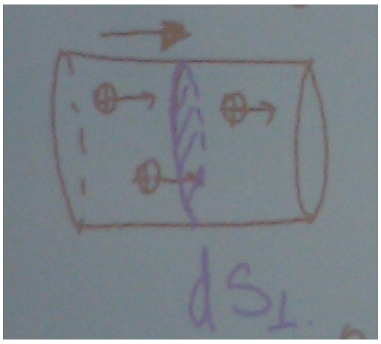
Постоянный электрический ток.
Параграф 1.
Сила тока.
Плотность тока.
Связь плотности тока со скоростью упорядоченного движения заряженных частиц.
Направленное движение заряженных частиц.

Условия существования тока:
1. Наличие в веществе свободных зарядов(вещество — проводник)
2. Присутствие в проводнике электрического поля, действующего на заряженные частицы и поддерживающее их направленное движение (E).

За направление тока принимается движение положительно заряженной частицы.

Характеристика тока:
1. Сила тока(скаляр) - I
2. Плотность тока(вектор) - $\vec{J}$

Определение:



Рассмотрим участок проводника, по которому течёт электрический ток. Выделим в проводнике бесконечно-малую поверхность $dS_{\perp}$. Пусть за промежуток времени Δt через поперечное сечение проводника проходит заряд Δq . Средняя сила тока: $I_{cp}=\frac{\Delta q}{\Delta t}$;

$$I=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$\left(\lim_{\Delta x\to 0}\frac{f(x_0+\Delta x)-f(x_0)}{\Delta x}=f'(x_0)\right)$$

$$I=q'(t)=\frac{dq}{dt}$$

Сила тока — производная от заряда по времени.
Сила тока характеризует быстроту протекания заряда.

$$[I]=\frac{Кл}{c}=A$$

$$1Кл=1\text{А}\cdot 1\text{с}$$

Ток называется постоянным, если $I(t)=const$, то есть сила тока не зависит от времени.

Плотность тока

Плотностью тока называется векторная величина, направленная в сторону скорости движения заряженных частиц.

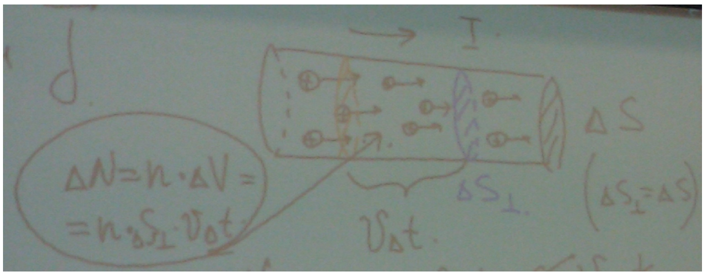
Определение: $\vec{J} \uparrow\uparrow \vec{V}_{частиц}$

$$|\vec{j}| = \lim_{\Delta t \to 0;\, \Delta S_{\perp}} \frac{\Delta q}{\Delta t \Delta S_{\perp}} \quad , \quad j = \frac{dq}{dtdS_T}$$

$$[j] = \frac{Кл}{с \cdot м^2} = \frac{A}{м^2}$$

Плотность тока характеризует величину заряда, протекающего за единицу времени, через единицу площади поперечного сечения.

Если $I = const \Rightarrow j = \dfrac{I}{S_{\perp}}$



Установим связь, между скоростью направленного движения($\vec{V}$) и плотностью тока.
$\vec{V}$ и $\vec{J}$

Зафиксируем Δt .
Попытаемся понять, какие заряды успеют за время Δt пройти через это сечение.
Заряды, находящиеся внутри этого цилиндрика за время Δt успеют проскочить через $\Delta S_{\perp}$

$$\Delta N = n \cdot \Delta V = n \cdot \Delta S_{\perp} \cdot V \Delta t$$

n - концентрация

$$j = \frac{\Delta q}{\Delta t \cdot \Delta S_{\perp}} = \frac{q_0 \Delta N}{\Delta t \cdot \Delta S_{\perp}} = \frac{q_0 h \Delta S_{\perp} V \Delta t}{\Delta t \Delta S_{\perp}} = q_0 h V$$

$$\vec{j} \uparrow\uparrow \vec{V} \Rightarrow \vec{j} = q_0 n \vec{V}$$

$$\vec{E} : V \sim E \qquad \vec{V} = \mu \vec{E}$$

Коэффициент μ - подвижность носителей
Подвижность зависит от химического состава и условий.

$$\Rightarrow j = q_0 n \mu \vec{E}$$

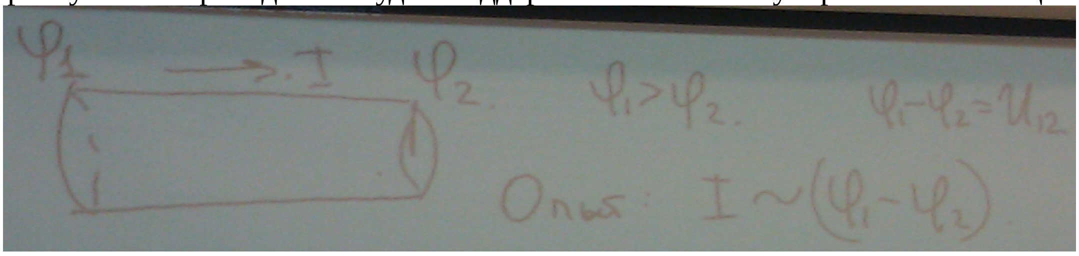
Если ток создается носителями двух типов, например положительными и отрицательными ионами, то плотность будет складываться из суммы этих токов и умножить на $\vec{E}$.

$$\vec{j} = \vec{j}_+ \ \vec{j}_- \Rightarrow \vec{j} = (q_+ n_+ \mu_+ + q_- n_- \mu_-) \vec{E}$$

Закон Ома для однородного участка цепи.
Закон Ома в дифференциальной форме.

Определение: Однородный участок цепи(проводника) — это участок, при движении по которому на заряды действуют только электрические силы(нет сторонних сил).

Рассмотрим участок проводника. Будем поддерживать постоянную разность потенциалов.



Опыт показывает, что в проводнике сила тока, которая здесь течёт пропорциональна разности потенциалов: $I \sim (\varphi_1 - \varphi_2)$.

Коэффициент пропорциональности $G_{1,2} \Rightarrow I = G_{1,2} \cdot U_{12}$

G — проводимость.

$R_{12} = \frac{1}{G_{12}}$ — сопротивление участка $\Rightarrow$ $I = \frac{U_{12}}{R_{12}}$

Проводимость и сопротивление (G и R) участка зависит от химического состава, формы и размеров и температуры.

Для проводника цилиндрической формы, соединение

$R = \rho \frac{l}{S}$ - для цилиндрического проводник

ρ — удельное сопротивление

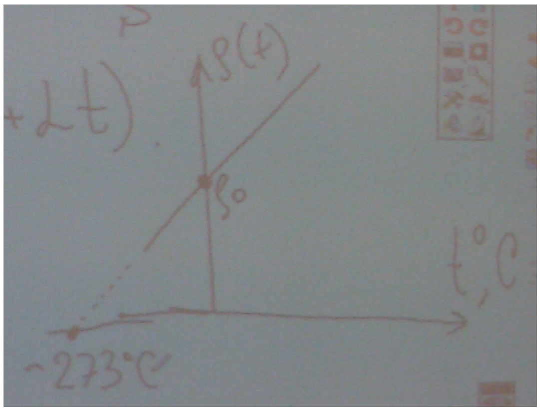
$Cu' \rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}\, Ом \cdot м$ $\quad R \sim l$

$Al : \rho = 2{,}3 \cdot 10^{-8}\, Ом \cdot м$ $\quad R \sim \frac{1}{S}$

Удельное сопротивление ρ зависит от температуры, эта функция возрастающая: $\rho(t) \uparrow$, эта зависимость имеет такой вид $\rho(t) = \rho_0 (1 + \alpha t)$. Чем выше температура, тем выше сопротивление.

$\rho_0 = \rho(t = 0^o C)$

α — температурный коэффициент сопротивления, показывает быстроту роста удельного сопротивления с ростом температур

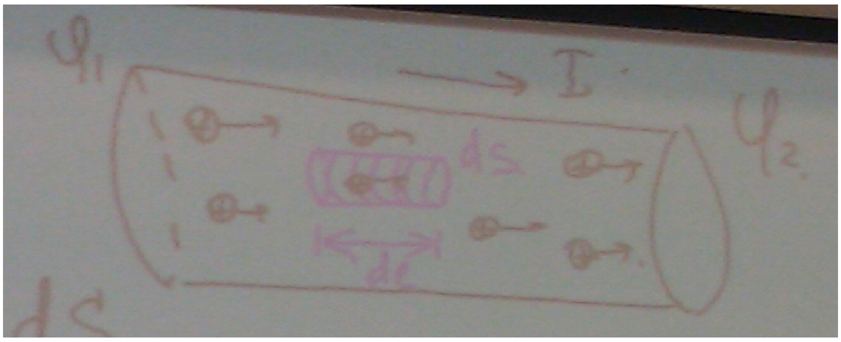


Закон Ома в дифференциальной форме

Закон Ома для участка в цепи вида $I=\frac{U_{12}}{R_{12}}$, справедлив для некоторого объема между точками 1 и 2. Формулы, относящиеся к объему называются интегральными. Поэтому этот закон Ома можно назвать законом в интегральной форме.

Попробуем получить аналогичную формулу, относящуюся не к объему, а к точке проводника.

Такая форма записи называется дифференциальной.
В проводнике с током, выделим бесконечно малый цилиндр с осью, параллельной скорости движения частиц.



$dl\,; dS \Rightarrow dV = dl \cdot dS$

$dR=\rho\frac{dl}{dS}$

$dU_{12}=dR_{12}\cdot dI$

$dU_{12}=E\cdot dL$

$dI=j\,dS$

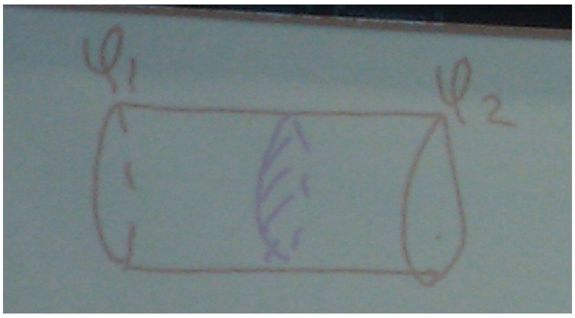
$\Rightarrow\rho\frac{dl}{dS}jdS=E\cdot dL \Rightarrow \rho\, j=E \Rightarrow \vec{j}=\frac{1}{\rho}\vec{E}$ - закон в дифференциальной форме.

$\sigma=\frac{1}{\rho}$ — удельная проводимость вещества

$[\sigma]=\frac{1}{Ом\cdot м} \Rightarrow \vec{j}=\sigma\vec{E}$

Плотность тока в проводнике пропорциональна напряженности. Эта формула относится к любой точке проводника.

Закон Джоуля-Ленца



Рассмотрим однородный участок проводника с разностью потенциалов $\varphi_1-\varphi_2$.
Пусть за время Δt через поперечное сечение протекает заряд Δq
За $\Delta t\, \Delta q \Rightarrow \Delta q=I\,\Delta t$

Электрическое поле за это время совершит работу.

$\Delta A=\Delta q(\varphi_1-\varphi_2)=I(\varphi_1-\varphi_2)\Delta t=I\,U_{12}\Delta t$

ΔA — работа тока за время Δt

$\Delta A=I\,U_{12}\Delta t=\frac{U_{12}^2}{R_{12}}\Delta t=I^2R_{12}\Delta t$

Мощность тока: $N=\frac{\Delta A}{\Delta t} \Rightarrow N=I\,U_{12}=\frac{U_{12}^2}{R_{12}}=I^2R_{12}$

Единственным результатом совершения работы является нагревание проводника, то есть выделение тепла.

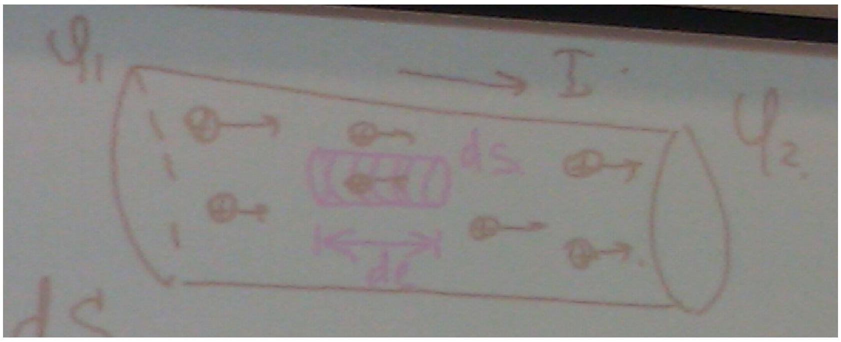
$$\Delta A=\Delta Q \;\Rightarrow\; \Delta Q=I\,U_{12}\Delta t=\frac{U_{12}^2}{R_{12}}\Delta t=I^2 R_{12} t$$

ΔQ — количество теплоты выделяемое за время Δt
Эта форма записи называется интегральной.

Получим закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме, то есть относящиеся к точке проводника.

Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме

Выделим в проводнике бесконечно малый цилиндр. Ось цилиндра параллельна направлению тока.



$$dV=dl\cdot dS$$

$$dR=\rho\frac{dl}{dS}$$

Запишем для этого цилиндрика закон Джоуля-Ленца.

$$dQ=(dI)^2 dR\,dt$$

$$dI=jdS$$

$$\Rightarrow\; dQ=(jdS)^2\cdot\rho\frac{dl}{dS}\cdot dt$$

$$dQ=j^2 dS\cdot dS\cdot\rho\frac{dl\cdot dt}{dS}$$

$$dQ=j^2\rho\cdot dV\cdot dt$$

$$w=\frac{\lim\limits_{\Delta V\to 0;\Delta t\to 0}\Delta Q}{\Delta V\,\Delta t}$$

Количество тепла, выделяющееся за единицу времени, за единицу объема. Эта величина называется удельная тепловая мощность.

$$\frac{dQ}{dV\,dt}=j^2\rho \;\Rightarrow\; w=j^2\rho$$

По закону Ома: $j=\sigma E$, то $w=(\sigma E)^2\rho \;\Rightarrow\; w=\sigma E^2$ ($\rho=\frac{1}{\sigma}$) - закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме.