

ТЕМА XIV. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК



1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

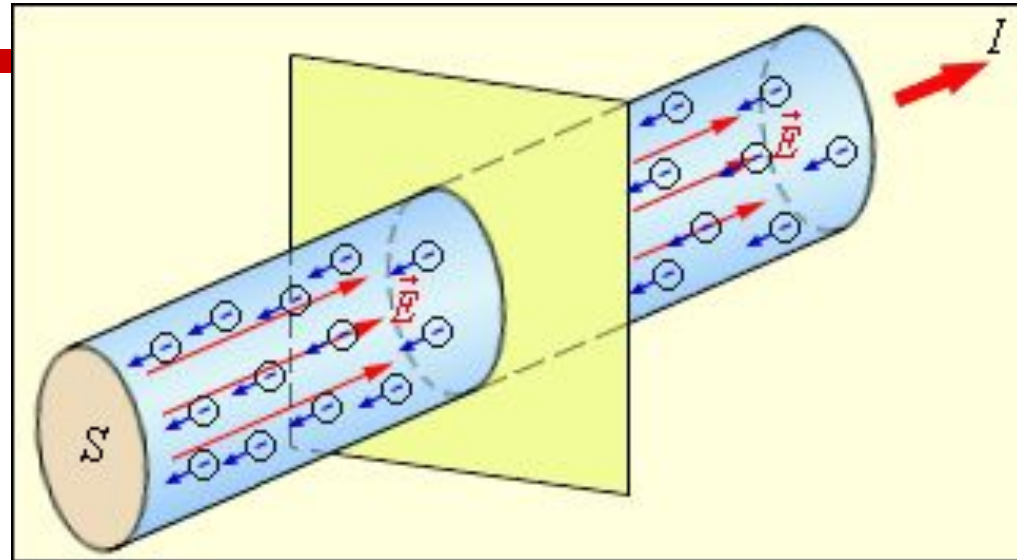
Если через некоторую поверхность переносится электрический заряд, то говорят, что через эту поверхность течет **электрический ток**.

Электрический ток –

это направленное движение электрически заряженных частиц.

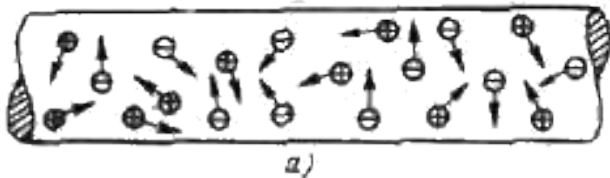
Для протекания тока необходимо наличие в данном тел (среде) **заряженных частиц**, которые могут перемещаться в пределах всего тела (среды). Такие частицы называются **носителями тока**.

Электрический ток возникает при условии, что внутри тела (среды) существует **электрическое поле**, которое обеспечивает направленное движение носителей тока на фоне их хаотического движения.



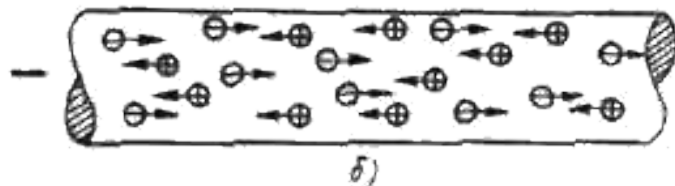
2. СИЛА ТОКА

Количественной характеристикой электрического тока служит сила тока – величина электрического заряда, переносимого через рассматриваемую поверхность в единицу времени $I = \frac{dq}{dt}$.



Если ток создаётся носителями обоих знаков, то

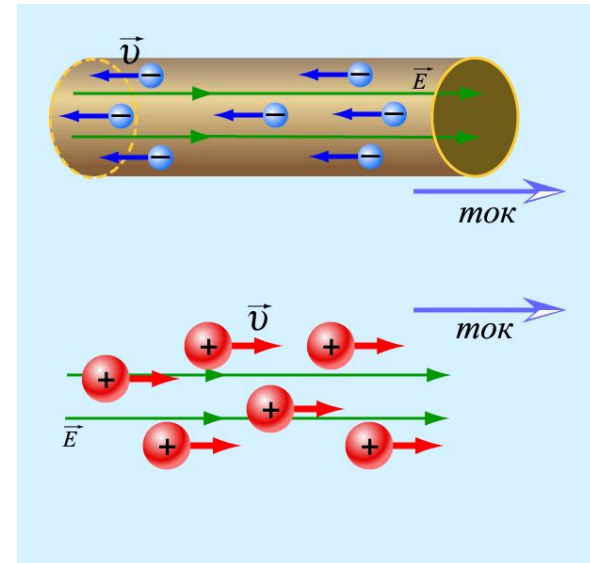
$$I = \frac{dq^+}{dt} + \left| \frac{dq^-}{dt} \right|$$



$$[I] = 1 \frac{Кл}{с} = 1 А.$$

Единица силы тока ампер устанавливается на основе магнитного взаимодействия токов

За направление тока принимается направление, в котором перемещаются положительные носители заряда.



3. ПЛОТНОСТЬ ТОКА

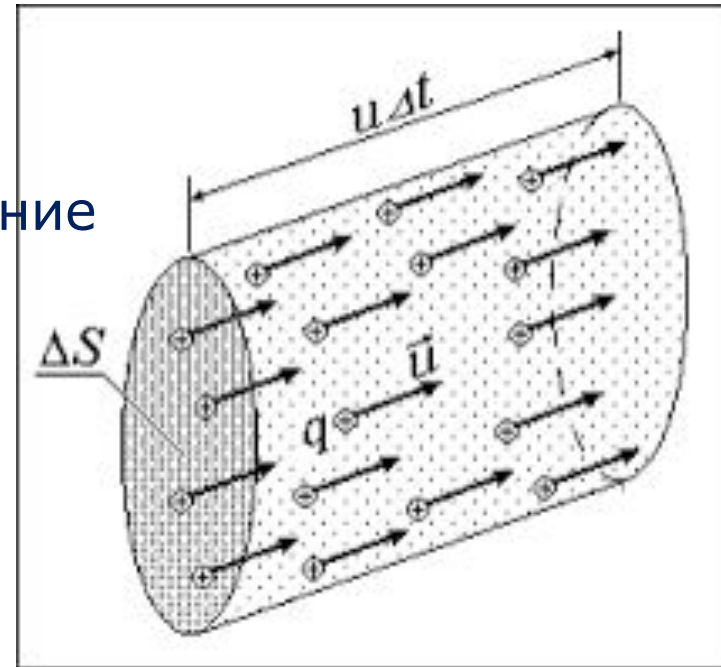
Распределение тока по рассматриваемой поверхности можно характеризовать с помощью вектора плотности тока \vec{j} .

Величина плотности тока численно равна отношению силы тока через площадку, расположенную в данной точке перпендикулярно к направлению движения носителей заряда, к её площади

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS_{\perp}} \Rightarrow \vec{j} = \frac{dq}{dS_{\perp} dt}, \quad [j] = 1 \frac{A}{m^2}.$$

За направление \vec{j} принимают направление скорости упорядоченного движения положительных носителей

$$\vec{j} = q_0^+ n^+ \vec{u}^+ + q_0^- n^- \vec{u}^-;$$
$$\vec{j} = \rho^+ \vec{u}^+ + \rho^- \vec{u}^-.$$
$$I = \int_S \vec{j} d\vec{S}.$$



4. УРАВНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ (I)

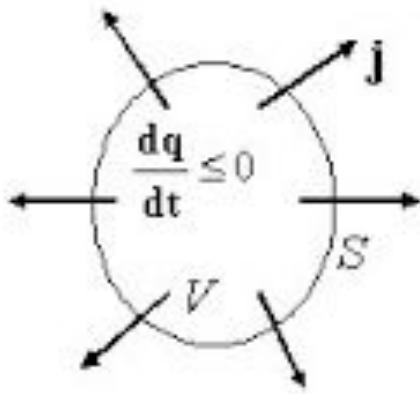


Рис. 4.1

Рассмотрим в среде с током произвольную замкнутую поверхность.

Поток плотности тока

$$\oint_S \vec{j} d\vec{S} = -\frac{dq}{dt}$$

даёт заряд, скорость убывания заряда, содержащегося в объёме под этой поверхностью.

Выразим заряд в этом объёме как интеграл от плотности заряда по объёму:

$$q = \int_V \rho dV \Rightarrow \oint_S \vec{j} d\vec{S} = -\frac{d}{dt} \int_V \rho dV.$$

Операции интегрирования по координатам и дифференцирования по времени можно поменять местами:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV = \int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV \Rightarrow \oint_S \vec{j} d\vec{S} = -\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV.$$

По теореме Остроградского-Гаусса

$$\oint_S \vec{j} d\vec{S} = \int_V \nabla \cdot \vec{j} dV \Rightarrow \int_V \nabla \cdot \vec{j} dV = -\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV \Rightarrow \nabla \cdot \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}.$$

4. УРАВНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ (II)

Соотношение $\nabla \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$ называют уравнением непрерывности.

Оно отражает закон сохранения электрического заряда в дифференциальной форме.

Уравнение $\oint_S \vec{j} d\vec{S} = -\frac{dq}{dt}$ также отражает

закон сохранения заряда, но в интегральной форме.

Согласно этим уравнениям в точках, которые являются источниками вектора \vec{j} , происходит убывание заряда.

Для постоянного тока $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \Rightarrow \nabla \vec{j} = 0$. Это означает, что линии тока замкнуты, т.е. непрерывны.

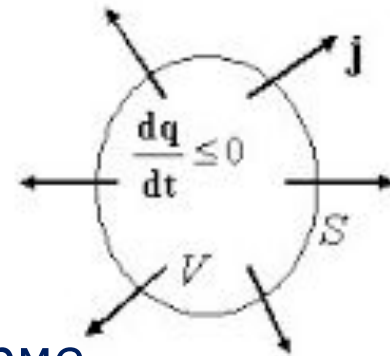
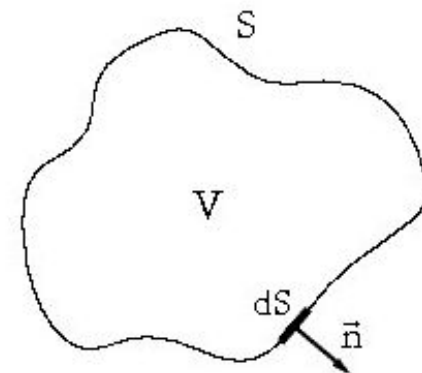
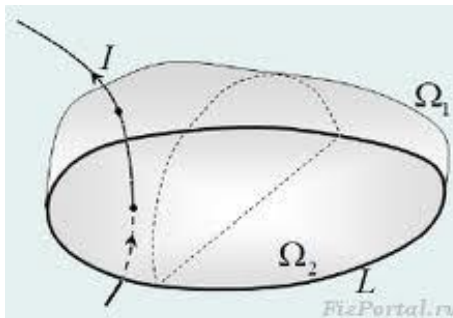


Рис. 4.1



5. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА

$\oint_L \vec{E} dl = 0 \Rightarrow$ В замкнутой цепи необходимы участки, на которых носители движутся против электростатических сил.

Перемещение носителей на этих участках возможно лишь с помощью сил неэлектростатического происхождения, называемых **сторонними силами**.

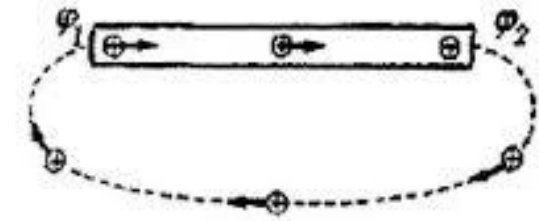


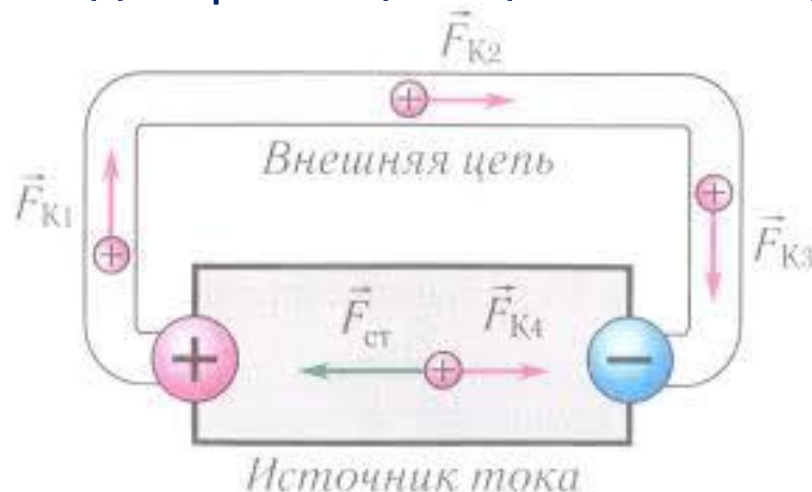
Рис. 5.3

Сторонние силы характеризуют работой, которую они совершают над перемещающимися по цепи зарядами:

$$A_{12}^* = \int_1^2 \vec{F}^* dl = q \int_1^2 \vec{E}^* dl.$$

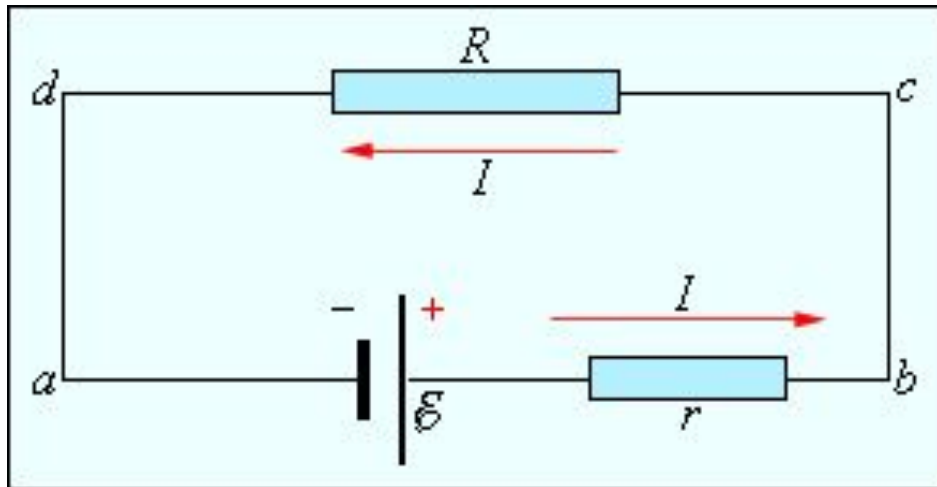
Отношение работы сторонних сил к заряду, над которым она совершена называется **электродвижущей силой**:

$$\varepsilon_{12} = \frac{A_{12}^*}{q} = \int_1^2 \vec{E}^* dl, \quad \varepsilon = \oint_L \vec{E}^* dl.$$



6. НАПРЯЖЕНИЕ

Результирующая сила, действующая в каждой точке на заряд равна сумме электростатической и сторонней силы: $\vec{F}' = q(\vec{E}' + \vec{E}^*)$.
Работа, совершаемая этой силой над зарядом на участке ab определяется выражением: $A_{ab} = q \int_a^b \vec{E} dl + q \int_a^b \vec{E}^* dl \Rightarrow$

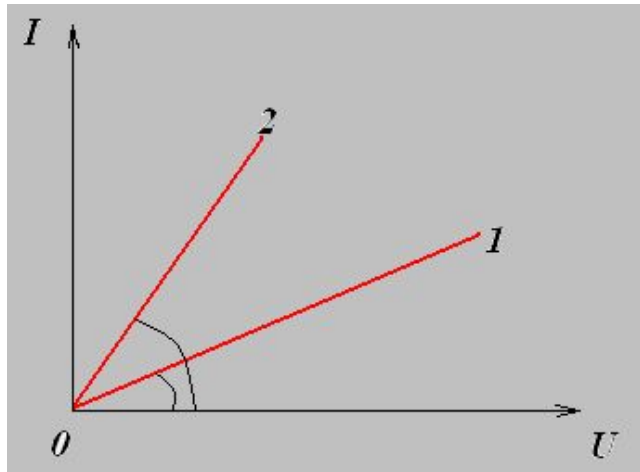


$$A_{ab} = q(\varphi_a - \varphi_b) + q\varepsilon_{ab}.$$

$$U_{ab} \equiv \frac{A_{ab}}{q} = \varphi_a - \varphi_b + \varepsilon_{ab}.$$

Величина, численно равная работе, совершаемой сторонними и электростатическими силами над единичным положительным зарядом, называется **напряжением на данном участке цепи**.

7. ЗАКОН ОМА (I)



Георг Ом экспериментально установил, что сила тока, текущего по однородному участку цепи, пропорциональна напряжению на этом участке: $I = \frac{1}{R}U$.

Величина R , обратная коэффициенту пропорциональности между силой тока

и напряжением называется сопротивлением этого участка цепи.

Для однородного цилиндрического проводника $R = \rho \frac{l}{S}$,

ρ – удельное электрическое сопротивление,

l – длина проводника, S – площадь его поперечного сечения.

Удельное электрическое сопротивление численно равно сопротивлению проводника длиной 1 м и площадью сечения 1 м².

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow [R] = 1 \frac{В}{А} = 1 \text{ Ом}; \quad \rho = R \frac{S}{l} \Rightarrow [\rho] = 1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

7. ЗАКОН ОМА (II)

В изотропном проводнике упорядоченное движение носителей тока происходит в направлении напряжённости поля, т.е. направления векторов \vec{j} и \vec{E} совпадают.

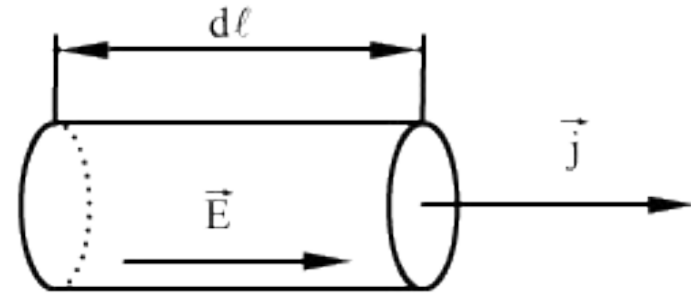


рис. 17.2

Применим закон Ома $I = \frac{1}{R}U$ для элементарного участка проводника. Через поперечное сечение течёт ток силой $dI = jdS$. Напряжение на участке цепи $dU = Edl$.

Сопротивление выделенного элементарного участка $dR = \rho \frac{dl}{dS}$.

Подставим эти выражения в закон Ома $jdS = \frac{Edl}{\rho dl} dS \Rightarrow j = \frac{E}{\rho}$.

В векторном виде $\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = \sigma \vec{E}$ – **з-н Ома в дифференциальной ф-е.**

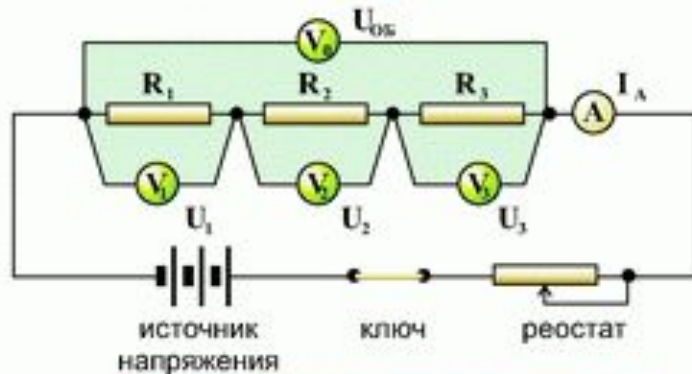
$\sigma = \frac{1}{\rho}$ – удельная электрическая проводимость.

$$[\sigma] = \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}} = 1 \frac{\text{См}}{\text{м}}$$

8. СОЕДИНЕНИЯ РЕЗИСТОРОВ

ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Электрические цепи. Последовательное соединение проводников



Законы последовательного соединения

1. Сила тока I_A одна и та же во всех последовательно соединенных проводниках

$$I_A = \text{const}$$

2. Общее падение напряжения $U_{\text{об}}$ равно сумме падений напряжения на каждом проводнике

$$U_{\text{об}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

3. Общее сопротивление равно сумме всех последовательно включенных сопротивлений

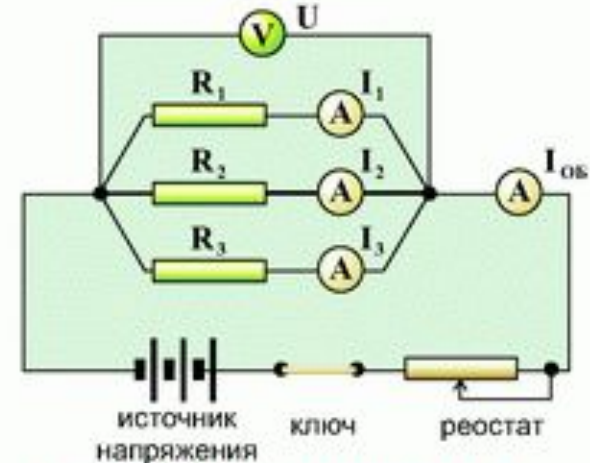
$$R_{\text{об}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

4. Чем меньше сопротивление, тем меньше на нем падение напряжения (и наоборот)

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad (\text{Прямпропорциональная зависимость})$$

ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Электрические цепи. Параллельное соединение проводников



Законы параллельного соединения

1. $I_{\text{об}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$

2. $U = \text{const}$

3. Общее сопротивление находят по формуле

$$\frac{1}{R_{\text{об}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad \text{Если } R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R \text{ то}$$

$$R_{\text{об}} = \frac{R}{n}$$

n - проводников одинакового сопротивления

4. Через проводник меньшего сопротивления течет больший ток и наоборот

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (\text{Обратнопропорциональная зависимость})$$



9. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

ФИЗИКА

137

ПОСТОЯННЫЙ ТОК

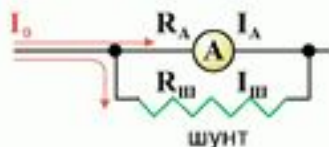
Измерение силы тока

Сила электрического тока измеряется амперметром

Амперметр включается в цепь последовательно.

Его внутреннее сопротивление должно быть сравнительно мало.

Для увеличения предела измеряемого тока параллельно к амперметру включают шунт - дополнительную "дорогу" для электрического тока



Вспользуемся четвертым законом параллельного соединения

$$\frac{I_A}{I_{\text{ш}}} = \frac{R_{\text{ш}}}{R_A} \Rightarrow R_{\text{ш}} = \frac{I_A \cdot R_A}{I_{\text{ш}}} = \frac{I_A \cdot R_A}{I_0 - I_A}$$

или

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{\frac{I_0}{I_A} - 1} = \frac{R_A}{n - 1}$$

Здесь I_0 - величина тока, на который нам необходимо рассчитать данный амперметр с пределом I_A

$\frac{I_0}{I_A} = n$ - коэффициент, показывающий во сколько раз увеличилась цена деления шкалы амперметра

ФИЗИКА

138

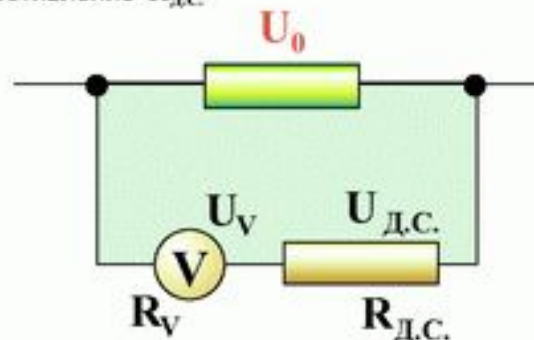
ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Измерение напряжения

Электрическое напряжение измеряется вольтметром

Вольтметр включается в цепь параллельно. Его внутреннее сопротивление должно быть сравнительно большим.

Для увеличения предела измеряемого напряжения последовательно к нему включают дополнительное сопротивление $R_{\text{д.с.}}$



Вспользуемся четвертым законом последовательного соединения

$$\frac{R_V}{R_{\text{д.с.}}} = \frac{U_V}{U_{\text{д.с.}}} \Rightarrow R_{\text{д.с.}} = R_V \frac{U_{\text{д.с.}}}{U_V} = R_V \frac{U_0 - U_V}{U_V}$$

$$R_{\text{д.с.}} = R_V \left(\frac{U_0}{U_V} - 1 \right) = R_V (n - 1) \quad R_{\text{д.с.}} = R_V (n - 1)$$

Здесь n - коэффициент, показывающий во сколько раз увеличилась цена деления шкалы вольтметра

10. ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ФОРМЕ

На неоднородном участке цепи на носители тока действуют не только электростатические, но и сторонние силы: $F = q_0 E + q_0 E^*$.

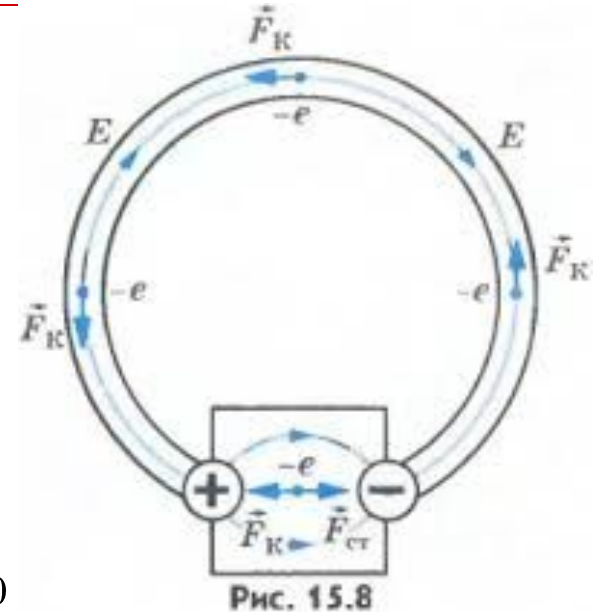
По закону Ома для однородного участка средняя скорость упорядоченного движения носителей тока пропорциональна электростатической силе. Покажем это:

$$j = \sigma E, \quad j = q_0 n \vec{u}, \quad E = F/q_0 \Rightarrow q_0 n \vec{u} = \sigma F/q_0$$

При наличии нескольких сил, действующих на носители тока, средняя скорость носителей пропорциональна сумме сил, поэтому

$$q_0 n \vec{u} = \sigma (q_0 E + q_0 E^*)/q_0 \Rightarrow j = \sigma (E + E^*) \Rightarrow j = (E + E^*)/\rho.$$

Это закон Ома для неоднородного участка цепи в дифференциальной форме.



11. ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ В ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЕ

Переведём векторную дифференциальную форму закона Ома $\vec{j} = \sigma(\vec{E} + \vec{E}^*)$ в скалярную интегральную форму. Для этого: выразим удельную электрическую проводимость σ через удельное электрическое сопротивление ρ ; умножим обе части закона Ома скалярно на элемент линии тока dl и на площадь элементарного объёма проводника dS :

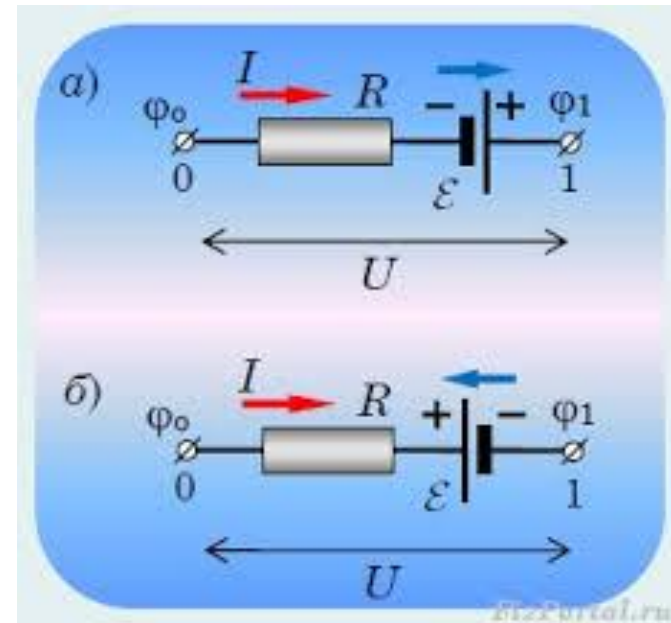
$$dS \vec{j} dl = dS \frac{1}{\rho} (\vec{E} dl + \vec{E}^* dl).$$

$$\vec{j} dl = j dl \Rightarrow \rho dS j dl = dS (\vec{E} dl + \vec{E}^* dl);$$

$$dS j = dI \Rightarrow dI \frac{\rho dl}{dS} = \vec{E} dl + \vec{E}^* dl.$$

Интегрируя по длине и площади, получим:

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}.$$



12. МОЩНОСТЬ ТОКА

Электростатические и сторонние силы, действующие на данном участке цепи, совершают над прошедшим зарядом работу $A = qU$.

Разделив работу на время, за которое она совершена, получим мощность развиваемую током на рассматриваемом участке цепи:

$$P = qU/t = UI = (\varphi_1 - \varphi_2)I + \varepsilon_{12}I.$$

Отношение мощности, развиваемой током в проводнике к объёму этого проводника называется **удельной мощностью тока** P_{yd} .

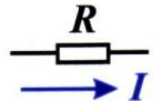
Мощность ΔP , развиваемую в объёме ΔV , найдём, умножив число носителей в этом объёме ΔN на мощность P' результирующей силы, действующей на каждый носитель тока.

$$P' = dA'/dt = F'dS/dt = F'\vec{u} = q_0(\vec{E} + \vec{E}^*)\vec{u}. \quad \Delta N = n\Delta V \Rightarrow \\ \Delta P = P'\Delta N = q_0(\vec{E} + \vec{E}^*)\vec{u}n\Delta V = \vec{j}(\vec{E} + \vec{E}^*)\Delta V \Rightarrow P_{yd} = \vec{j}(\vec{E} + \vec{E}^*).$$

13. ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА

Закон Джоуля-Ленца

В интегральной форме

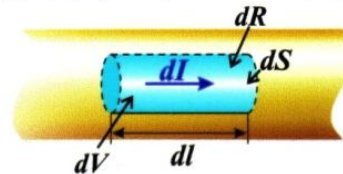


$$Q = \int_0^t I^2 R dt$$

если $I = const$, то

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

В дифференциальной форме



$$w = \frac{dQ}{dV dt} \quad dQ = dI^2 dR dt$$

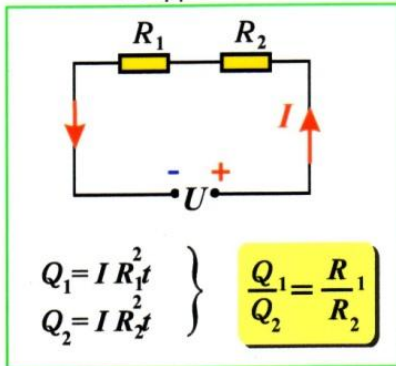
$$dR = \frac{\rho dl}{dS} \quad dI = j dS$$

$$w = \rho j^2 = \sigma E^2$$

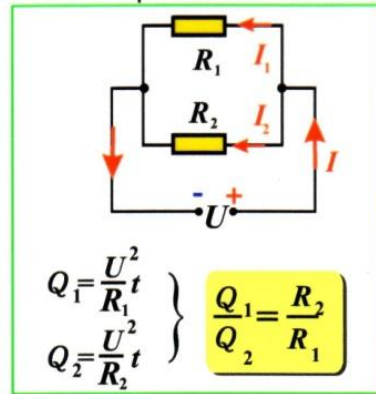
удельная
тепловая мощность

Теплота, выделяемая в проводниках

последовательное
соединение



параллельное



$$P_{y\partial} = j(\dot{E} + \dot{E}^*).$$

Для однородного участка цепи

$$\dot{E}^* = 0 \Rightarrow P_{y\partial} = j\dot{E}.$$

По закону Ома

$$j = \sigma E = \frac{E}{\rho} \Rightarrow$$

$$P_{y\partial} = \frac{E^2}{\rho} = \sigma E^2;$$

$$P_{y\partial} = \rho j^2 = \frac{j^2}{\sigma}.$$

Это закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме.

10. ПРАВИЛА КИРХГОФА

Правила Кирхгофа

Первое правило:

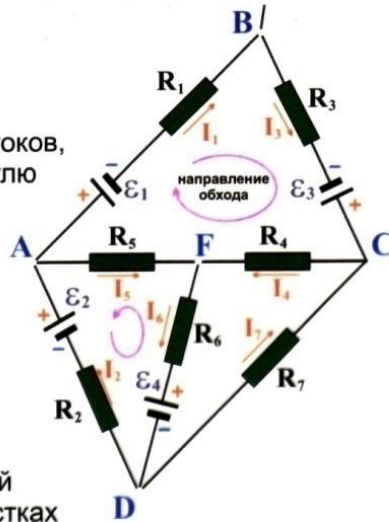
$$\sum_k I_k = 0$$

Алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю

Узел A : $I_2 - I_1 - I_5 = 0$

Узел D : $I_6 - I_2 - I_7 = 0$

Узел F : $I_4 + I_5 - I_6 = 0$



Второе правило:

$$\sum I_i R_i = \sum \mathcal{E}_k$$

Алгебраическая сумма падений напряжений на отдельных участках замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре

Контур ABCFA : $I_1 R_1 + I_3 R_3 + I_4 R_4 - I_5 R_5 = \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_1$

Контур AFDA : $I_5 R_5 + I_6 R_6 + I_2 R_2 = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_4$

Порядок применения второго правила:

1. Показать направления токов на каждом участке цепи;
2. Показать направление стороннего поля в источнике ЭДС;
3. Выбрать направление обхода контура;
4. При совпадении силы тока или стороннего поля с направлением обхода перед падением напряжения и ЭДС ставится плюс, а при несовпадении - минус.

ТОЭ

2. Методы расчета и свойства линейных цепей

2.3. Задача расчета цепи

Применения законов Кирхгофа

- Известны: схема цепи (p ветвей, q узлов) и параметры всех ветвей R, E, J

- Определить: токи и напряжения на всех ветвях

Пример

В схеме 6 неизвестных токов -
нужно 6 независимых уравнений

Для узлов:

1 $-I_2 - I_6 + I_3 + J_6 = 0$

2 $I_4 + I_6 - I_5 - J_6 = 0$

3 $+I_2 - I_1 + I_5 = 0$

4 $-J_4 - I_1 + I_3 = 0$

Это уравнение не годится - оно является суммой 3-х первых

Для контуров:

1 $+R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_1$

2 $-R_2 I_2 + R_5 I_5 + R_6 I_6 = E_5$

3 $R_6 I_6 + U_{J6} = 0$

4 $R_4 I_4 - R_3 I_3 - R_6 I_6 = -E_4$

4 $R_4 I_4 + R_5 I_5 = E_1 + E_5 - E_4$

Это уравнение не годится, т.к. в нем новая неизвестная величина

Не годится - сумма трех первых

По первому закону $(q - 1)$ уравнений

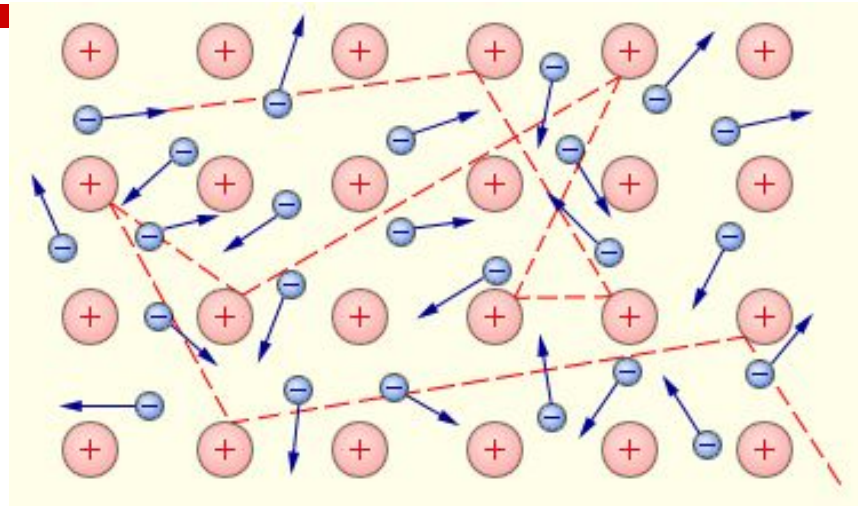
По второму: $p - (q - 1)$

(p - число ветвей без источников тока!)

© 2010 г. Челябинск, пр. Ленина, 76. ЮУрГУ. Физ. фак. Кафедра ТЭО. Челябинск. Челябинский государственный университет. Челябинск, 454080. Челябинск, пр. Ленина, 76. ЮУрГУ. Физ. фак. Кафедра ТЭО. Челябинск. Челябинский государственный университет. Челябинск, 454080.

11. КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОВ

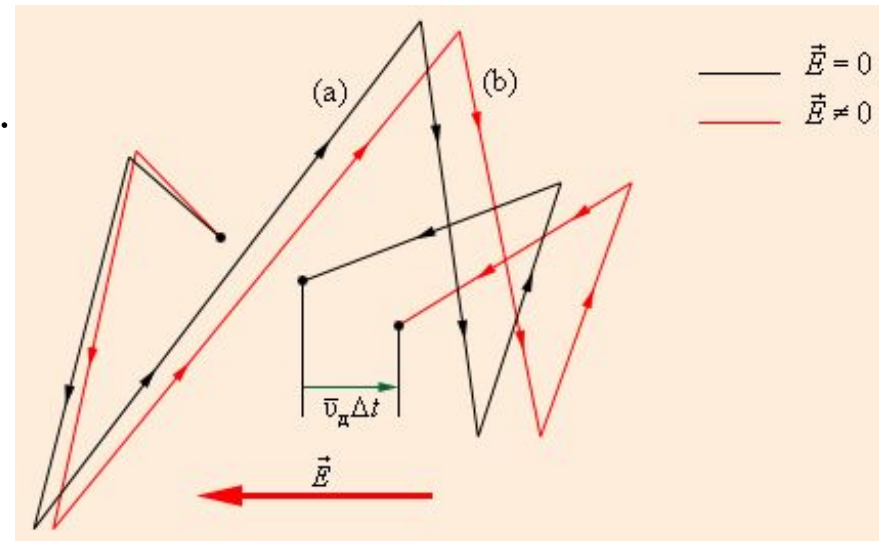
Электроны проводимости в металле ведут себя подобно молекулам газа. В промежутках между столкновениями они движутся свободно, проходя путь λ между столкновениями (в среднем). Электроны сталкиваются в основном не между собой, а с ионами решетки.



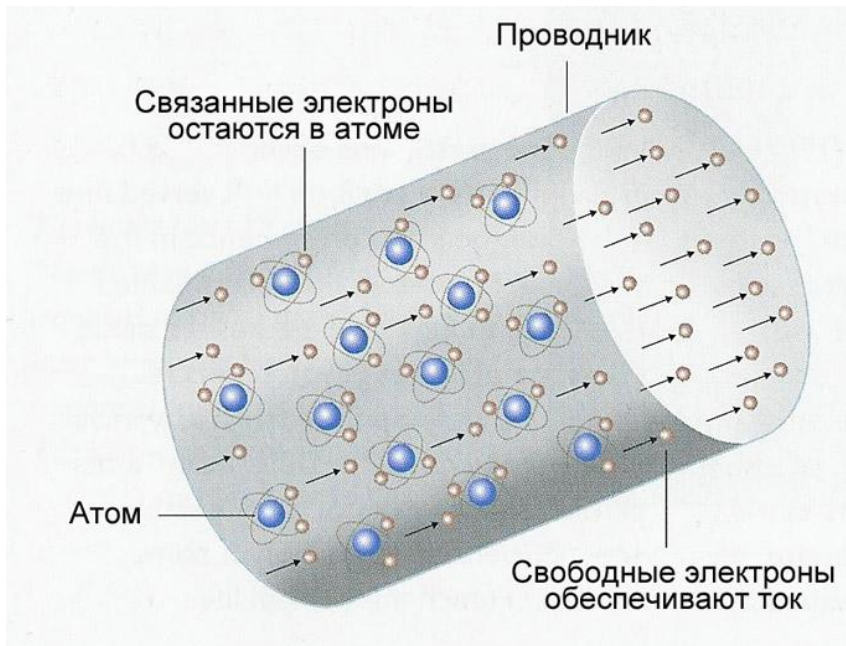
$$M_c \in \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 1,1 \cdot 10^5 \text{ / .}$$

$$\frac{I}{S} = enu_d \Rightarrow u_d = \frac{I}{enS};$$

$$m_d \in \frac{10}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{29} \cdot 10^{-6}} \approx 6,2 \cdot 10^{-4} \text{ / .}$$



12. ЗАКОН ОМА В КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ



$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}; \quad V_{dm} = a\tau;$$

$$\tau = \frac{\lambda}{V_c} \Rightarrow V_{dm} = \frac{eE\lambda}{mV_c}.$$

$$\bar{V}_d = \frac{V_{dm}}{2} = \frac{eE\lambda}{2mV_c}; \quad j = en\bar{V}_d \Rightarrow$$

$$j = \frac{ne^2\lambda}{2mV_c} E;$$

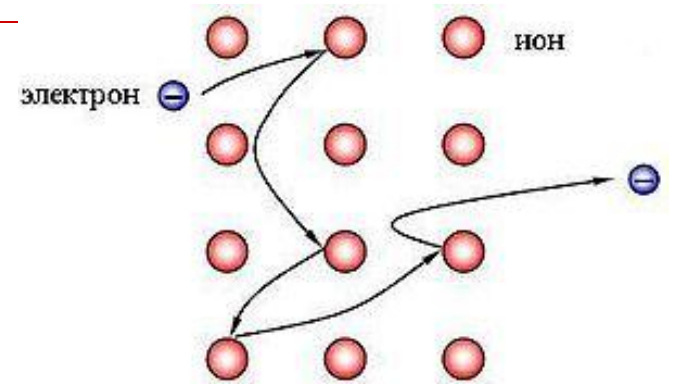
$$j = \gamma E \Rightarrow$$

$$\rho = \frac{1}{\gamma} = \frac{2mV_c}{e^2 n \lambda}.$$

13. ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА В КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

К концу свободного пробега электрон приобретает дополнительную кинетическую Энергию

$$\Delta W_k = \frac{mV_{dm}^2}{2} = \frac{m}{2} \left(\frac{eE\lambda}{mV_c} \right)^2 = \frac{e^2 \lambda^2}{2mV_c^2} E^2.$$



Каждый электрон претерпевает за секунду $\frac{1}{\tau} = \frac{V_c}{\lambda}$ столкновений.

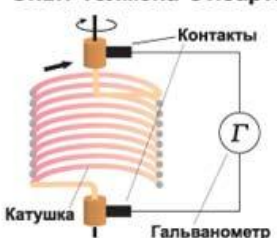
$$q \equiv \frac{\Delta Q}{\Delta t \Delta V} = n \frac{1}{\tau} \Delta W_k = n \frac{V_c}{\lambda} \frac{e^2 \lambda^2}{2mV_c^2} E^2 = \frac{e^2 n \lambda}{2mV_c} E^2. \quad \Delta Q = I^2 R \Delta t;$$

$$I = jS = \frac{E}{\rho} S; \quad R = \rho \frac{\Delta L}{S} \Rightarrow q = \frac{I^2 R}{\Delta L S} = \frac{E^2 S^2}{\rho^2 \Delta L S} \rho \frac{\Delta L}{S} = \frac{E^2}{\rho}.$$

14. ЗАТРУДНЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

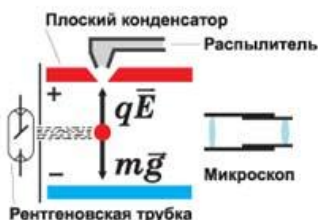
1 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

Опыт Толмена-Стюарта



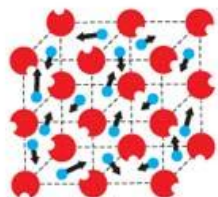
$$\frac{e}{m} = \frac{lv_0}{Rq} \quad \frac{e}{m} = 1,8 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

Опыт Милликена и Иоффе

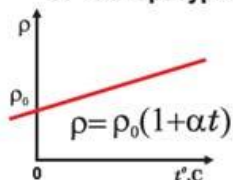


$$q = \frac{mg}{E} \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

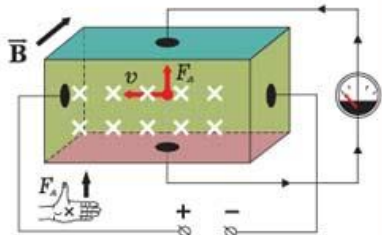
Модель строения металла



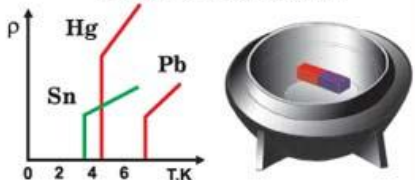
Зависимость сопротивления от температуры



Эффект Холла



Сверхпроводимость

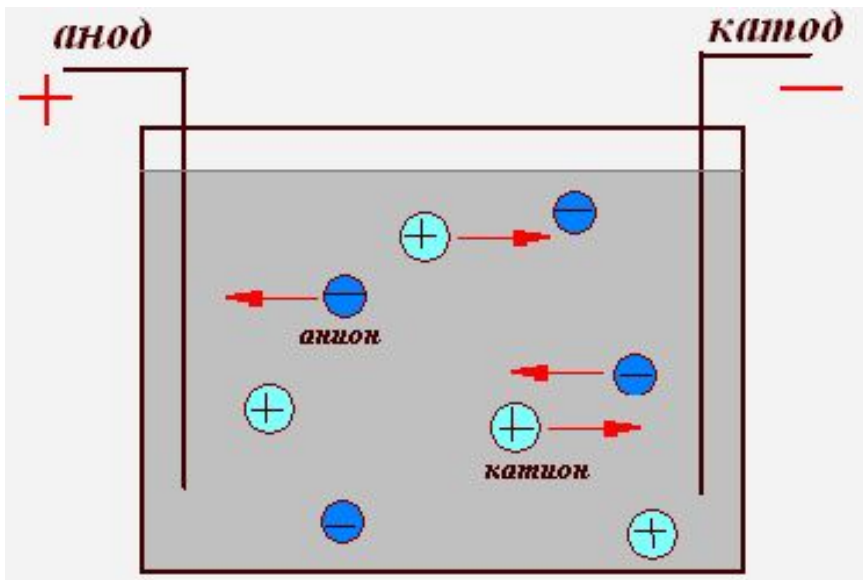
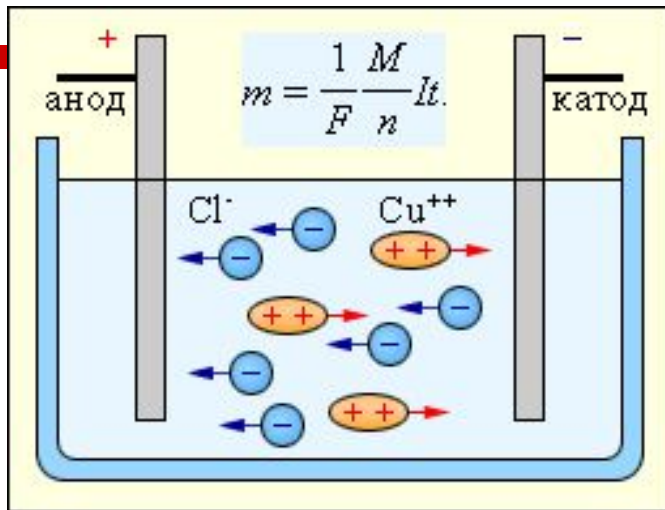


$$\rho = \frac{2mV_c}{e^2 n \lambda}; \quad V_c = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \Rightarrow$$

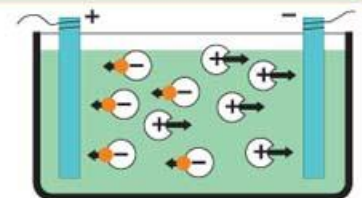
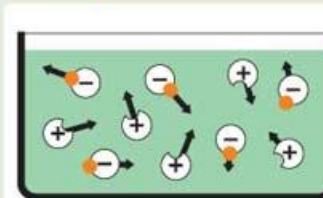
$$\rho = \frac{4}{e^2 n \lambda} \sqrt{\frac{2}{\pi} m k T} \Rightarrow \rho \sim \sqrt{T}.$$

Из классической теории электропроводности металлов следует, что сопротивление металлов должно возрастать как корень квадратный из абсолютной температуры. Это противоречит опытными данным, согласно которым сопротивление металлов растет пропорционально T . В рамках классической теории невозможно объяснить сверхпроводимость.

15. ЭЛЕКТРОЛИЗ

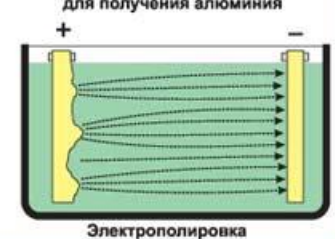
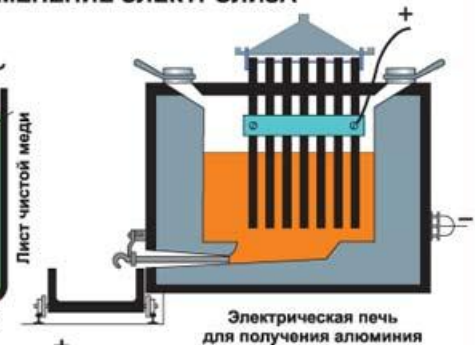
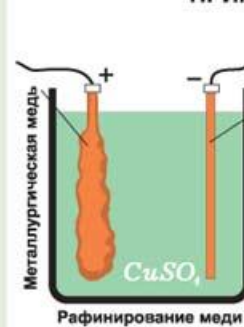


8 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

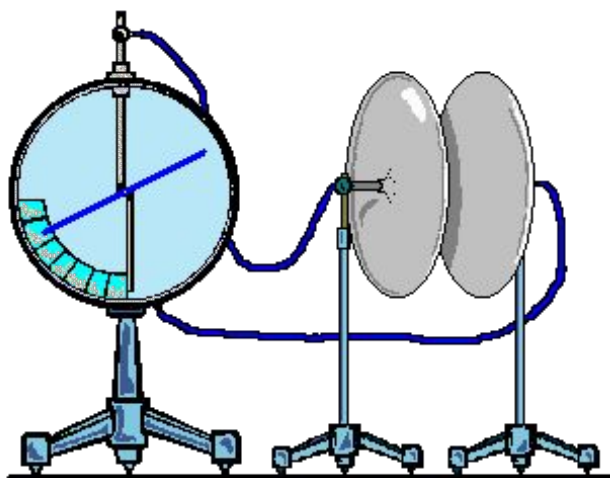


ЗАКОН ЭЛЕКТРОЛИЗА $k = \frac{M}{N_A e n}$ $m = \frac{M}{N_A e n} q$ $m = kq$

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА



16. ВИДЫ ГАЗОВЫХ РАЗРЯДОВ



6 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ

Несамостоятельный разряд

Вольт-амперная характеристика тока в газах

Самостоятельный разряд

ВИДЫ РАЗРЯДОВ В ГАЗАХ

искровой

Молния

дуговой

"Огни святого Эльма"

коронный

МДГ - генератор

Воздух

Горючее

Камера сгорания

Струя плазмы

Электроды

ФИЗИКА

EDUSTRONG

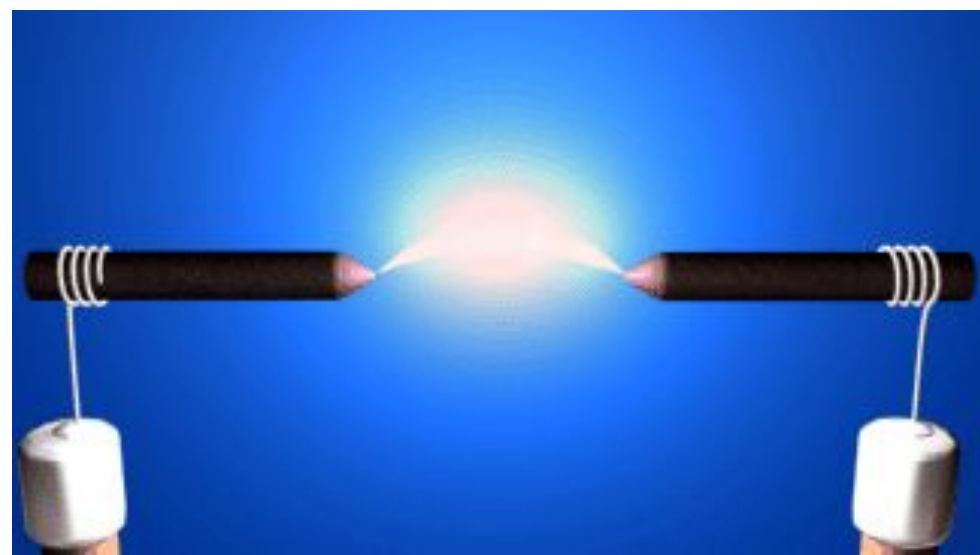
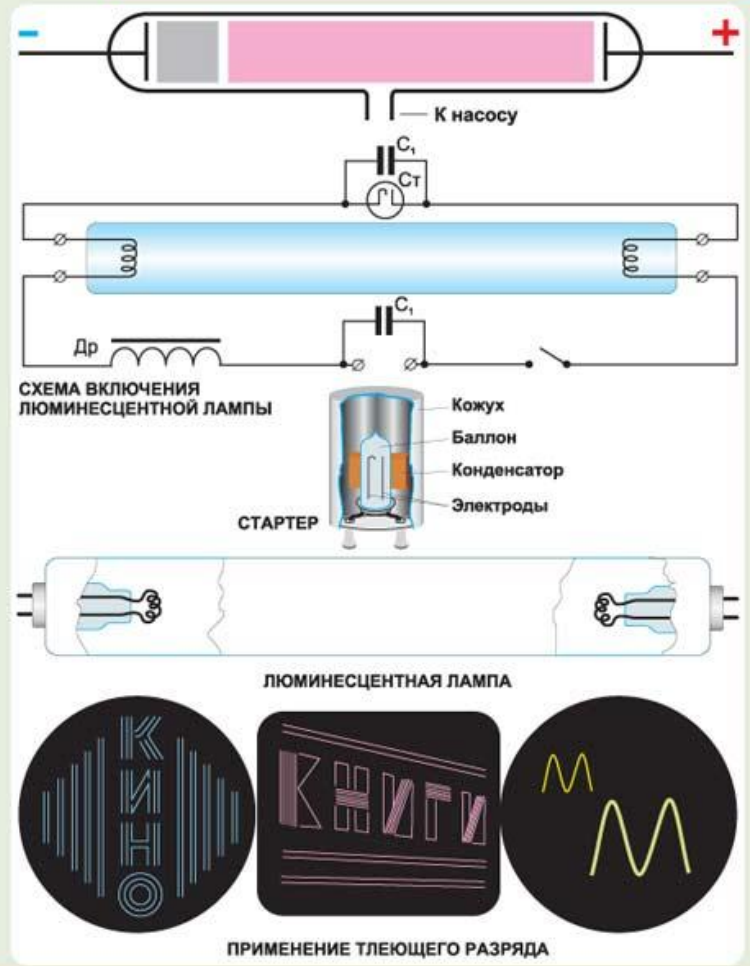
ИРСОН

Департамент образования и науки Республики Татарстан
Государственный образовательный центр "ИРСОН" ФГОС ВО №10000001001-10-00
© 2019 ИРСОН. Все права защищены.

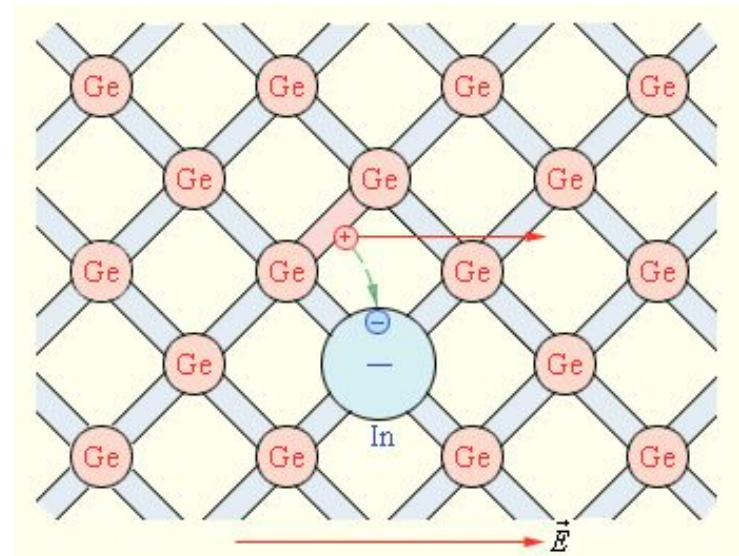
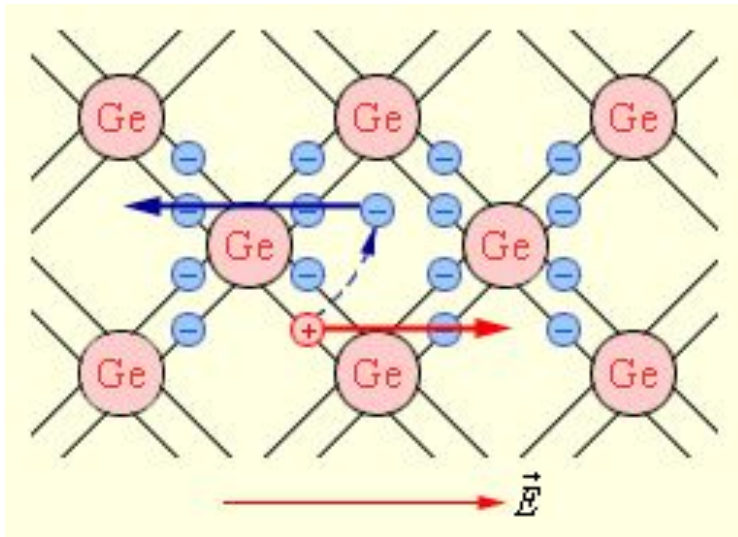
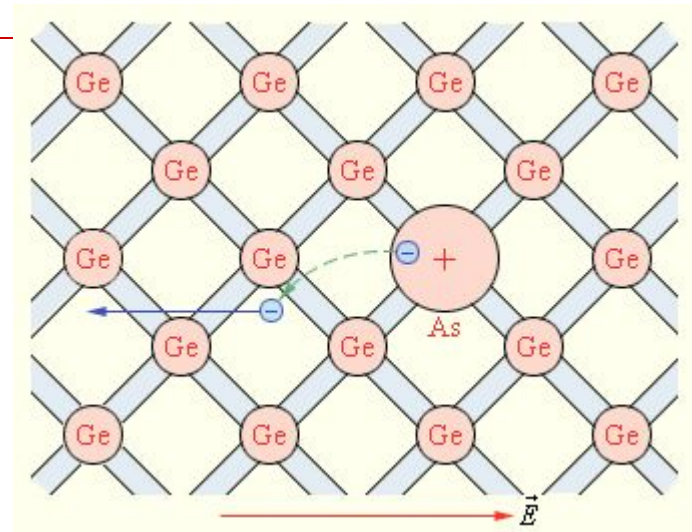
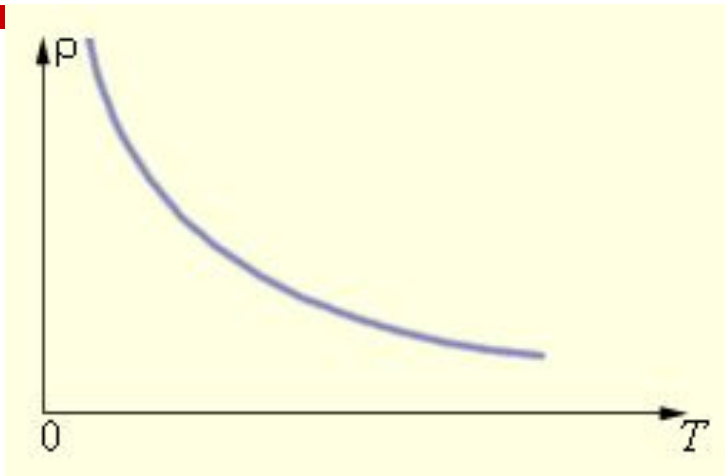
ИРСОН

17. САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД

7 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД



18. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ



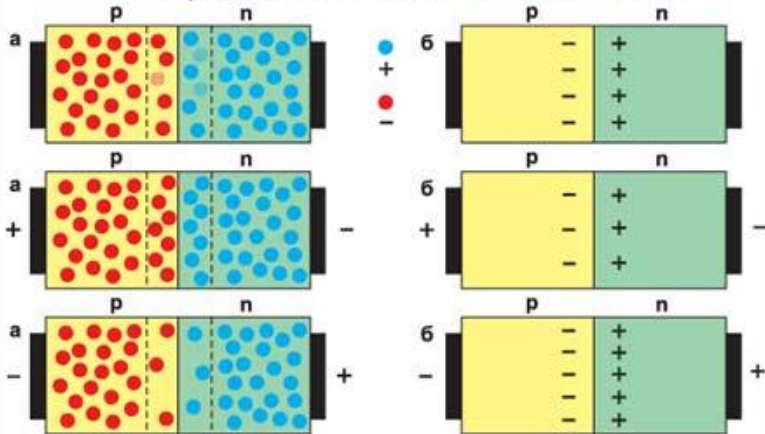
19. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

3 p-n ПЕРЕХОД

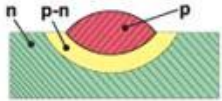
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ



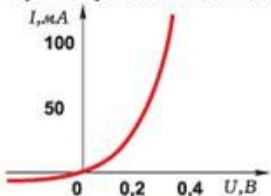
ПРОЦЕССЫ В ПРИКОНТАКТНОМ СЛОЕ



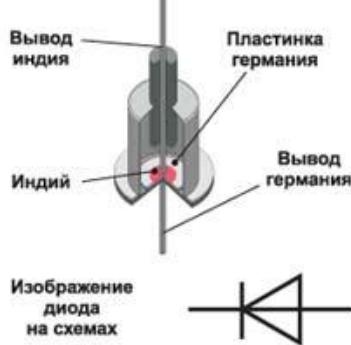
Образование p-n перехода



Вольт-амперная характеристика диода



Устройство диода



ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

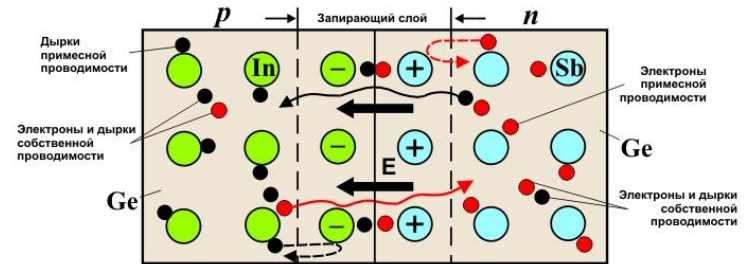
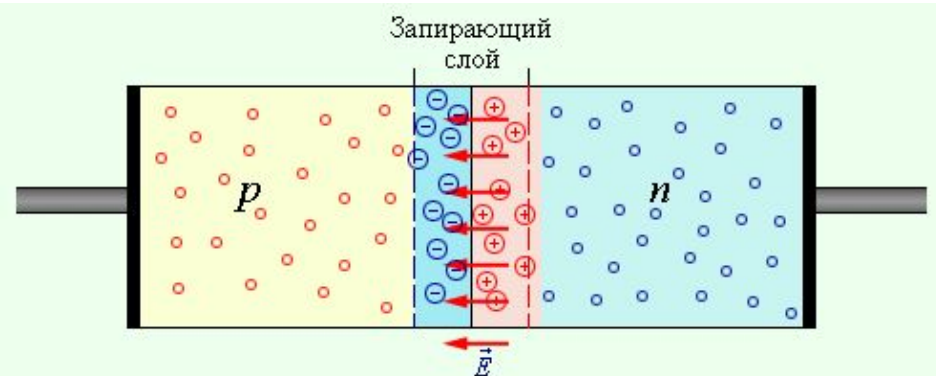
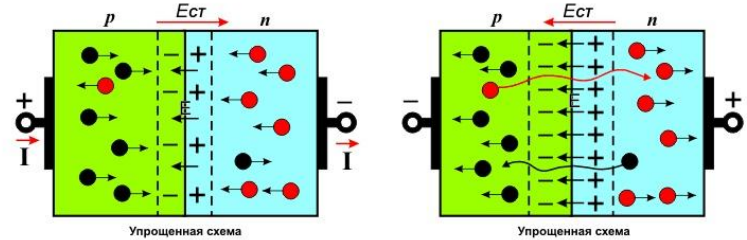
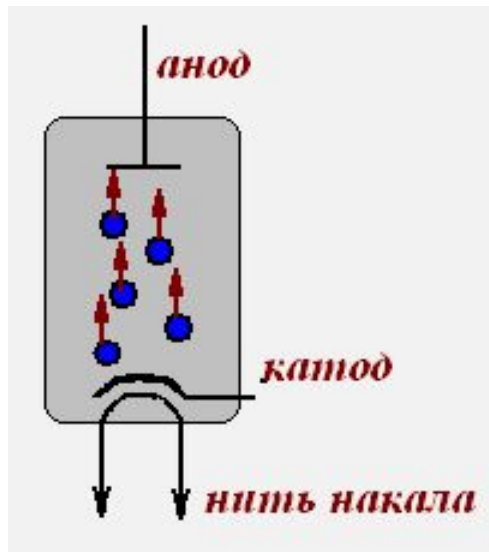


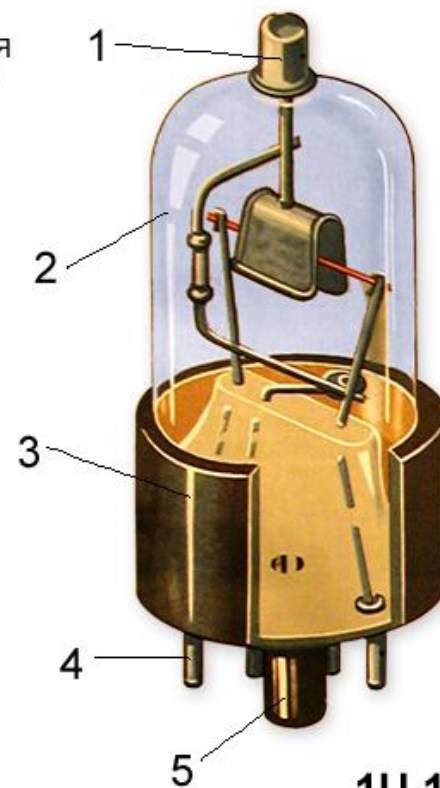
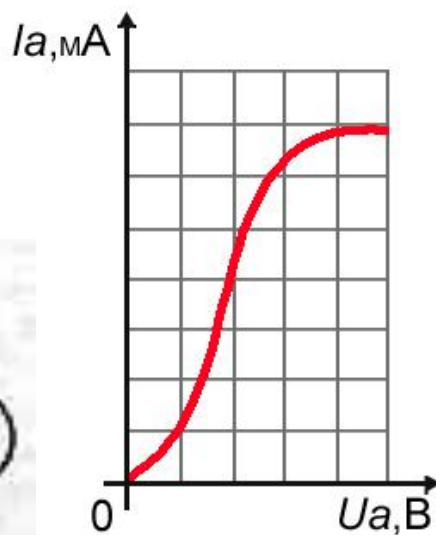
Схема образования электрического поля E на границе раздела p- и n-полупроводников



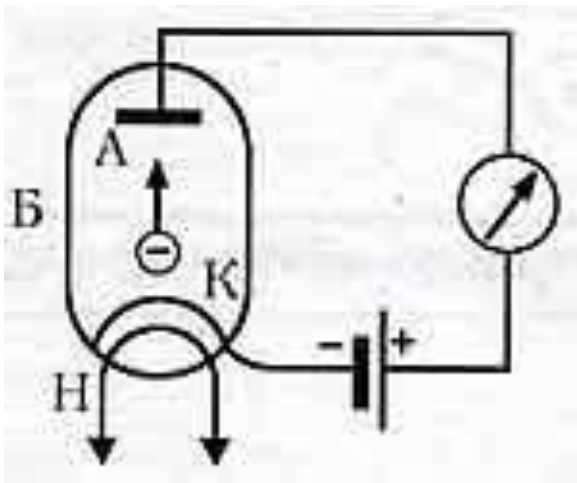
21. ВАКУУМНЫЙ ДИОД



ВАКУУМНЫЙ ДИОД



1Ц 1С

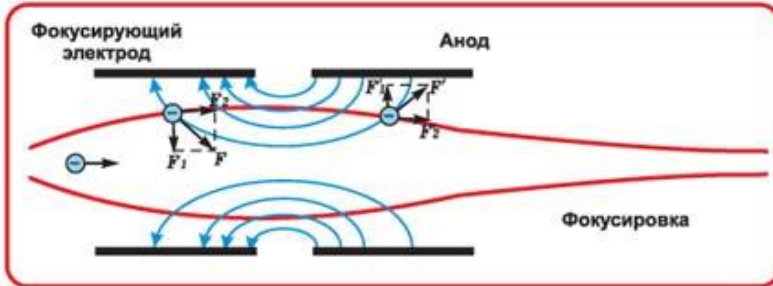
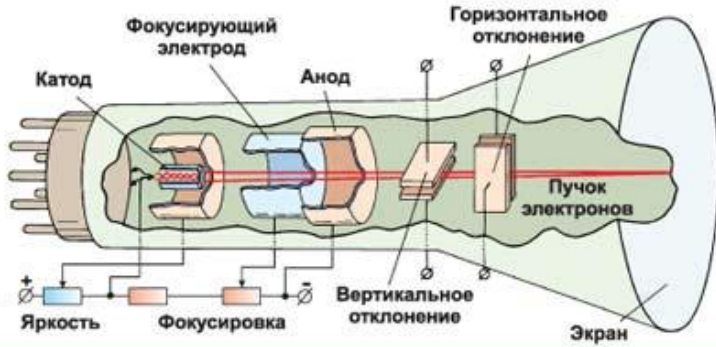


22. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА

5

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

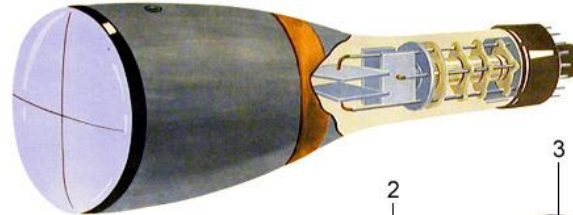
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА



Трубка с магнитным управлением

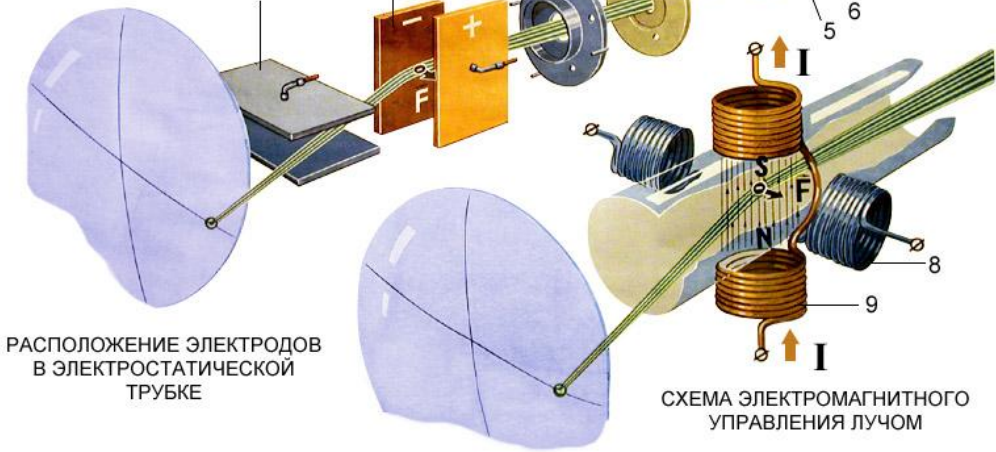


ВНЕШНИЙ ВИД ТРУБКИ



ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА

1. Горизонтальные пластины
2. Вертикальные пластины
3. Второй анод
4. Первый анод (фиксирующий)
5. Управляющий цилиндр
6. Катод
7. Нить накала



РАСПОЛОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОДОВ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ТРУБКЕ

СХЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛУЧОМ