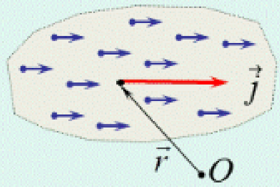
61. Плотность и сила тока. Основы теории Друде для классической электропроводности металлов (плотность тока в проводнике)

Электрическим током называется всякое упорядоченное движение электрических зарядов (заряженных частиц).

В проводящей среде, где организован электрический ток, распределение зарядов может изменяться не только от точки к точке этой среды, но и со временем.



Поэтому в общем случае объемная плотность заряда ρ является функцией координат и времени: $\rho = \rho(\vec{r}, t)$.

Основной количественной характеристикой электрического тока в точке является ***вектор плотности тока*** $\vec{j}$, равный:

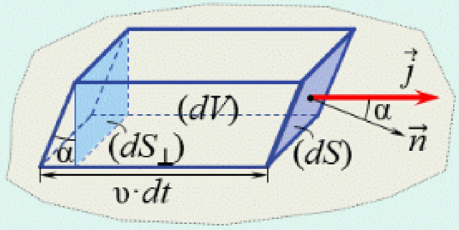
$$\boxed{\vec{j} = \rho \cdot \vec{\upsilon},} \qquad (10.31)$$

где $\rho = \rho(\vec{r}, t)$ и $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}(\vec{r}, t)$ – соответственно объемная плотность и скорость упорядоченного движения заряда в точке с радиус-вектором $\vec{r}$ в момент времени t.

В СИ $[j] = \text{А/м}^2$.

В общем случае в каждой точке области тока $\vec{j}$ зависит от координат и времени: $\vec{j} = \vec{j}(\vec{r}, t)$.

<u>Физический смысл $|\vec{j}|$.</u>



В области тока выделим площадку (dS). Проходящий через (dS) за время dt заряд по величине равен заряду $|dq|$, содержащемуся в косоугольном параллелепипеде длиной $\upsilon \cdot dt$ и основанием (dS):

$$|dq| = |\rho| \cdot dV = |\rho| \cdot dS_\perp \cdot \upsilon \cdot dt = \left| \begin{array}{c} \text{из (10.31)}: \\ |\vec{j}| = |\rho| \cdot \upsilon \end{array} \right| = |\vec{j}| \cdot dS_\perp \cdot dt, \qquad (10.32)$$

где $dV = dS_\perp \cdot \upsilon \cdot dt$ – объем параллелепипеда,

$dS_\perp = dS \cdot \cos\alpha$ – площадь его ортогонального сечения,

α – угол между $\vec{j}$ и вектором нормали $\vec{n}$ к (dS).

Из (10.32) следует, что

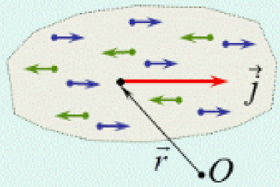
$$|\vec{j}| = \frac{|dq|}{dS_\perp \cdot dt} \qquad (10.33)$$

– модуль вектора плотности тока $|\vec{j}|$ численно равен заряду, проходящему в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению тока.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Кафедра физики

Заряженные частицы, образующие электрический ток, называются ***носителями тока*** (электроны, протоны, положительно и отрицательно заряженные ионы и т. д.).

Из (10.31) следует, что если $\begin{cases} \rho > 0, & \text{то} \quad \vec{j} \uparrow\uparrow \vec{\upsilon}, \\ \rho < 0, & \text{то} \quad \vec{j} \uparrow\downarrow \vec{\upsilon}. \end{cases}$



Когда ток образован зарядами разных знаков, то

$$\vec{j} = \rho^{(+)} \cdot \vec{\upsilon}^{(+)} + \rho^{(-)} \cdot \vec{\upsilon}^{(-)}, \qquad (10.34)$$

где $\rho^{(+)}$ и $\rho^{(-)}$ – объемная плотность положительного и отрицательного заряда соответственно;

$\vec{\upsilon}^{(+)}$ и $\vec{\upsilon}^{(-)}$ – скорость упорядоченного движения положительного и отрицательного заряда соответственно.

Из (9.14):

$$\rho = \frac{dq}{dV} = \left| \; dq = dN \cdot q_0 \; \right| = \frac{dN}{dV} \cdot q_0 = n \cdot q_0, \qquad (10.35)$$

где dN – количество носителей тока в малом объеме dV;

q_0 – заряд каждого из носителей тока;

$n = dN/dV$ – концентрация носителей тока.

(10.35) → в (10.34):

$$\boxed{\vec{j} = n^{(+)} \cdot q_0^{(+)} \cdot \vec{\upsilon}^{(+)} + n^{(-)} \cdot q_0^{(-)} \cdot \vec{\upsilon}^{(-)},} \qquad (10.36)$$

где индексы (+) и (–) обозначают принадлежность величин к положительно и отрицательно заряженным носителям тока.

Сила тока *I* – скалярная физическая величина, численно равная заряду, переносимому через произвольную поверхность в единицу времени:

$$\boxed{I = \pm\frac{|\delta q|}{dt},} \qquad (10.37)$$

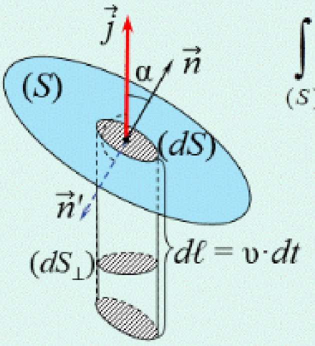
где $|\delta q|$ – величина заряда, проходящего через произвольную поверхность за малый промежуток времени dt.

В СИ $[I]$ = А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Кафедра физики

Найдем связь между силой тока I и вектором плотности тока $\vec{j}$.

Рассмотрим ориентированную поверхность (S), через которую проходит ток и вычислим поток вектора $\vec{j}$ через (S):



$$\int\limits_{(S)} (\vec{j}, \vec{n})dS = \int\limits_{(S)} j \cdot dS \cdot \cos\alpha = \left| \begin{array}{c} \text{из (10.31)} \Rightarrow j = |\rho| \cdot \upsilon \\ dS \cdot \cos\alpha = \pm dS_\perp \end{array} \right| =$$

$$= \pm \int\limits_{(S)} |\rho| \cdot \upsilon \cdot dS_\perp = \left| \upsilon = \frac{d\ell}{dt} \right| = \pm \int\limits_{(S)} \frac{|\rho| \cdot d\ell \cdot dS_\perp}{dt} =$$

$$= \left| \begin{array}{c} d\ell \cdot dS_\perp = dV \\ |\rho| \cdot dV = |dq| \end{array} \right| = \pm \int\limits_{(S)} \frac{|dq|}{dt} = \frac{\pm \int\limits_{(S)} |dq|}{dt} = \pm \frac{|\delta q|}{dt} = I,$$

где $\int\limits_{(S)} |dq| = |\delta q|$ – полный заряд, переносимый через (S) за время dt.

Сила тока I, идущего через поверхность (S), равна потоку вектора плотности тока $\vec{j}$ через эту поверхность:

$$\boxed{I = \int\limits_{(S)} (\vec{j}, \vec{n})dS.} \qquad (10.38)$$