

Причины электрического тока

Для возникновения электрического тока требуется наличие свободных, не закрепленных заряженных частиц, которые в электростатическом поле неподвижных зарядов приходят в состояние упорядоченного движения вдоль силовых линий поля.

- ***Упорядоченное движение свободных зарядов вдоль силовых линий поля - электрический ток.***

Уравнение Пуассона:

$$\Delta\varphi = \frac{1}{\varepsilon} \rho,$$

$$\nabla\mathbf{E} = \frac{1}{\varepsilon} \rho$$

$\rho = -\frac{\partial\varphi}{\partial V}$ - объемная плотность заряда.

Если заряды неподвижны, то

$$\rho = \rho(t) = \text{const},$$

$$E = E(x, y, z), \quad \varphi = \varphi(x, y, z).$$

Поле - *электростатическое*.

Если есть свободные заряды, то

$$\rho = \rho(t), \text{ следовательно}$$

$$E = E(x, y, z, t), \quad \varphi = \varphi(x, y, z, t).$$

Появляется электрический ток.

Поле перестает быть электростатическим.

Сила тока I - заряд, перенесенный через заданную поверхность S (или через поперечное сечение проводника), в единицу времени, т.е.:

$$I = \frac{\partial q}{\partial t}$$

Если при перемещении свободных зарядов перераспределения зарядов в пространстве не происходит, то электрическое поле – снова статическое.

Этот частный случай есть случай постоянного тока.

Ток, не изменяющийся по величине со временем – называется постоянным током

$$I = \frac{q}{t}$$

размерность силы тока в СИ: $1A = \frac{Кл}{с}$.

Плотность тока

$$I = \int_S \mathbf{j} d\mathbf{S}$$

$$j = \frac{\partial I}{\partial S_{\perp}}$$

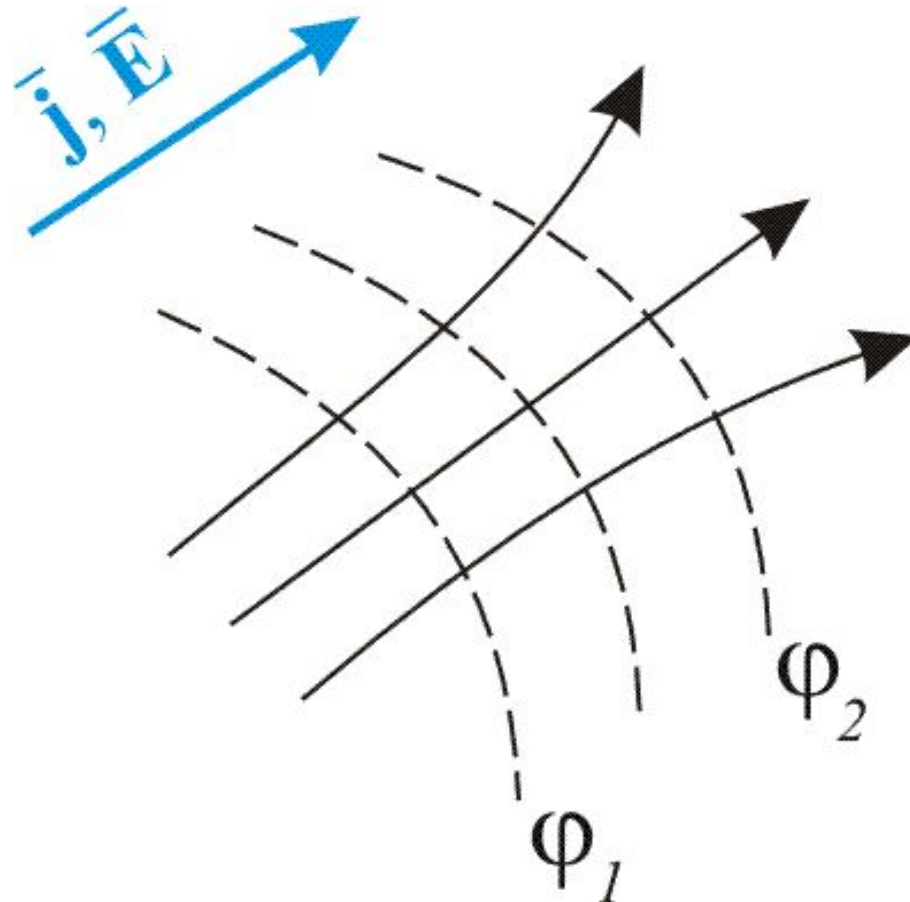
модуль вектора плотности тока численно равен отношению силы тока через элементарную площадку, перпендикулярную направлению движения носителей заряда, к ее площади

Плотность тока \mathbf{j} связана с плотностью свободных зарядов ρ и со скоростью их движения \mathbf{v} :

$$\mathbf{j} = \rho \mathbf{v}$$

$$\mathbf{j} = -en\mathbf{v}_e$$

Поле вектора \vec{j} можно изобразить графически с помощью **линий тока**, которые проводят так же, как и линии вектора напряженности \vec{E}

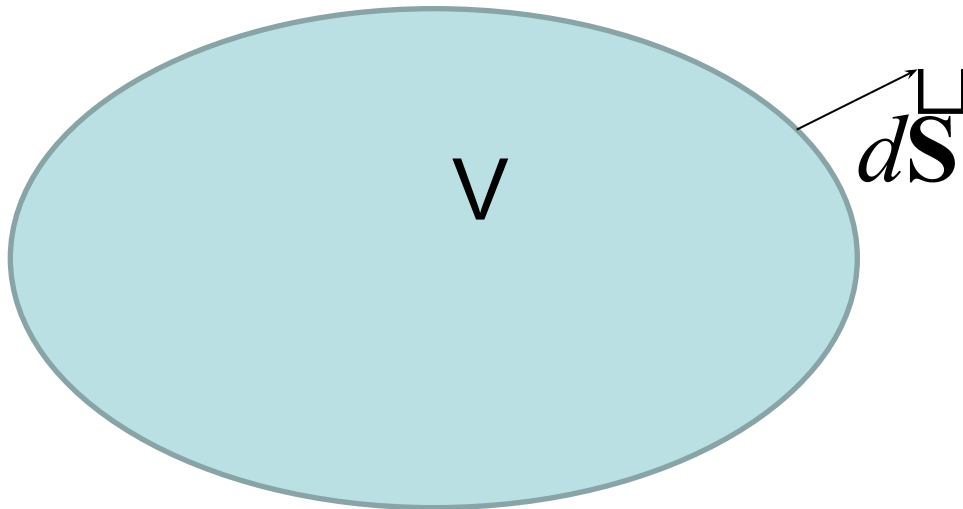


Зная \mathbf{j} в каждой точке некоторой поверхности S можно найти силу тока через эту поверхность, как поток вектора \mathbf{j} :

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

Уравнение непрерывности

$\oint_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S}$ — заряд, выходящий в единицу времени наружу из объема V , охваченного поверхностью S .

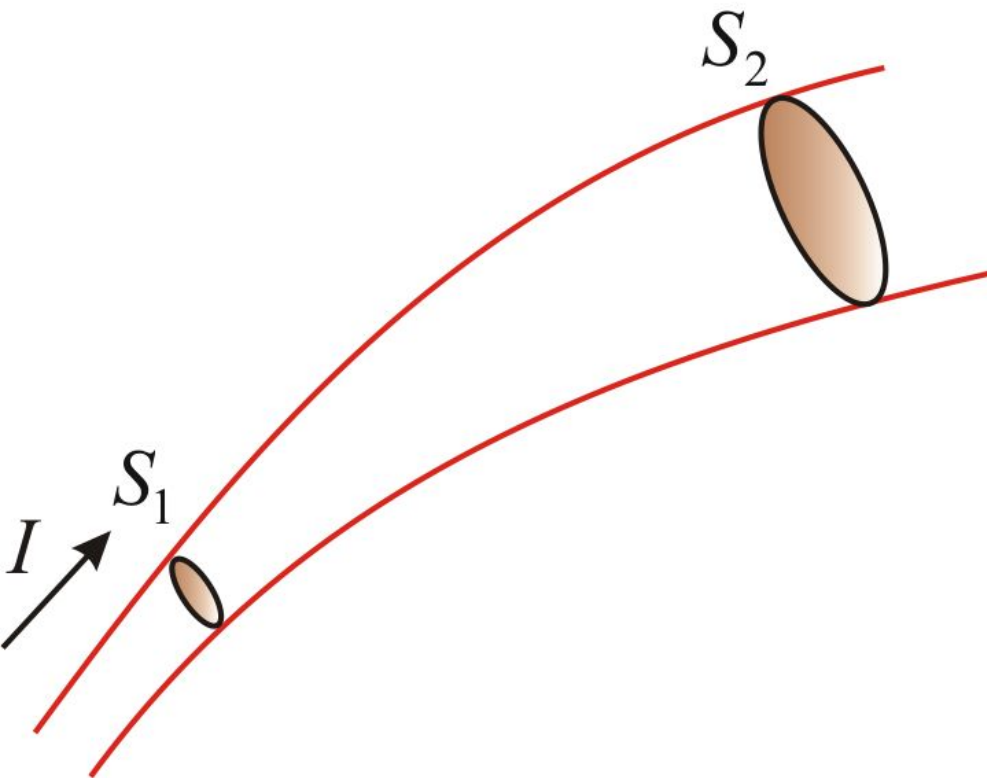


Плотность постоянного электрического тока одинакова по всему поперечному сечению S однородного проводника.

Поэтому для постоянного тока в однородном проводнике с поперечным сечением S сила тока:

$$I = j \cdot S$$

Из этого следует, что **плотности постоянного тока в различных поперечных сечениях 1 и 2 цепи обратно пропорциональны площадям S_1 и S_2 этих сечений :**



$$j_2 / j_1 = S_1 / S_2$$

Пусть S – замкнутая поверхность, а векторы $d\mathbf{S}$ всюду проведены по внешним нормалям \mathbf{n} . Тогда поток вектора \mathbf{j} сквозь эту поверхность S равен электрическому току I , идущему вовне из области, ограниченной замкнутой поверхностью S . Следовательно, согласно закону сохранения электрического заряда, суммарный электрический заряд q , охватываемый поверхностью S , изменяется за время dt на $dq = -Idt$, тогда в интегральной форме можно записать:

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

В интегральной форме можно записать:

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

Это соотношение называется **уравнением непрерывности**. Оно является, по существу, выражением **закона сохранения электрического заряда**.

Дифференциальная форма записи уравнения непрерывности

$$\nabla \cdot \mathbf{j} = -\frac{d\rho}{dt}$$

В случае **постоянного тока**, распределение зарядов в пространстве должно оставаться неизменным:

$$\frac{dq}{dt} = 0,$$

следовательно,

$$\oint \mathbf{j} d\mathbf{S} = 0,$$

это **уравнение непрерывности для постоянного тока** (в интегральной форме).

В дифференциальной форме уравнение непрерывности для постоянного тока:

$$\nabla \cdot \mathbf{j} = 0$$

Если ток постоянный, то избыточный заряд внутри однородного проводника всюду равен нулю.

Докажем это: т.к. для постоянного тока справедливо уравнение

$$\oint_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

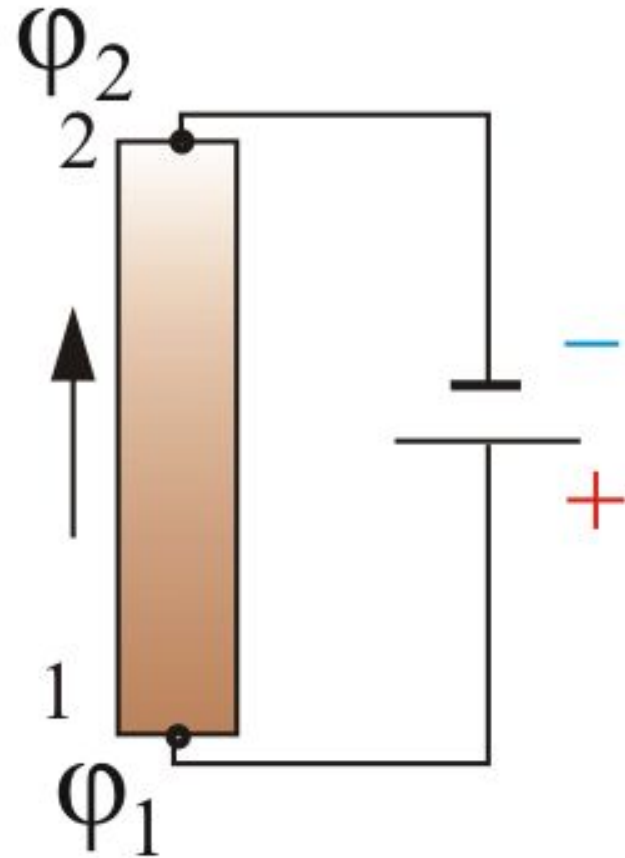
отсюда

$$\sum q_i = 0.$$

Избыточный заряд может появиться только на поверхности проводника в местах соприкосновения с другими проводниками, а также там, где проводник имеет неоднородности.

Сторонние силы и ЭДС

Перемещение положительного заряда от «-» к «+» возможно лишь с помощью сил неэлектрического происхождения (сторонних сил): химические процессы, диффузия носителей заряда, вихревые электрические поля.



Величина, равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда в цепи, называется **электродвижущей силой** (**Э.Д.С.**), действующей в цепи:

$$\varepsilon = \frac{A}{q}; \quad \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \right] = [V]$$

**Стороннюю силу, действующую на заряд,
можно представить в виде:**

$$\vec{F}_{\text{СТ}} = q\vec{E}_{\text{СТ}},$$

$\vec{E}_{\text{СТ}}$ – напряженность поля сторонних сил.

Работа сторонних сил на участке 1 – 2:

$$A_{12} = \int_1^2 \mathbf{F}_{\text{СТ}} d\mathbf{l} = q \int_1^2 \mathbf{E}_{\text{СТ}} d\mathbf{l},$$

Тогда **Э.Д.С.**

$$\varepsilon_{12} = \frac{A_{12}}{q} = \int_1^2 \mathbf{E}_{\text{СТ}} d\mathbf{l}.$$

Для замкнутой цепи:

$$\varepsilon = \sum \varepsilon_i = \oint \mathbf{E}_{\text{СТ}} d\mathbf{l}.$$

$$\varepsilon = \sum \varepsilon_i = \oint \mathbf{E}_{\text{ст}} \cdot d\mathbf{l}.$$

Циркуляция вектора напряженности сторонних сил равна Э.Д.С., действующей в замкнутой цепи (алгебраической сумме ЭДС).

Поле сторонних сил не обязательно является потенциальным(!!!)