

## Билет 2.

### Электрический ток. Сила тока. Плотность тока. Закон Ома для однородного участка цепи.

**Электрический ток** — упорядоченное, направленное движение заряженных частиц.

Электрический ток происходит только тогда, когда происходит перенос электрических зарядов с одного места в другое. Электрический заряд перемещается через поперечное сечение проводника в определенную сторону, если электроны участвуют в упорядоченном движении, а не только в хаотичном. В таком случае *устанавливается электрический ток*.

Электрический ток может возникать не только при движении свободных электронов в металлах, но и при упорядоченном движении положительных и отрицательных ионов в водных растворах и расплавах электролитов, ионов и электронов в газах, при падении заряженных капель дождя, при движении заряженного эбонитового стержня.

#### Направление электрического тока

За направление электрического тока принимают *направление движения положительно заряженных частиц*. Поэтому направление тока, образованного из отрицательно заряженных частиц, считают противоположным движению частиц.

#### Действия электрического тока

##### 1. Тепловое действие тока

Проводник, по которому течет ток нагревается. За счет этого нагревается спираль в электроплите, утюге, раскаляется добела вольфрамовая нить в лампочке.

##### 2. Химическое действие тока

Электрический ток способен изменять химический состав проводника. Так, при прохождении тока через раствор медного купороса, медь выделяется из раствора.

##### 3. Магнитное действие тока

Магнитная стрелка, расположенная рядом с проводником, будет поворачиваться перпендикулярно проводнику. Если намотать проволоку на гвоздь, то при пропускании тока через проволоку, гвоздь становится магнитом. На этом действии основаны механизмы электродвигателей, генераторов, трансформаторов, электрических измерительных приборов.

Магнитное действие тока является основным, так как оно сопровождает ток всегда. Химическое действие будет проявляться только при пропускании через некоторое вещество, а нагревание будет отсутствовать при пропускании тока через сверхпроводники.

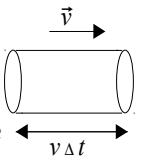
#### Плотность тока

Введем понятие плотности электрического тока для упорядоченного движения одинаковых заряженных частиц. Выделим в среде с током малый цилиндр с площадью основания  $\Delta S$ . Ориентируем цилиндр так, чтобы основания были перпендикулярны вектору скорости движения частиц  $\vec{v}$ . Под скоростью в малом объеме  $\Delta V$

подразумевается отношение векторной суммы скоростей частиц к их количеству в этом объеме  $\vec{v} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{v}_i}{N}$ .

Если частицы двигались бы хаотично, средняя скорость была бы равна нулю.

Пусть высота цилиндра равна пути  $v \Delta t$ , который проходит частица за время  $\Delta t$ . Тогда за это время пересекут правое основание цилиндра все заряженные частицы внутри цилиндра. Пусть  $n$  — концентрация частиц. Через площадь  $\Delta S$  за время  $\Delta t$  будет перенесен заряд  $\Delta q = q_0 n v \Delta t \Delta V$ , где  $q_0$  — заряд одной частицы.



**Вектор плотности тока**  $\vec{j}$  — вектор, направление которого совпадает с направлением скорости упорядоченного движения заряженных частиц, а модуль равен отношению заряда, переносимого за время  $\Delta t$  через сечение площадью  $\Delta S$ , расположенное перпендикулярно к скорости движения, к произведению  $\Delta S$  и  $\Delta t$ .

$\vec{j} = q_0 n \vec{v}$  или  $\vec{j} = \rho \vec{v}$ , где  $\rho$  — пространственная плотность электрического заряда.  $j = \left[ \frac{A}{m^2} \right]$

Вектор плотности тока — дифференциальная характеристика поля: он определяет переносимый заряд через малую площадку в проводящей среде и направление движения заряженных частиц.

#### Сила тока

**Сила тока** — отношение заряда  $\Delta q$ , переносимого через поперечное сечение проводника площадью  $S$  за промежуток времени  $\Delta t$ , к этому промежутку.  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$   $I = [A] = \left[ \frac{Kл}{c} \right]$ ; 1 ампер

**Мгновенная сила тока** — предел отношения электрического заряда  $\Delta q$ , прошедшего через поперечное сечение проводника, к этому промежутку времени  $\Delta t$ , стремящемуся к нулю.  $I_{мгн} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t}$

Постоянный электрический ток — электрический ток, сила тока которого не меняется с течением времени.

Сила постоянного тока численно равна заряду, проходящему через поперечное сечение проводника за 1 с.  $I = \frac{q}{t}$

Знак силы тока

$I > 0$  , если направление тока совпадает с выбранным положительным направлением проводника

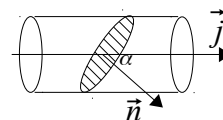
$I < 0$  , если направление тока не совпадает с выбранным положительным направлением проводника

Сила тока при равномерном распределении плотности тока по сечению проводника  $I = S j \cos \alpha$  .

Знак силы тока определяется косинусом угла между нормалью к сечению и вектором плотности тока.

Направление нормали совпадает с направлением «обхода».

Если угол равен нулю:  $I = S j = |q_0| n v S > 0$  .



### Скорость упорядоченного движения электронов в металлическом проводнике

Найдем скорость упорядоченного перемещения электронов в металлическом проводнике.

$$v = \frac{j}{|q_0| n} = \frac{j}{e n}$$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{m N_A}{\mu V} = \frac{\rho N_A}{\mu}$$

$$v = \frac{j \mu}{e \rho N_A}$$

Для меди возьмем максимально допустимое

значение  $j = 10^7 \frac{A}{m^2}$  ,  $\rho = 8900 \frac{кг}{м^3}$  ,

$$\mu = 0.0635 \frac{кг}{моль} , v = 7.4 \cdot 10^{-4} \frac{м}{с}$$

Скорость направленного движения оказалась очень мала

### Электрическое поле проводника с током

Условия возникновения и поддержания электрического тока:

1. Наличие свободных заряженных частиц (носителей заряда).
2. Причины, вызывающие упорядоченное движение заряженных частиц.

Чтобы помехи движению частиц в веществе (столкновения с ионами КР, столкновения с другими частицами) не прекращали упорядоченного движения, необходима сила, действующая на частицы в определенном направлении.

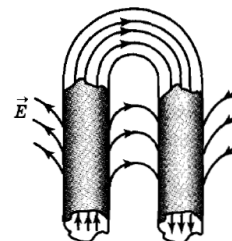
На заряженные частицы действует электрическое поле с силой  $\vec{F} = q \vec{E}$  . Обычно именно электрическое поле служит причиной упорядоченного движения заряженных частиц.

Если внутри проводника существует электрическое поле, то между концами проводника существует разность потенциалов. Постоянным ток будет, если разность потенциалов не будет меняться.

Устройства, создающие и поддерживающие разность потенциалов на концах проводника, называются источниками или генераторами.

### Электрическое поле внутри проводника с током

Сила тока не зависит от формы проводника, а следовательно не зависит и скорость движения электронов в проводнике. При этом скорость зависит от силы, действующей на электроны, то есть от напряженности электрического поля внутри проводника. Значит, напряженность поля во всех сечениях проводника одинакова по модулю и не зависит от формы проводника. Линии напряженности электрического поля на протяжении всего проводника параллельны его поверхности. Они не могут пронизывать поверхность проводника и при любой форме проводника повторяют его изгибы.



### Электрическое поле вне проводника с током

Линии напряженности вне проводника перпендикулярны поверхности, поверхность проводника эквипотенциальна. Так как вдоль проводника с током потенциал меняется (от самого большого к самому маленькому), есть составляющая напряженности, направленная вдоль проводника. Следовательно, линии напряженности вне проводника располагаются под углом к его поверхности. В отличие от внутреннего поля внешнее может иметь более сложную структуру. Оно зависит от формы проводника, расположения источника тока и окружающих тел.

### Стационарное электрическое поле

**Стационарное электрическое поле** — поле, в котором внутри и вне проводника электрическое поле не меняется с течением времени (т. е. при постоянной силе тока).

Поле не меняется с течением времени, так как плотность зарядов остается неизменной.

### Закон Ома для участка цепи

Разность потенциалов между концами проводника определяет силу тока в нем:  $I = f(\varphi_1 - \varphi_2)$  .

Эта зависимость называется *вольт-амперной характеристикой проводника*.

В 1826 году Георг Ом установил вид наиболее простой вольт-амперной характеристикой металлических проводников и электролитов.

Рассмотрим участок цепи 1-2. Пусть положительное направление — слева направо.

Тогда напряжение равно  $U = \varphi_1 - \varphi_2$  .

Если напряжение больше нуля, ток течет в положительного направлении, тогда и сила тока более нуля.

Ом экспериментально установил, что сила тока прямо пропорциональна напряжению:  $U \sim I$  .

Закон Ома можно записать в виде равенства  $I = G U$  , где  $G$  - проводимость проводника.

**Закон Ома** — сила тока в проводнике прямо пропорциональна проводимости проводника и напряжению на его концах.

