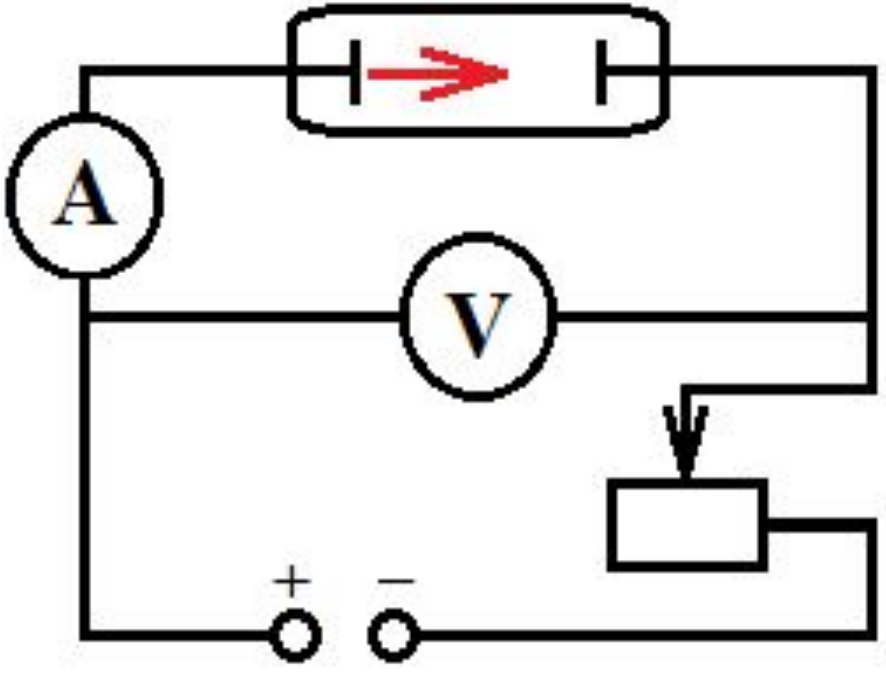
Виды разрядов:

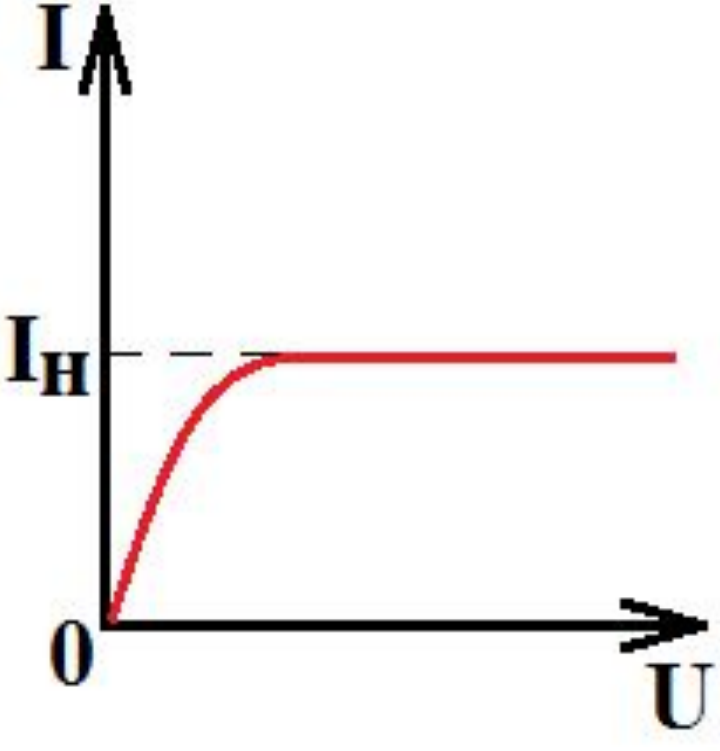
Самостоятельный –
разряд, происходящий без действия внешнего ионизатора.

Несамостоятельный –
происходит под действием внешнего ионизатора.

Несамостоятельный разряд

Газ в трубке ионизирован,
на электроды подаётся напряжение U,
в трубке возникает ток I.



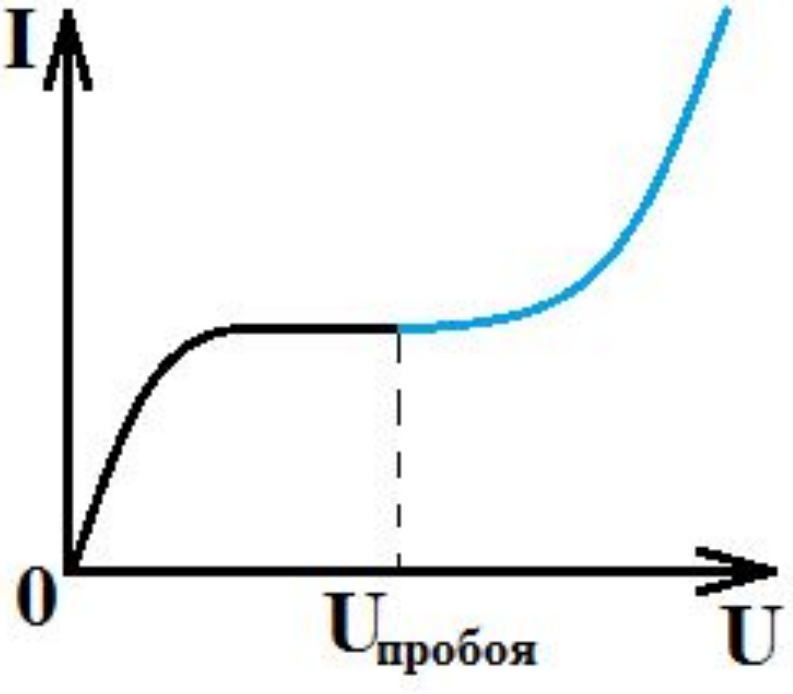


Самостоятельный разряд

При некотором значении напряжения $U_{\text{пробоя}}$ сила тока снова возрастает.
Ионизатор уже не нужен.

Элек **I** ***а –***

переход неса го разряда в



Свободный электрон, образовавшийся благодаря действию внешнего ионизатора,
начинает двигаться к аноду,
а положительный ион – к катоду.
На своём пути электрон встречает ионы и нейтральные атомы.
В промежутках между двумя последовательными столкновениями кинетическая энергия электрона увеличивается за счёт работы сил ЭП.

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = eEl$$

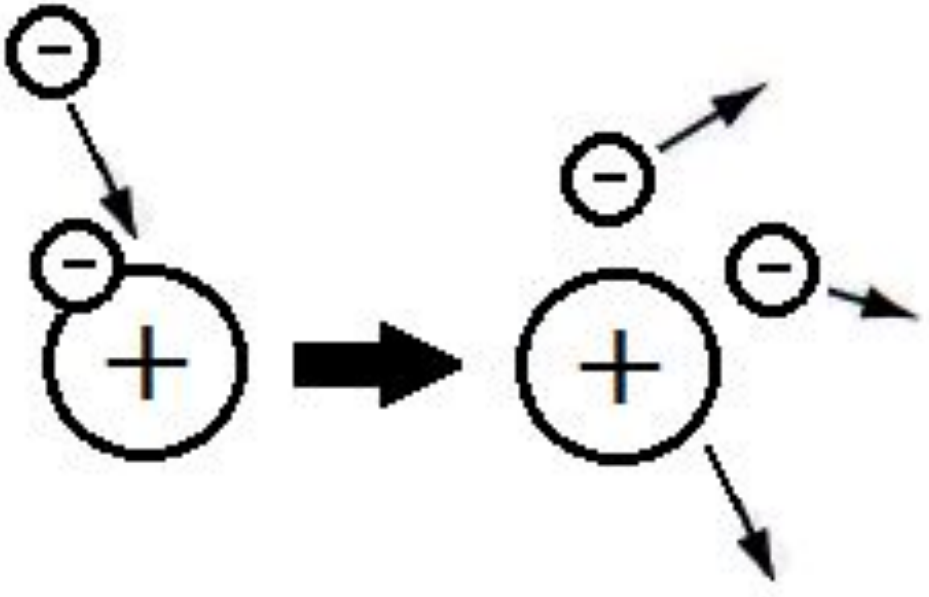
l – *длина свободного пробега*

Если кинетическая энергия электрона превышает работу A_i

$$\frac{m\upsilon^2}{2} > A_i$$

которую нужно совершить,
чтобы ионизовать нейтральный атом,
то при столкновении электрона
с атомом происходит
ионизация электронным ударом –
процесс выбивания быстродвижущимся
свободным электроном при соударении
у нейтрального атома одного или
нескольких электронов.

При ионизации электронным ударом вместо одной заряженной частицы появляются три – ион и два электрона, этот процесс получил название ***ионная (электронная) лавина***.



Одна ионизация электронным ударом не может обеспечить длительный самостоятельный разряд, электроны движутся по направлению к аноду и по достижении его «выбывают из игры».
Для существования разряда необходима эмиссия электронов с катода:
удары о катод быстрыми ионами,
нагрев катода до высокой температуры.

Электронная эмиссия
(лат. *emissio* – выпуск) –
явление испускания электронов из твёрдых тел или жидкостей.

Типы самостоятельного газового разряда

1. **Тлеющий:** при низких давлениях наблюдается в газосветных трубках и газовых лазерах (лампы дневного света).
2. **Искровой:** при нормальном давлении и высокой напряженности ЭПЕ (молния).
3. **Коронный:** при нормальном давлении в неоднородном ЭП (огни святого Эльма).
4. **Дуговой:** возникает между близко сдвинутыми электродами - большая плотность тока, малое напряжение между электродами (в прожекторах, проекционной киноаппаратуре, сварка, ртутные лампы).

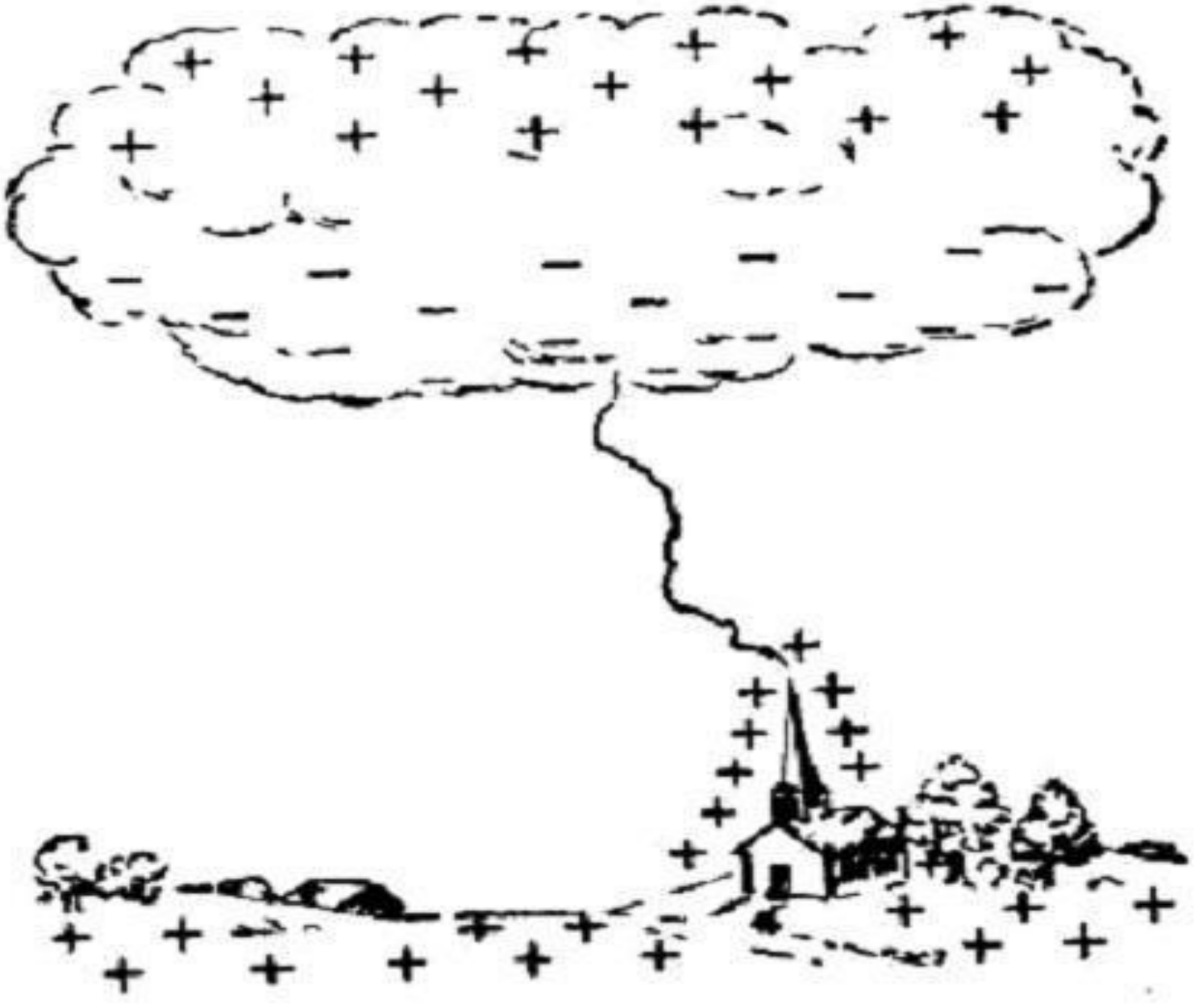
Тлеющий разряд в люминесцентных лампах

Открыл М. Фарадей в 1831-1835 гг.

Лампы дневного света представляют собой запаянную
с обоих концов стеклянную трубку,
изнутри покрытую тонким слоем **люминофора**.
Сама лампа заполнена инертным газом (Ar)
при очень низком давлении.
Внутри лампы содержится небольшое количество ртути,
которая, нагреваясь, превращается в ртутные пары.
Люминесцентные лампы – это те же лампы накаливания,
но принцип свечения в них базируется на
разогреве вольфрамового элемента,
а электрический разряд в смеси инертных газов и паров ртути,
который содержится в стеклянной колбе, вызывает излучение в
УФ-спектре, которое поглощается люминофором.

Искровой разряд

Молния –
гигантский электрический искровой
разряд в атмосфере,
обычно может происходить во время грозы,
проявляющийся яркой вспышкой света и
сопровождающим её громом.
Сила тока в разряде молнии на Земле достигает
10 – 500 тысяч ампер, напряжение – от десятков
миллионов до миллиарда вольт.



Георг Кристоф Лихтенберг
(01.07.1742 – 24.02.1799)

Немецкий учёный и публицист, открывший электрические фигуры, названные его именем.

Дуговой разряд

Электрическая дуга или **вольтова дуга**.
Является частным случаем четвёртой формы состояния вещества (плазмы)
и состоит из ионизированного,
электрически квазинейтрального газа.
Присутствие свободных электрических зарядов обеспечивает проводимость электрической дуги.
Вследствие высокой температуры электроды дуги испускают ослепительный свет.
Потребляет всего около 0.3 Вт на каждую свечу, поэтому экономичнее ламп накаливания.
Электрическая дуга применяется для сварки металлических деталей (дуговая электросварка).

Василий Владимирович Петров

(08.07.1761 – 22.07.1834)

Русский физик-экспериментатор, электротехник-самоучка.

В 1802 г. открыл явление электрической дуги и доказательство возможности её практического применения для целей плавки, сварки металлов, восстановления их из руд и освещения.

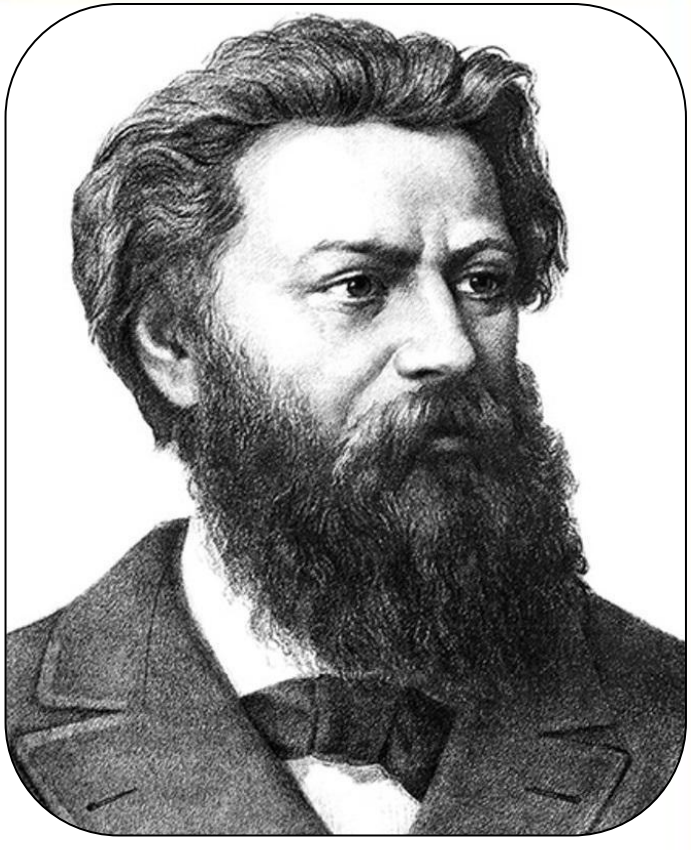
Исследовал свойства батареи как источника тока и показал, что её действие основано на химических процессах между металлами и электролитом.

Впервые употребил термин **сопротивление**, как физической величины, характеризующей свойства вещества препятствовать прохождению электрического тока.

В опытах по электролизу первым обратил внимание на различные свойства полюсов батареи, поставив вопрос: «определить направление движения гальвани-вольтовской жидкости».

Павел Николаевич Яблочков

(02.09.1847 – 19.03.1894)



Русский электротехник,
военный инженер,
изобретатель и предприниматель.

Создал электромагнит оригинальной конструкции:
применил обмотку из медной ленты,
поставив её на ребро по отношению к сердечнику.
В 1875 г. во время одного из опытов по электролизу
получил электрическую дугу.
В 1876 г. Яблочков завершил разработку конструкции
электрической свечи и получил на неё
французский патент.

Свеча Я к блоков,
примерн инертным
материа я глина).
На верх з тонкой

Конст кально

Пр ока,
предо горала,

постепе тельный

Перв ком от

Плазма

(гр. *plasma* – вылепленное, оформленное) – частично или полностью ионизованный газ, в котором локальные плотности положительных и отрицательных зарядов практически совпадают;

система в целом является электрически нейтральной.

Была открыта в 1879 г.

Уильямом Круксом.

Ирвинг Ленгмюр
(31.01.1881 – 16.08.1957)

Американский химик, описавший четвёртое состояние вещества, давший ему название «плазма».

Изобрёл в 1916 г. ртутный высоковакуумный насос.
Вывел уравнение изотермы адсорбции, известного как уравнение Ленгмюра.
Описал химическую валентность как зависящую от заполнения электронами электронной «оболочки», которая окружает атомное ядро.
Ввёл термин «плазма». Разработал теорию электронной температуры и способ измерения электронной температуры и ионной плотности с помощью специального электрода – зонда Ленгмюра.
Совместно с Тонксом открыл волны электронной плотности в плазме, известные теперь как волны Ленгмюра.

Виды плазмы по происхождению:

Искусственно созданная
(электрическая дуга,
светящаяся сфера ядерного взрыва)

Земная природная
(молния, Огни святого Эльма,
северное сияние, пламя)

Космическая и астрофизическая
(звёзды, солнечный ветер,
космическое пространство)

Виды плазмы по температуре:

Низкотемпературная
(температура меньше миллиона К)

Высокотемпературная
(температура миллион К и выше)

Свойства плазмы

1. Сильное взаимодействие с внешними ЭП и МП, связанное с ее высокой электропроводностью;
2. Специфическое коллективное взаимодействие частиц плазмы, осуществляющееся через усредненные ЭП и МП, которые создают сами эти частицы;
3. Ведет себя как своеобразная упругая среда, в которой легко возбуждаются и распространяются различного рода колебания и волны;
4. Во внешнем МП плазма ведет себя как диамагнитная среда;
5. Удельная электрическая проводимость полностью ионизованной плазмы не зависит от плотности плазмы и увеличивается с ростом термодинамической температуры, пропорционально.

Плазма в природе

Около 99% части вещества Вселенной – плазма.
Вследствие высокой температуры Солнце и другие звёзды состоят в основном из полностью ионизованной плазмы.
Из плазмы состоит и межзвёздная среда, заполняющая пространство между звёздами и галактиками.
Плотность межзвёздной среды очень мала –
в среднем менее одного атома на 1 $см^3$.
Ионизация атомов межзвёздной среды вызывается **излучением звёзд** и **космическими лучами** –
потоками быстрых частиц, пронизывающими пространство Вселенной по всем направлениям.
В отличие от горячей плазмы звёзд температура межзвёздной плазмы очень мала.

Плазма в природе

Верхний слой атмосферы на высоте 100 – 300 км представляет собой ионизованный газ – **ионосферу**. Ионизация воздуха в верхнем слое атмосферы вызывается преимущественно излучением Солнца и потоком заряженных частиц, испускаемых Солнцем. Выше ионосферы простираются радиационные пояса, также состоящие из плазмы.

Образцы заданий ЕГЭ

К содержанию

А1. Высокая степень ионизации ионосферы определяется

1) температурой

2) ионизацией за счёт соударений молекул

3) солнечным коротковолновым излучением

4) замедленными процессами рекомбинации

А2. Плазма обладает

1) малой электропроводностью, так как суммарный заряд в малом объёме равен нулю

2) устойчивостью

3) большим числом электронов по сравнению с числом ионов

4) большой электропроводностью

Лабораторные работы

К содержанию

Требования безопасности для учащихся во время выполнения лабораторных работ по электричеству

1. При выполнении лабораторной работы ученики:

- соблюдают в классе дисциплину и тишину;
- не делают резких движений руками, чтобы не зацепить или не уронить приборы.

2. В течение урока на столе учащегося находятся только:

- тетрадь для лабораторных работ;
- письменные и чертёжные принадлежности;
- учебник физики;
- устройства, приборы и другое оборудование для лабораторной работы.

3. Учащийся без разрешения учителя физики не касается устройств и приборов, не берёт оборудование.

Требования безопасности для учащихся во время выполнения лабораторных работ по электричеству

4. Запрещено использовать ученикам оборудование, приборы, устройства, провода с открытыми токоведущими частями.

5. Производить сборку электрических цепей, переключение их, подсоединение, монтаж и ремонт электрических устройств только при отключенном источнике питания.

6. При сборке электрических цепей, провода располагают аккуратно, не запутывая между собой, наконечники проводов плотно зажимаются клеммами.

7. Вольтметр подключается в цепь параллельно, амперметр – последовательно. Подключать амперметр непосредственно к источнику тока НЕЛЬЗЯ!

Требования безопасности для учащихся во время выполнения лабораторных работ по электричеству

8. По окончании лабораторной работы, ученик приводит в порядок свое рабочее место, аккуратно собирает и складывает приборы и оборудование в предлагаемый лоток.

9. В случае обнаружения неисправности приборов сообщить учителю.

10. При получении травмы и при возникновении аварийной ситуации во время лабораторной работы, сообщить учителю и действовать строго по указанию учителя.

Выставление оценки за лабораторную работу

5 – всё выполнено (верное оформление, выполнены тренировочные задания, записаны формулы, таблицы заполнены, графики построены, все расчеты верны, есть вывод)

4 – есть мелкие недочёты (выполнена половина тренировочных заданий, нет формул, расчеты или график не совсем верны, нет вывода)

3 – есть серьезные недочеты (выполнена треть тренировочных заданий, оформление неточное, расчеты и график неверны, нет вывода)

2 – работа не выполнена (тетрадь не сдана, нет ни оформления, ни расчетов, ни вывода)

Лабораторная работа
«Последовательное и параллельное соединение проводников»

Цель: проверить основные закономерности последовательного и параллельного соединений проводников (резисторов), а также справедливость формул для определения эквивалентного сопротивления.

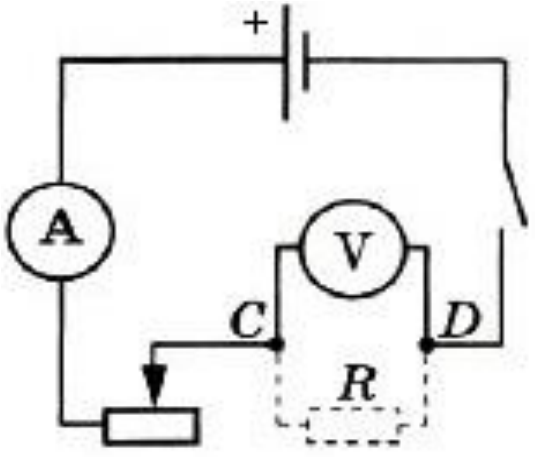
Оборудование: источник тока (ИТ), резисторы, амперметр, вольтметр, реостат, соединительные провода, ключ.

Теоретическая часть

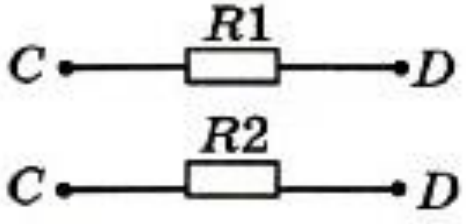
Последовательное	Параллельное
$I = I_1 = I_2$	$I = I_1 + I_2$
$U = U_1 + U_2$	$U = U_1 = U_2$
$R = R_1 + R_2$ $R_1 = R_2 = \ldots R_n$ $\Rightarrow R = n \cdot R_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ $R_1 = R_2 = \ldots R_n$ $\Rightarrow R = \frac{R_n}{n}$

Практическая часть

1. Соберите схему, состоящую из соединённых последовательно источника тока, реостата, амперметра, одного резистора.



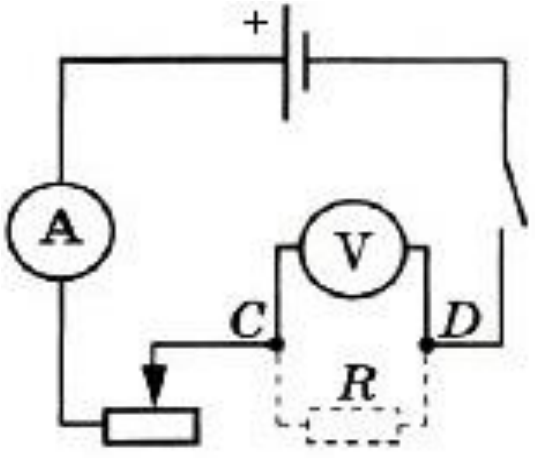
2. Подключите к точкам C и D вольтметр параллельно резистору. Замкните цепь и измерьте силу тока I_1 и напряжение U_1.



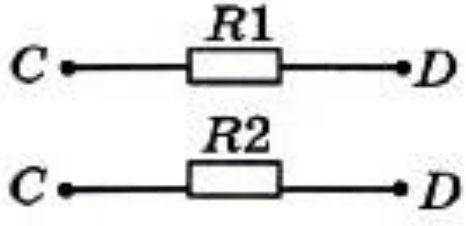
3. Замените первый резистор вторым и измерьте силу тока I_2 и напряжение U_2.

Практическая часть

4. Подключите между точками C и D оба резистора последовательно. Параллельно им подключите вольтметр. Измерьте силу тока I_3 и напряжение U_3.



5. Соедините резисторы параллельно, подключите их между точками C и D, затем параллельно им подключите вольтметр. Измерьте силу тока I_4 и напряжение U_4.



Практическая часть

6. Результаты измерений запишите в таблицу.

I_1, А	U_1, В	I_2, А	U_2, В	I_3, А	U_3, В	I_4, А	U_4, В

7. Проведите расчёты и заполните таблицу.

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1},\ R_2 = \frac{U_2}{I_2},\ R_3 = \frac{U_3}{I_3},\ R_4 = \frac{U_4}{I_4}$$

$$R_{посл} = R_1 + R_2,\ R_{парал} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

R_1, Ом	R_2, Ом	R_3, Ом	R_4, Ом	$R_{посл}$, Ом	$R_{парал}$, Ом

Практическая часть

8. Вычислите абсолютную погрешность измерений.

$\Delta_и A$ – *абсолютная инструментальная погрешность*, определяемая конструкцией прибора.
$\Delta_о A$ – *абсолютная погрешность отсчета*, равная половине цены деления.
ΔA – м*аксимальная абсолютная погрешность* прямых измерений; складывается из абсолютной инструментальной погрешности и абсолютной погрешности отсчета при отсутствии других погрешностей: $\Delta A = \Delta_и A + \Delta_о A$

Вольтметр	$\Delta_и U =$	$\Delta_о U =$	$\Delta U =$
Амперметр	$\Delta_и I =$	$\Delta_о I =$	$\Delta I =$

Практическая часть

9. Вычислите относительную погрешность измерений.

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta U}{U_i} + \frac{\Delta I}{I_i}$$

10. Вычислите абсолютную погрешность косвенных измерений.

$$\Delta_R = R_i \cdot \varepsilon_i$$

11. Запишите **вывод** по цели, оценив полученные результаты своей работы.

Лабораторная работа

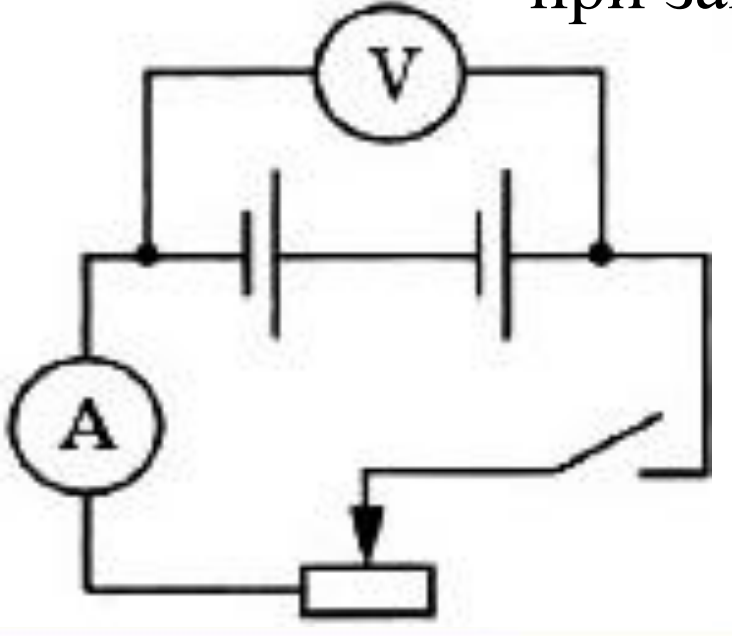
«Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»

Цель: научиться измерять ЭДС источника тока и косвенными измерениями определять его внутреннее сопротивление.

Оборудование: аккумулятор или батарейка, вольтметр, амперметр, реостат, ключ.

Теоретическая часть

При разомкнутом ключе ЭДС источника тока равна напряжению на внешней цепи.
Внутреннее сопротивление источника тока можно измерить косвенным путём,
сняв показания амперметра и вольтметра
при замкнутом ключе.

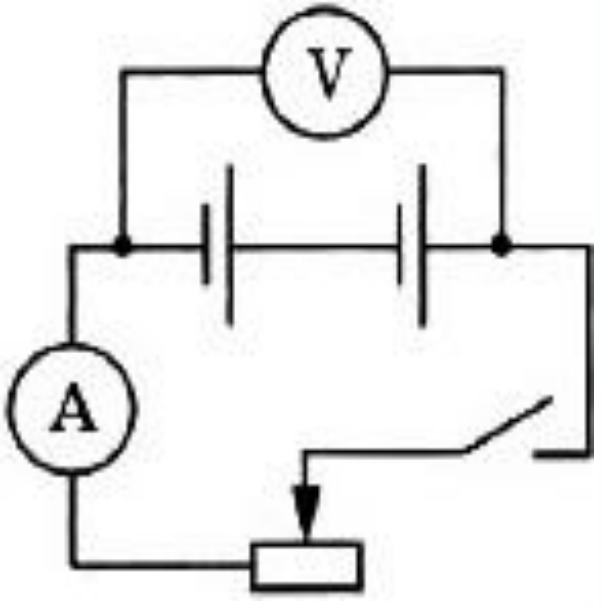


$$R_V >> r$$

$$\left.\begin{array}{l} \xi = U + Ir \\ U = IR \end{array}\right\} \Rightarrow r = \frac{\xi - U}{I}$$

Практическая часть

1. Соберите электрическую цепь по схеме



2. Измерьте ЭДС источника тока.

3. Снимите показания амперметра и вольтметра при замкнутом ключе для трёх положений движка реостата и вычислите r.

$$r = \frac{\xi - U}{I_{ср}}$$

4. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

ξ,В	$I_{ср}$, А	U,В	r, Ом

Практическая часть

5. Вычислите абсолютную погрешность измерений.

$\Delta_и A$ – *абсолютная инструментальная погрешность*, определяемая конструкцией прибора.
$\Delta_о A$ – *абсолютная погрешность отсчета*, равная половине цены деления.
ΔA – м*аксимальная абсолютная погрешность* прямых измерений; складывается из абсолютной инструментальной погрешности и абсолютной погрешности отсчета при отсутствии других погрешностей: $\Delta A = \Delta_и A + \Delta_о A$

Вольтметр	$\Delta_и U =$	$\Delta_о U =$	$\Delta U =$
Амперметр	$\Delta_и I =$	$\Delta_о I =$	$\Delta I =$

Практическая часть

5. Вычислите абсолютную погрешность измерений.

Определение абсолютной инструментальной погрешности прибора по его **классу точности** – γ (%):

$$\Delta_{И} A = \frac{\gamma \cdot A_{MAX}}{100}$$

Для случая использования цифровых приборов –
они не имеет погрешности отсчёта показаний!

Практическая часть

6. Вычислите относительную погрешность измерений.

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta\xi + \Delta U}{\xi - U} + \frac{\Delta I}{I_{ср}}, \Delta\xi = \Delta U$$

7. Вычислите абсолютную погрешность косвенных измерений.

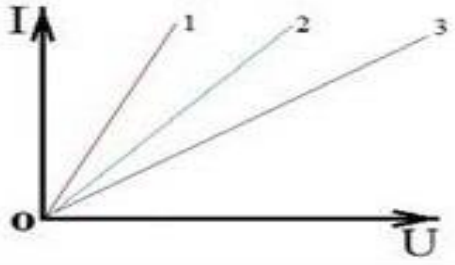
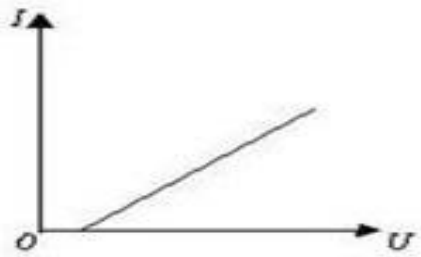
$$\Delta_r = r \cdot \varepsilon_r$$

8. Запишите **вывод** по цели, оценив полученные результаты своей работы.

Тестовые задания

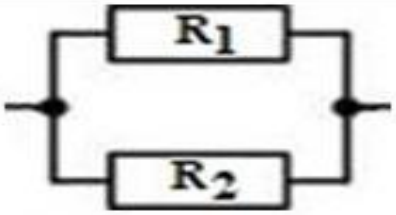
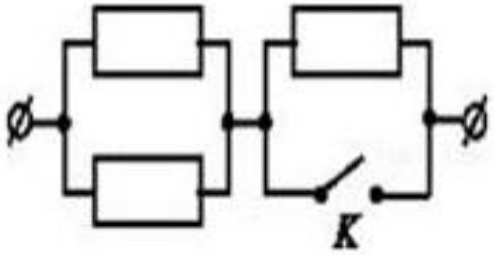
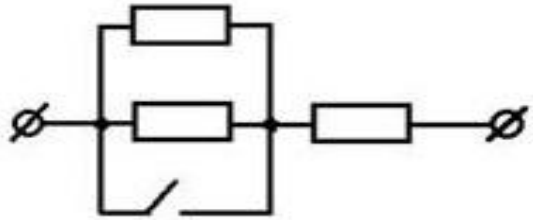
К содержанию

Тест №6

	I вариант		II вариант
1	Электрический ток – это…	1	Условия существования ЭТ:
2	Действия ЭТ:	2	Сила тока – это …
3	Напряжение – это…	3	Сопротивление – это…
4	Формула силы тока:	4	Формула напряжения:
5	Формула сопротивления:	5	Формула закона Ома для участка цепи:
6	Каким прибором измеряют напряжение? Как его подключают в цепь?	6	Каким прибором измеряют силу тока? Как его подключают в цепь?
7	У какого проводника сопротивление больше? 	7	ВАХ какого вещества изображена на рисунке? 
8	Размерности удельного сопротивления:	8	Электрическая цепь – это…
9	Электрическая схема – это…	9	Части электрической цепи:
10	Начертите схему, состоящую из ИТ, соединительных проводов, ключа, двух параллельно подключенных ламп, двух последовательно соединенных резисторов, к одному из которых подключен вольтметр.	10	Начертите схему, состоящую из ИТ, соединительных проводов, ключа, параллельно соединенных лампы и резистора. В цепи также есть амперметр и звонок, к которому подключен вольтметр.

На «3»	На «4»	На «5»
5,6	7,8	9,10

Тест №7

	I вариант		II вариант
1	Как называется такое соединение? $R_1 = 2$ Ом $R_2 = 3$ Ом Чему равно общее сопротивление участка цепи? 	1	Как называется такое соединение? $R_1 = 4$ Ом $R_2 = 4$ Ом Чему равно общее сопротивление участка цепи?
2	Чему будет равно общее сопротивление участка цепи, если ключ замкнуть? 	2	Чему будет равно общее сопротивление участка цепи, если ключ замкнуть? 
3	Формула работы тока:	3	Формула мощности тока:
4	Формула закона Джоуля-Ленца:	4	Формула ЭДС:
5	ЭДС – это…	5	Обозначение и размерность ЭДС:
6	Формула падения напряжения:	6	Закон Ома для полной цепи:
7	Внутреннее сопротивление ИТ – это…	7	Падение напряжения – это…
8	Условие возникновения короткого замыкания:	8	Что представляет собой короткое замыкание?
9	Предохранитель – это…	9	Формула тока короткого замыкания:
10	Что опаснее: постоянный или переменный ток?	10	Какое максимальное значение тока может перенести человеческое тело?

На «3»	На «4»	На «5»
5,6	7,8	9,10

Тест №8			
I вариант		II вариант	
1	Проводники – это …	1	Диэлектрики – это…
2	Какие частицы в металлах являются носителями свободных зарядов?	2	Все ли металлы проводят ток?
3	Формула температурного коэффициента сопротивления:	3	Формула сопротивления в зависимости от температурного коэффициента сопротивления:
4	Термометр сопротивления – это…	4	Термистор – это…
5	Сверхпроводимость – это…	5	Критическая температура – это…
6	Как себя ведёт полупроводник при низких температурах?	6	Условия пропускания тока полупроводниками:
7	Виды полупроводников по виду проводимости:	7	Виды полупроводников по характеру проводимости:
8	Электронная проводимость – это…	8	Дырочная проводимость – это…
9	Дырка – это…	9	Валентный электрон – это…
10	Зона проводимости – это	10	Запрещённая зона – это…

На «3»	На «4»	На «5»
5,6	7,8	9,10

Тест №9			
I вариант		II вариант	
1	Виды полупроводников по проводимости:	1	Виды полупроводников по характеру проводимости:
2	Электронная проводимость – это…	2	Валентный электрон – это…
3	Дырка – это…	3	Дырочная проводимость – это…
4	Валентная зона – это…	4	Зона проводимости – это
5	Чему равна энергия активации?	5	Ковалентная связь – это…
6	Донорные примеси – это…	6	Акцепторные примеси – это…
7	Запирающий слой – это…	7	Полупроводниковый диод – это…
8	ВАХ полупроводникового диода:	8	Из каких частей состоит транзистор?

На «3»	На «4»	На «5»
3,4	5,6	7,8

Тест №10			
I вариант		II вариант	
1	Вакуум – это…	1	Термоэлектронная эмиссия – это…
2	Какими свойствами обладает электрон?	2	Почему нельзя говорить о траектории электрона?
3	Электронное облако?	3	Атомная орбиталь – это…
4	Форма s-орбитали	4	Форма p-орбитали
5	Как зависит плотность электронного облака от температуры?	5	Чему равно число электронов, покинувших электрод за секунду, в равновесном состоянии?
6	Катодные лучи – это…	6	Как движутся электроны в электронном пучке?

На «3»	На «4»	На «5»
2,3	4,5	6

Тест №11			
I вариант		II вариант	
1	Электролитическая диссоциация – …	1	Степень диссоциации – это…
2	Какой проводимостью обладают водные растворы и расплавы электролитов?	2	Куда будут двигаться «-» ионы, если сосуд с раствором электролита включить в электроцепь?
3	От чего зависит степень диссоциации?	3	Какой проводимостью могут обладать жидкие металлы?
4	Электролиз – это…	4	Формула закона Фарадея:
5	Формула массы одного иона:	5	Формула заряда иона, который определяется валентностью n атома:
6	Значение постоянной Фарадея:	6	Формула электрохимического эквивалента:
7	Найти электрохимический эквивалент (мг/Кл) железа, валентность которого 2+.	7	Найти электрохимический эквивалент (г/А*ч) железа, валентность которого 3+.
8	Применение электролиза:	8	Фамилия учёного, открывшего гальванопластику.

На «3»	На «4»	На «5»
3,4	5,6	7,8

Тест №12			
I вариант		II вариант	
1	Газовый разряд – это…	1	Ионизация – это…
2	Условия возникновения ионизации:	2	Рекомбинация заряженных частиц – …
3	ВАХ несамостоятельного разряда	3	ВАХ самостоятельного разряда
4	Когда возникает ток насыщения?	4	Электрический пробой газа – это…
5	Ионизация электронным ударом – …	5	Что представляет собой электронная лавина?
6	Какой газовый разряд возникает при нормальном давлении в неоднородном электрическом поле?	6	Какой разряд возникает при нормальном давлении и высокой напряженности электрического поля?
7	Какой газовый разряд наблюдается в газосветных трубках?	7	Какой газовый разряд возникает между близко сдвинутыми электродами?
8	Молния – это…	8	Плазма – это…
9	Фамилия учёного, который ввёл термин «плазма».	9	Виды плазмы по происхождению:
10	Температура низкотемпературной плазмы:	10	Чем вызывается ионизация атомов межзвёздной среды?

На «3»	На «4»	На «5»
5,6	7,8	9,10

Табличные данные

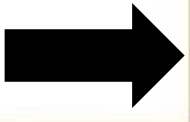
К содержанию

Диэлектрическая проницаемость вещества

Материал	ε
Бумага сухая	2 – 2.5
Янтарь	2.8
Капрон	3.6
Стекло	4 – 16
Фарфор	4.5 – 4.7
Масло касторовое	4.8
Мрамор	8-10
Спирт этиловый	27
Вода дистиллированная	81
Титанат бария	1200

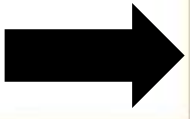
Сплавы

Сталь – сплав железа с углеродом (0,1-2,14 %).
Чугун – сплав железа с углеродом (>2,14 %).
Латунь – сплав на основе меди, где основным легирующим компонентом является цинк, иногда с добавлением олова, никеля, свинца, марганца, железа и других элементов.
Бронза – сплав меди, обычно с оловом в качестве основного компонента.
Константан – сплав на основе меди (~59 %) с добавкой никеля (39-41 %) и марганца (1-2 %).
Никелин – сплав меди (65-67 %) с никелем (25-35 %) с примесями марганца (0,4-0,6 %), железа и цинка.
Манганин – сплав на основе меди (~85 %) с добавкой марганца (11,5-13,5 %) и никеля (2,5-3,5 %).
Нихром – общее название группы сплавов, состоящих из никеля (55-78 %), хрома(15-23 %), с добавками марганца, кремния, железа, алюминия.
Фехраль – сплав на основе железа состоящий из хрома (12-27 %), алюминия (3,5-5,5 %), кремния (1 %), марганца (0,7 %), остальное - железо.
Эбонит – высоко-вулканизированный каучук с большим содержанием серы (29–51 %).
Хромаль – сплав железа с хромом (17-30%) и алюминия (4,5-6,0 %).
Фарфор – получают высокотемпературным обжигом крупнодисперсной смеси каолина, кварца, полевого шпата и пластичной глины.



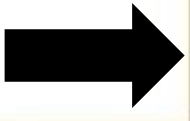
Удельное сопротивление проводников

Металл	**ρ, (Ом*мм^2)/м**	**Металл**	**ρ, (Ом*мм^2)/м**
Цинк	0.06	Никелин	0.40
Серебро	0.016	Манганин	0.43
Медь	0.017	Никель	0.45
Золото	0.024	Константан	0.50
Алюминий	0.028	Ртуть	0.96
Вольфрам	0.055	Нихром	1.1
Латунь	0.07	Хромаль	1.3
Железо	0.10	Фехраль	1.3
Платина	0.1	Графит	13
Сталь	0.15	Фарфор	10^{19}
Свинец	0.21	Эбонит	10^{20}



Электрохимический эквивалент

Металл	k, мг/Кл	k, г/(А*ч)	Металл	k, мг/Кл	k, г/(А*ч)
Хром (3)	0.18	0.646	Водород (1)	0.010	0.038
Хром (6)	0.090	0.324	Кислород (2)	0.083	0.298
Железо (2)	0.289	0.694	Алюминий (3)	0.0932	0.335
Железо (3)	0.193	1.042	Марганец (2)	0.285	1.025
Олово (4)	0.307	1.107	Никель (2)	0.304	1.095
Олово (2)	0.615	2.214	Цинк (2)	0.339	1.220
Медь (1)	0.659	2.372	Хлор (1)	0.367	1.323
Медь (2)	0.329	1.186	Палладий (2)	0.553	1.990
Золото (1)	2.044	7.37	Кадмий (2)	0.582	2.097
Золото (3)	0.681	2.451	Платина (2)	1.011	3.640
Серебро (2)	1.118	4.025	Свинец (2)	1.074	3.865



Температурный коэффициент сопротивления

Металл	**ρ**, (Ом*мм^2)/м	**α**, 1/К при 20°С
Серебро	0.016	0.0035
Медь	0.017	0.0040
Железо	0.10	0.0066
Вольфрам	0.055	0.0046
Никелин	0.40	0.0003
Константан	0.43	0.000005
Нихром	1.1	0.00016
Ртуть	0.96	0.0090

Литература

К содержанию

Физика. 10 класс: учеб, для общеобразоват. организаций с прил. на электрон, носителе : базовый уровень / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский; под ред. Н. А. Парфентьевой. — М. : Просвещение, 2014. — 416 с. : ил. — (Классический курс). — ISBN 978-5-09-028225-3.

Краткий конспект по электродинамике
znaemfiz.ru/fizika-v-shkole/elektrodinamika

Открытая Физика 2.6. Часть II 1. Электродинамика
physics.ru/textbook1/content.html

Образовательный портал для подготовки к ЕГЭ
phys-ege.sdamgia.ru/?redir=1

Какой ток в розетке – постоянный или переменный?
obelektrike.ru/posts/kakoj-tok-v-rozetke-postojannyj-ili-peremennyj/

Короткое замыкание
www.ruselectronic.com/news/korotkoje-zamykanije/

Электрические схемы
studopedia.ru/10_121893_uroven-v.html

Кочеров Г.Г. Расчёт электрических цепей
www.alsak.ru/item/344-7.html

Сопротивление куба
yourtutor.info/сопротивление-куба

Виды предохранителей
electricalschool.info/main/osnovy/1563-vidy-predokhranitelejj.html

Действие электрического тока на человека
www.compancommand.com/index/ehlektrobezopasnost/0-387
electricvdome.ru/electrobezopastnost/deystvie-elektricheskogo-toka-na-cheloveka.html

Законы Кирхгофа
www.physics.ru/courses/op25part2/content/chapter1/section/paragraph10/theory.html#.WQ7pomnyhu0
www.sxemotehnika.ru/zhurnal/zakony-kirkhgofa.html

Полупроводники
ru.wikipedia.org/wiki/Полупроводники

И.В. Яковлев. Полупроводники
ege-study.ru/ege-fizika/poluprovodniki/

Полупроводниковый диод
hightolow.ru/diode1.php

Правильно ли интерпретирован опыт Стюарта-Толмена?
a-shestopalov.livejournal.com/194959.html

Полупроводниковые материалы
ftemk.mpei.ac.ru/ctl/pubs/etm_expr/09.htm

Термометр сопротивления
temperatures.ru/pages/termometry_soprotivleniya

Термистор
home.roboticlab.eu/ru/examples/sensor/thermistor

Сверхпроводимость
elementy.ru/bookclub/chapters/430825/430828
www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/SVERHPROVODIMOST.html?page=0,0

В.В. Курин. Физика сверхпроводников. Вводный курс
www.pnn.unn.ru/UserFiles/lectures/Kurin_Physics_of_Superconductors_Introductory_Course.pdf

Применение явления сверхпроводимости
ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/SPF/uchpos/text/5_6.html

Температурный коэффициент сопротивления
ru.solverbook.com/spravochnik/koefficienty/temperaturnyj-koefficient-soprotivleniya/

Транзистор
www.physbook.ru/index.php/T._Транзистор

Применение транзисторов
www.radiochip.ru/fabrra/t1.html

Двойственная природа электрона
www.medkurs.ru/lecture1k/chemistry/qc14/2854.html

Квантовые числа электрона
chemistry.ru/course/content/chapter2/section/paragraph2/theory.html#.WQwjh2nyhu0

Устройство и принципа работы диода
meandr.org/archives/23099

ЭЛТ
studopedia.info/7-90693.html

Устройство кинескопа
yunc.org/Кинескоп

Электролиз
www.alhimik.ru/teleclass/konspect/konsp6-04.shtml

Применение электролиза
www.physbook.ru/index.php/T._Применение_электролиза

Рафинирование металлов
metallurgicheskiy.academic.ru/9826/рафинирование_металлов

Электрометаллургия
www.metaljournal.com.ua/electrometallurgy/

Гальваностегия
yaslesar.ru/galvanostegiya.html

Гальванопластика/гальваностегия
www.pallan.ru/electroforming.html

Электрофорез – что это?
physiatrics.ru/100026-elektroforez-chto-eto/

Восстановление деталей гальваническим и химическим наращиванием материала
www.studfiles.ru/preview/2069495/page:44/

Ионизация и рекомбинация
www.physbook.ru/index.php/SA._Ток_в_газах

Электрический ток в газах. Электрический ток в вакууме
globuss24.ru/doc/yalektricheskiy-tok-v-gazah-yalektricheskiy-tok-v-vakuume

Типы разрядов
ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%DD%EB%E5%EA%F2%F0%EE%F1%F2%E0%F2%E8%EA%E0.%20%CF%EE%F1%F2%EE%FF%ED%ED%FB%E9%20%D2%EE%EA/08-4.htm

Виды самостоятельного разряда и их техническое использование
www.physbook.ru/index.php/T._Виды_разряда

Эволюция источников света
shine.ru/company/blog/istoriya-sozdaniya-lamp/

Плазма
ru.wikipedia.org/wiki/Плазма

Вездесущая плазма: Четвертое состояние вещества
www.popmech.ru/science/10150-vezdesushchaya-plazma-chetvertoe-sostoyanie-veshchestva/

Глоссарий электротехнических терминов
remont220.ru/termin.php

Виртуальные лабораторные работы
barsic.spbu.ru/www/lab_dhtml/
Л/р «Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»
Л/р «Измерение удельного сопротивления проводника»
Л/р «Изучение последовательного соединения проводников»
Л/р «Изучение параллельного соединения проводников»
Л/р «Определение заряда электрона»

www.all-fizika.com/article/index.php?id_article=110
Л/р «Изучение трансформатора»

seninvg07.narod.ru/004_fiz_lab.htm
Л/р «Регулирование силы тока»
Л/р «Измерение сопротивления»
Л/р «Измерение силы тока»
Л/р Измерение напряжения»

Информация про учёных

ru.wikipedia.org/wiki/Ампер,_Андре-Мари
ru.wikipedia.org/wiki/Ом,_Георг_Симон
ru.wikipedia.org/wiki/Камерлинг-Оннес,_Хейке
ru.wikipedia.org/wiki/Джоуль,_Джеймс
ru.wikipedia.org/wiki/Ленц,_Эмилий_Христианович
ru.wikipedia.org/wiki/Уатт,_Джеймс
ru.wikipedia.org/wiki/Мандельштам,_Леонид_Исаакович
ru.wikipedia.org/wiki/Папалекси,_Николай_Дмитриевич
ru.wikipedia.org/wiki/Толмен,_Ричард_Чейз
en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Dale_Stewart
ru.wikipedia.org/wiki/Друде,_Пауль_Карл_Людвиг
ru.wikipedia.org/wiki/Лоренц,_Хендрик_Антон
ru.wikipedia.org/wiki/Браттейн,_Уолтер_Хаузер
ru.wikipedia.org/wiki/Бардин,_Джон
ru.wikipedia.org/wiki/Шокли,_Уильям_Брэдфорд
ru.wikipedia.org/wiki/Алфёров,_Жорес_Иванович
ru.wikipedia.org/wiki/Эдисон,_Томас_Алва
ru.wikipedia.org/wiki/Плюккер,_Юлиус
ru.wikipedia.org/wiki/Крукс,_Уильям
ru.wikipedia.org/wiki/Перрен,_Жан_Батист
ru.wikipedia.org/wiki/Якоби,_Борис_Семёнович
ru.wikipedia.org/wiki/Лихтенберг,_Георг_Кристоф
ru.wikipedia.org/wiki/Петров,_Василий_Владимирович
ru.wikipedia.org/wiki/Яблочков,_Павел_Николаевич
ru.wikipedia.org/wiki/Грамм,_Зеноб_Теофил
ru.wikipedia.org/wiki/Ленгмюр,_Ирвинг