

22. Электрический ток. Закон сохранения заряда.

Электрический ток представляет собой перенос заряда носителями тока через ту или иную поверхность (например, через сечение проводника). В металлах носителями тока являются электроны, в полупроводниках – электроны и дырки, в электролитах – положительные и отрицательные ионы, в ионизованных газах и плазме – ионы и электроны.

При отсутствии электрического поля носители тока хаотически движутся в различных направлениях и электрический ток в среде равен нулю. Например, если рассматриваемая среда – ионизованный газ или электролит, то распределение носителей тока по скоростям выражается максвелловским законом распределения скоростей.

В металлах носителями тока являются электроны – заряженные частицы с полужелтым спином. Поведение таких частиц подчиняется статистике Ферми – Дирака, отличающейся от распределения Максвелла - Больцмана, но формула для среднего значения вектора скорости справедлива и для них. Таким образом в проводнике возникает **электрический ток** – упорядоченный перенос электрических зарядов. Количественной мерой электрического тока служит **сила тока I** , которая численно равна заряду, переносимому сквозь некоторую поверхность S внутри проводника в единицу времени:

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Единицей измерения силы тока является ампер (А): $[I] = \frac{[q]}{[t]} = \frac{\text{Кл}}{\text{с}} = \text{А}.$

Для обозначений: e – заряд носителя тока, n – концентрация носителей тока, \vec{u} – скорость упорядоченного движения носителей, бесконечно малая площадка dS , заряд dq , время dt .

Через площадку dS за время наблюдения dt переносится заряд, равный: $dq = n \cdot e \cdot \vec{u} \cdot dt \cdot d\vec{S}.$

Следовательно, **величина силы тока**, протекающего через выбранную нами площадку в проводящей среде, равна:

$$dI = \frac{dq}{dt} = n \cdot e \cdot \vec{u} \cdot d\vec{S},$$

Первые три множителя в последнем выражении являются характеристиками среды, по которой протекает электрический ток, их можно объединить в одну величину – **вектор плотности тока**:

$$\vec{j} = n \cdot e \cdot \vec{u}.$$

Электрический ток может быть распределён по поверхности, через которую он протекает, неравномерно. Зная вектор плотности тока в каждой точке интересующей нас поверхности S , можно найти и силу тока через эту поверхность как поток вектора плотности тока \vec{j} :

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

Для замкнутых поверхностей соответственно:

$$I = \oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}.$$

Закон сохранения электрического заряда

Для обозначений: замкнутая поверхность S , ограничивающая объём V ; заряд q ; плотность электрического тока \vec{j} .

$$q = q_{\text{остался внутри } V} + q_{\text{вышедший через границу } S} = \text{const};$$

$$d(\text{const}) = dq + dq_S = 0 \Rightarrow dq = -dq_S.$$

Поток вектора плотности тока через произвольную замкнутую поверхность, выбранную в проводящей среде, равен убыли зарядов в единицу времени внутри объёма, ограниченного этой поверхностью – **закон сохранения электрического заряда** (уравнение непрерывности):

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

Для расширения возможностей применения этого закона придадим ему другую форму – дифференциальную (локальную), применив к левой части выражения формулу Гаусса – Остроградского. Проведем преобразования. В виду справедливости равенства для любой области интегрирования подынтегральный выражения равны:

$$\text{div } \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

- дивергенция вектора плотности тока в некоторой точке равна убыли заряда в единицу времени в этой же точке (ρ – заряд в частной производной).

В случае стационарного (постоянного) тока распределение зарядов в пространстве остаётся неизменным (на место переместившегося носителя тока тут же приходит другой такой же носитель), т.е.

Следовательно, для постоянного тока:

$$\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = 0 \quad \text{и} \quad \text{div } \vec{j} = 0$$

а значит, линии вектора плотности тока \vec{j} в этом случае нигде не начинаются и нигде не заканчиваются – замкнутые линии и поле вектора \vec{j} не имеет источников.