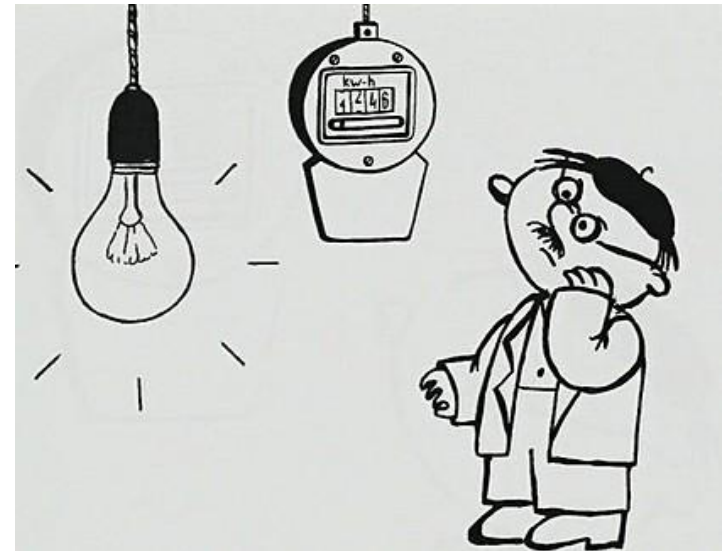


ЛЕКЦИЯ № 8 Электрический ток

Элементы содержания: Постоянный электрический ток. Сила тока и плотность тока. Источники постоянного тока. Электродвижущая сила. Электрическое напряжение. Электрическое сопротивление. Сверхпроводимость. Законы Ома и Джоуля – Ленца в интегральной и дифференциальной формах.

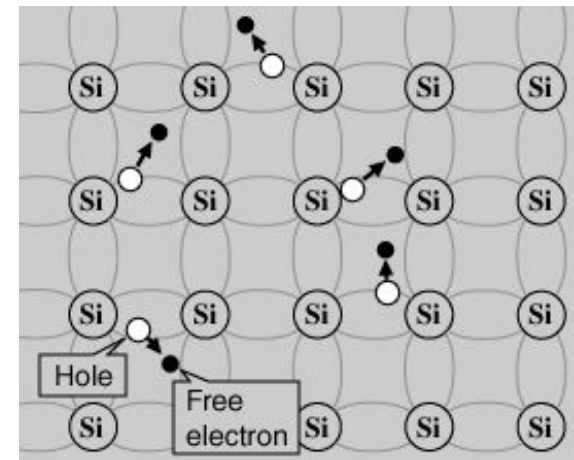
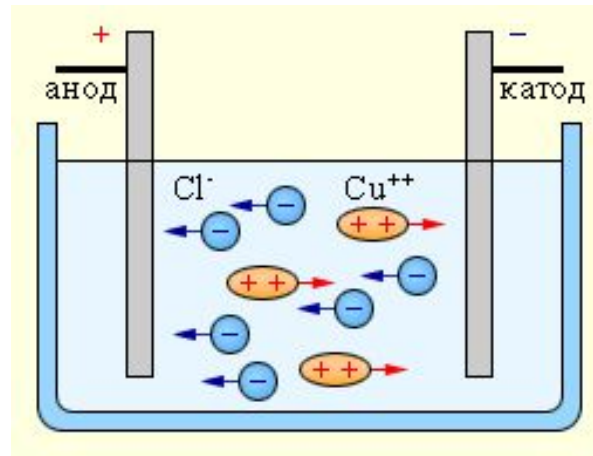
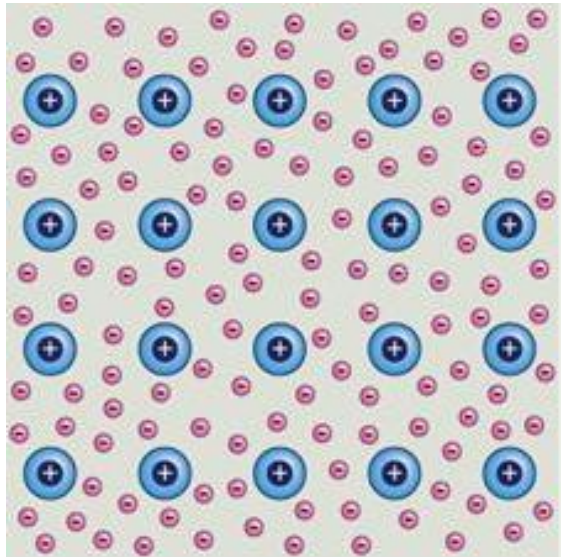
Литература: Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2000. С. 154-178.



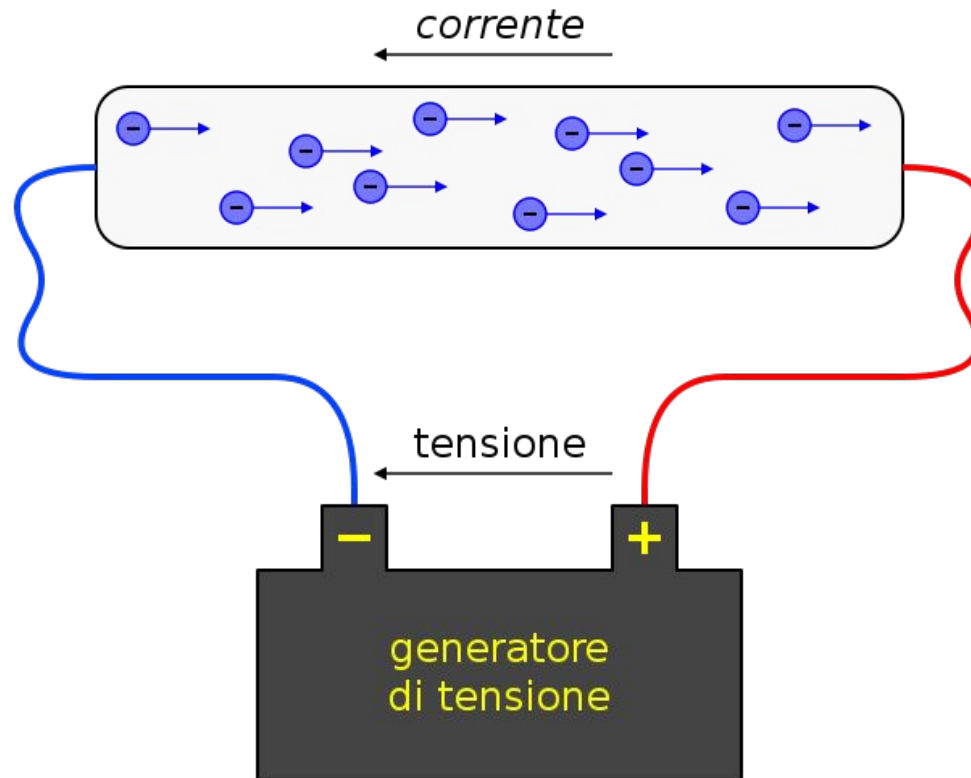
Электрический ток — упорядоченное движение электрически заряженных частиц.

Свободные заряды — электрически заряженные микрочастицы, не связанные с конкретными атомами или молекулами вещества и способные перемещаться в нем на расстояния, многократно превышающие размеры атомов и молекул.

В **металлах** свободными зарядами являются **электроны**, в **электролитах** — **ионы**, в **газах** — **электроны и ионы**, в **полупроводниках** — **электроны и дырки**.



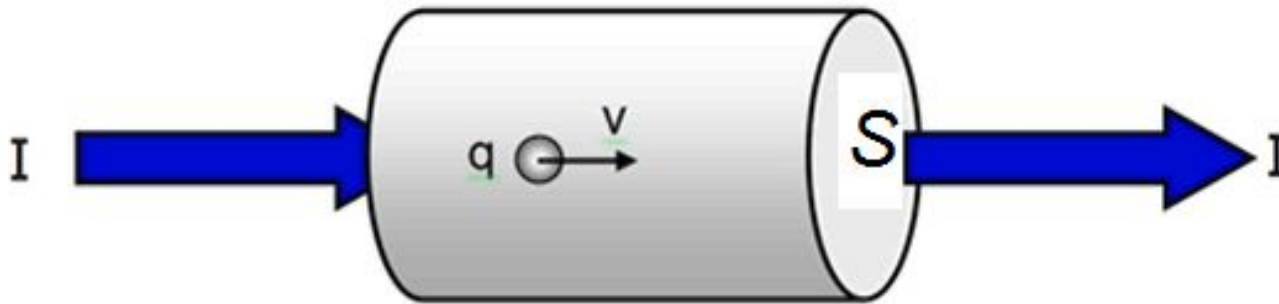
За **направление тока** принято направление движения **положительно** заряженных частиц. Поэтому, если ток обусловлен упорядоченным движением отрицательно заряженных частиц (например, электронов), то направление тока противоположно направлению упорядоченного движения этих частиц.



Характеристики тока:

Сила тока - скалярная величина, равная заряду, проходящему через поперечное сечение проводника в единицу времени; $[I]=A$:

$$I = q/t \quad (8.1)$$



Плотность тока — векторная величина, направление которой совпадает с направлением вектора скорости упорядоченного движения положительно заряженных частиц и численно равная заряду, проходящему в единицу времени через единицу площади поперечного сечения проводника; $[j]=A/m^2$.

$$|j| = \frac{q}{St}, \quad (8.2)$$

где S - площадь поперечного сечения.

Для металлических проводников плотность тока может быть рассчитана также по формуле

$$\vec{j} = ne\langle \vec{v} \rangle, \quad (8.3)$$

где n - концентрация свободных электронов;

e - элементарный электрический заряд;

$\langle \vec{v} \rangle$ - вектор средней скорости упорядоченного движения свободных электронов.

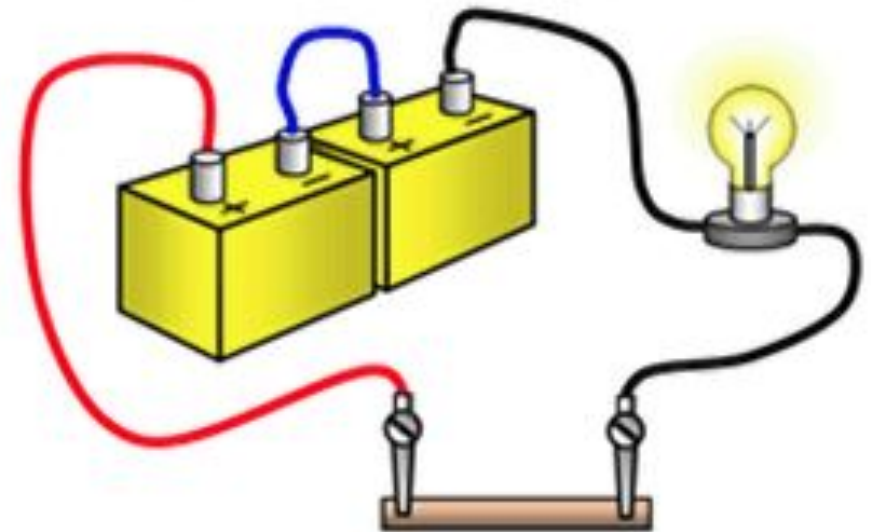
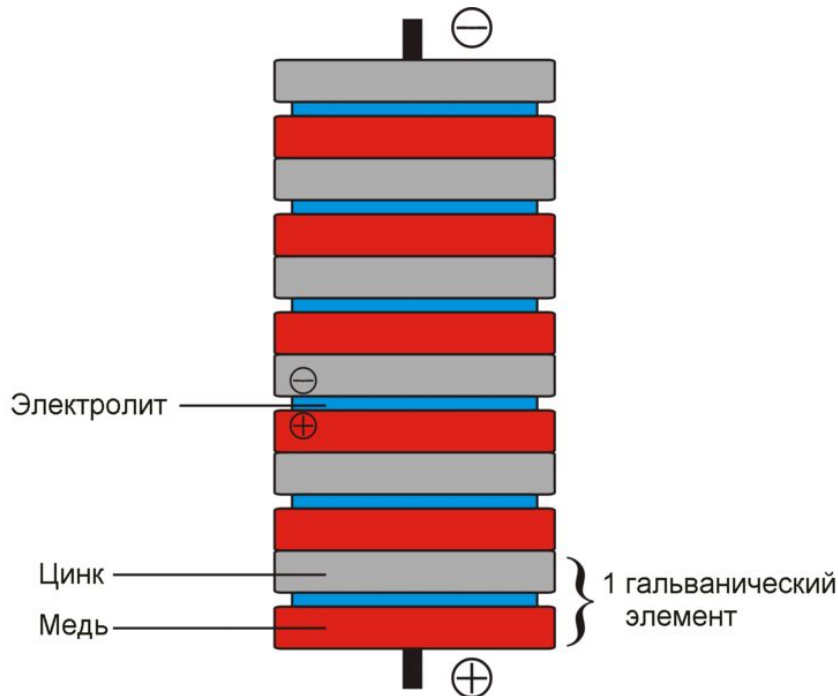
Для того чтобы вызвать в проводнике постоянный ток необходимо создать внутри проводника постоянное электрическое поле, что приводит к возникновению разности потенциалов на концах проводника. Приборы, способные поддерживать постоянную разность потенциалов в проводниках, называются **источниками постоянного тока**.

В источниках постоянного тока (за счет химических реакций, фотоэлектрического эффекта и т. д.) осуществляется пространственное разделение зарядов так, что на одном полюсе источника накапливается положительный заряд, а на другом полюсе – отрицательный заряд. Возникающее при этом электрическое поле внутри источника противодействует разделению зарядов, следовательно, разделение осуществляется силами, имеющими **неэлектростатическую** природу.

Сторонними силами называются неэлектростатические силы, под действием которых свободные заряженные частицы движутся внутри источника электрической энергии против сил электростатического поля, так что на концах внешней части цепи поддерживается постоянная разность потенциалов.

Электродвижущая сила (ЭДС) – скалярная величина, характеризующая действие сторонних сил в источниках тока и в замкнутой цепи равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного электрического заряда вдоль этой цепи:

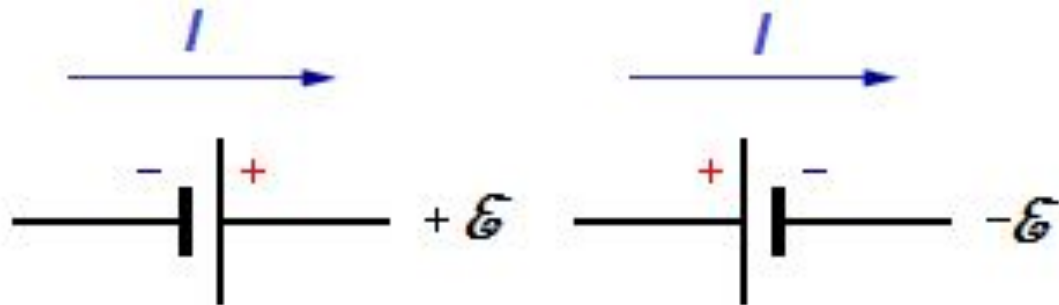
$$E = A_{\text{ст}} / q \quad . \quad (8.4)$$



Электрическое напряжение – скалярная величина, характеризующая суммарное действие электростатических и сторонних сил и равная работе, совершаемой результирующим полем электростатических и сторонних сил по перемещению единичного положительного электрического заряда вдоль данного участка электрической цепи:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathbf{E} , \quad (8.5)$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ - разность потенциалов на концах участка. Знак «+» берут тогда, когда ток внутри источника течет от **катода** (отрицательного полюса) к **аноду** (положительному полюсу); знак «-» - когда ток внутри источника течет от анода к катоду.



Электрическое сопротивление — скалярная величина, характеризующая противодействие электрическому току; $[R]=\text{Ом}$. Электрическое сопротивление зависит от материала проводника, его формы и размеров. Для цилиндра

$$R = \rho l / S \quad , \quad (8.6)$$

где ρ , l и S - удельное сопротивление материала, длина и площадь поперечного сечения проводника соответственно.

Удельное сопротивление металлов при температуре T :

$$\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha \Delta T) \quad , \quad (8.7)$$

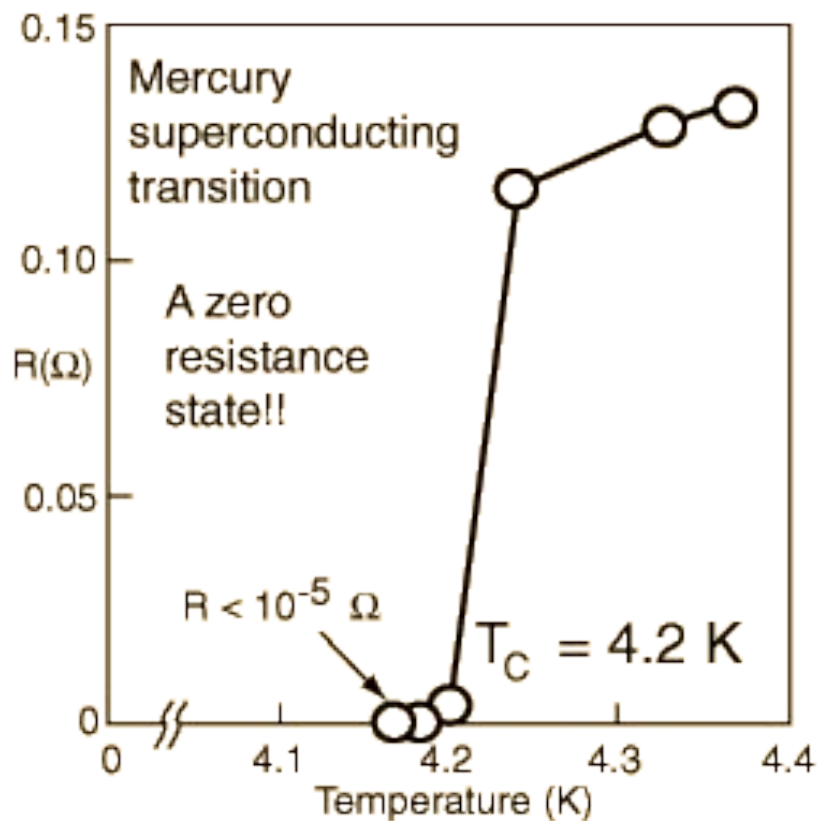
где ρ_0 - удельное сопротивление металла при температуре $T_0 = 273\text{K}$; α - температурный коэффициент сопротивления, $[\alpha] = \text{K}^{-1}$.

Формула (8.7) справедлива для металлов при не очень низких температурах ($T > 250\text{ K}$).

Сверхпроводимость - свойство некоторых материалов обладать **строгим нулевым электрическим сопротивлением** при достижении ими температуры ниже определённого значения. Здесь важно понять, что электросопротивление не становится «очень малым» или «близким к нулю», а исчезает полностью. Существует несколько десятков чистых элементов, сплавов и керамик, переходящих в сверхпроводящее состояние.

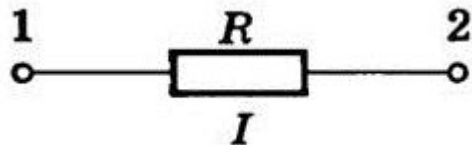
История открытия:

В 1911 г. голландский физик Камерлинг-Оннес обнаружил, что при охлаждении ртути в жидком гелии её сопротивление сначала меняется постепенно, а затем при температуре **4,2 К** резко падает до нуля.



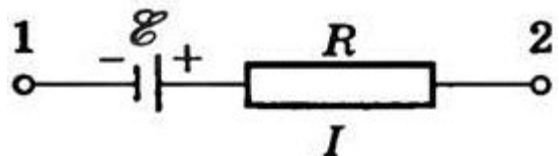
Закон Ома (Георг Ом, 1826 г.): сила тока в металлическом проводнике пропорциональна напряжению на концах проводника и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

Закон Ома для однородного участка цепи:



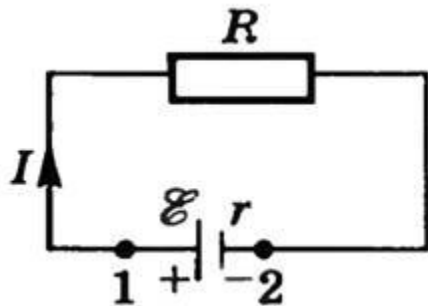
$$I = U/R = (\varphi_1 - \varphi_2)/R \quad (8.8)$$

Закон Ома для неоднородного участка цепи:



$$I = \frac{U}{R + r} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm E}{R + r} \quad (8.9)$$

Закон Ома для замкнутой цепи:

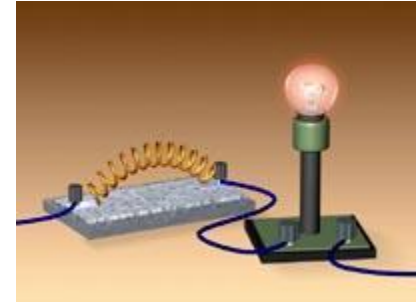


$$I = \frac{E}{R + r} \quad (8.10)$$

где r – сопротивление источника тока.

Тепловое действие тока. Закон Джоуля-Ленца (Джеймс Джоуль, 1841 г.; Эмилий Ленц, 1842 г.)

При протекании электрического тока по проводнику проводник нагревается. Это объясняется тем, что упорядоченно движущиеся по проводнику электрические заряды сталкиваются с ионами проводника и отдают им часть своей энергии.



В случае неподвижного проводника, по которому течет электрический ток, работа тока равна количеству теплоты, выделенному в проводнике. В соответствии с **законом Джоуля-Ленца** количество теплоты, выделяемое в проводнике, по которому течет ток, пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени протекания тока:

$$A = Q = IUt = I^2 R t = U^2 t / R \quad . \quad (8.11)$$

Мощность тока:

$$P = A/t = IU = I^2 R = U^2 / R \quad . \quad (8.12)$$

Законы Ома и Джоуля-Ленца в дифференциальной форме

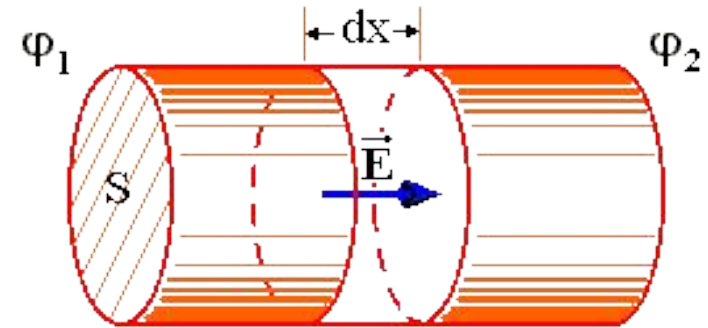
Уравнения (8.8)-(8.10) и (8.11)-(8.12) иногда называют законами Ома и Джоуля-Ленца в интегральной форме, т.к. величины, входящие в эти уравнения, относятся ко всему проводнику в целом.

Представленные в дифференциальной форме законы Ома и Джоуля-Ленца определяют входящие в них величины в каждой точке проводника.

Закон Ома в дифференциальной форме:

Плотность тока проводимости в данной точке проводника пропорциональна напряженности электрического поля в этой точке

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} = \frac{1}{\rho} \vec{E} . \quad (8.13)$$



Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме: объемная плотность тепловой мощности тока в данной точке проводника пропорциональна квадрату напряженности электрического поля в этой точке

$$w = \frac{Q}{Vt} = \gamma E^2 = \frac{1}{\rho} E^2 = \vec{j} \cdot \vec{E} . \quad (8.14)$$