

## Раздел II. Электричество и магнетизм.

### Глава 7. Законы постоянного тока.

#### 1. Электрический ток.

Ток – направленное движение зарядов. Для протекания тока необходимо:

а) в среде должны быть свободные заряды (электроны, ионы, ...)

б) в среде должно быть электрическое поле (это не противоречит электростатике, так как заряды двигаются, а это не статика)

в) электрическая цепь должна быть замкнута (иначе заряды будут накапливаться на концах → появится кулоновское поле → оно прекратит движение зарядов)

Сила тока:

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad \left[ \frac{Кл}{с} = А \right]$$

Заряд, проходящий через сечение проводника за ед. времени

Плотность тока:

$$\vec{j} = q n \vec{u} \quad \left[ \frac{А}{м^2} \right]$$

q – заряд свободного носителя со знаком

n – концентрация свободных зарядов

$\vec{u}$  – скорость направленного движения

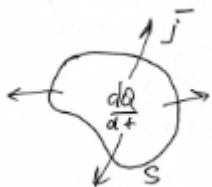
$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

Усредненная плотность тока по сечению проводника:

$$j = \frac{I}{S} \quad \text{где } S \text{ – площадь поперечного сечения проводника}$$

#### 2. Уравнение непрерывности.

а) В интегральной форме



Пусть из области, ограниченной замкнутой поверхностью S вытекает

ток, тогда  $\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = -\frac{dQ}{dt}$

$\frac{dQ}{dt}$  изменение заряда внутри S за счет вытекания

тока ( $\frac{dQ}{dt} < 0$ )

б) В дифференциальной форме

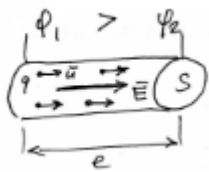
$$\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = -\frac{dQ}{dt}$$

$$\oint_V \operatorname{div} \vec{j} dV = -\frac{d}{dt} \int_V \rho dV$$

⇓

$$\boxed{\operatorname{div} \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0}$$

### 3. Закон Ома.



Свободные заряды под действием эл.

поля двигаются с ускорением  $\bar{a} = \frac{q\bar{E}}{m}$

Средняя скорость направленного

движения  $\bar{u} = \frac{\bar{a}\tau}{2} = \frac{q\tau\bar{E}}{2m}$

Где  $\tau$  – среднее время между столкновениями свободных зарядов со средой (кристаллической решеткой в металлах, ионами в плазме ...)

Плотность тока:

$$\vec{j} = qn\bar{u} = \frac{q^2 n \tau}{2m} \bar{E} = \sigma \bar{E}$$

⇓

Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\boxed{\vec{j} = \sigma \bar{E}} \quad \sigma - \text{проводимость среды}$$

$$\boxed{\sigma = \frac{q^2 n \tau}{2m}}$$

$$\boxed{\rho = \frac{1}{\sigma}} \quad \rho - \text{удельное сопротивление}$$

Заменяя в диф. законе Ома  $j = \frac{I}{S}$  ;  $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l} = \frac{U}{l}$  ;

$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{l}{\sigma S}$  получаем школьный закон Ома:

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

### 4. Закон Джоуля-Ленца

При протекании тока в среде в ней выделяется тепло. В тепло превращается кинетическая энергия свободных зарядов при столкновениях со средой.

За единицу времени в единичном объеме вещества выделится тепло:

$$w = n \cdot \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{1}{\tau} = n \frac{m(a\tau)^2}{2} \cdot \frac{1}{\tau} = \frac{nm\tau}{2} \left( \frac{qE}{m} \right)^2 = \frac{q^2 n \tau}{2m} E^2 = \sigma E^2$$

Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме:

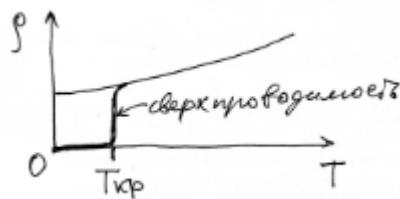
$$w = \sigma E^2 = \vec{j} \cdot \vec{E} = \frac{j^2}{\sigma} = \rho j^2$$

Во всем проводнике выделится тепло:

$$Q = w \cdot V \cdot t = \rho j^2 \cdot l \cdot S t = \rho l \frac{I^2}{S^2} S t = R I^2 t$$

$$Q = R I^2 t \quad [\text{Дж}] \quad \text{з-н Джоуля-Ленца в интегральной форме (школьный)}$$

## 5. Зависимость сопротивления металлов от температуры. Сверхпроводимость.



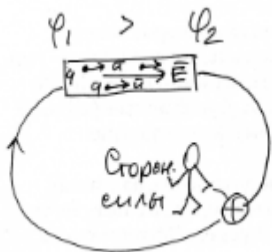
Сверхпроводимость была обнаружена на ртути (Hg) в 1911г. Ею обладают Pb, Sn, Zn, Al и некоторые другие металлы

$$T_{кр} \sim 1-10^\circ K$$

Недавно 1980-90 гг. была обнаружена высокотемпературная сверхпроводимость для керамик

Пример:  $(Y_{0,6}Ba_{0,4})_2CuO_4$   $T_{кр} \sim 100^\circ K$  ( $T_{кипения азота} = 77,4^\circ K$ )

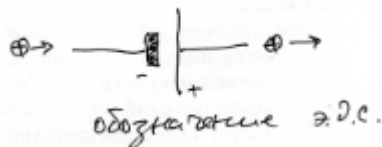
## 6. Э.д.с



Что бы в замкнутой цепи тек ток, необходимы сторонние силы (не электростатического происхождения), чтобы перетащить заряд от меньшего потенциала  $\phi_2$  к большему  $\phi_1$

Э.д.с = работе сторонних сил над единичным положительным зарядом

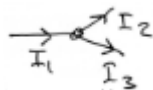
$$\varepsilon = \frac{A_{стор}}{q}$$



7. Правила Кирхгофа используются для расчета разветвленных электрических цепей.

1. Сумма токов входящих в узел = сумме токов

выходящих



$$I_1 = I_2 + I_3$$

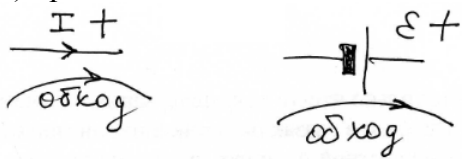
2. В любом замкнутом контуре алгебраическая сумма падений напряжений равна алгебраической сумме

э.д.с

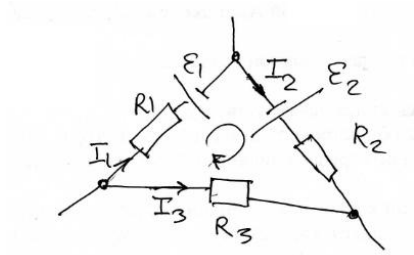
$$\sum I_K R_K = \sum \varepsilon_i$$

Алгоритм:

- а) произвольно расставляют направления токов
- б) произвольно выбирают направления обхода контура
- в) правило знаков



Пример:



$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 = -\varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

Если направление токов угаданы были не верно, то они получатся отрицательными.

### Вопросы:

1. Что такое сила тока?
2. Что такое плотность тока?
3. Закон Ома в дифференциальной форме
4. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме
5. Что такое сверхпроводимость?
6. Что такое ЭДС?
7. Правила Кирхгофа
8. Уравнение непрерывности в интегральной форме
9. Уравнение непрерывности в дифференциальной форме