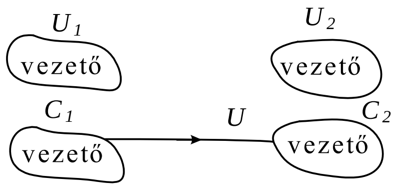
12. Az elektromos áramlás. Áramsűrűség vektor. Vezetési áramsűrűség vezető kristályban. Áram-erősség fogalma. Töltés megmaradás törvénye, integrális és differenciális alak. Áramforrások, elektromotoros erő. Stacionárius elektromos áramlás alaptörvényei.

Az elektromos áramlás:
Tekintsünk két feltöltött vezetőt. Legyen $U_1 > U_2$.



Ha a két feltöltött fémtestet vezetővel összekötjük, akkor a magasabb potenciálú test, töltést veszít, a másik pedig töltést vesz fel. A töltésáramlás addig tart, ameddig az egyesített vezető test potenciálja ki nem egyenlítődik. A folyamatban a potenciál (intenzív mennyiség) kiegyenlítődése következik be töltés áramlás (extenzív mennyiség) révén. A potenciálkülönbség, a töltések mozgását részben rendezetté teszi, s a rendezetlen hő mozgásra egy rendezett mozgás szuperponálódik. Az elektromos áramlás a töltéshordozók rendezett mozgását jelenti: Az elektromos áramlás létrejöttének feltételei:

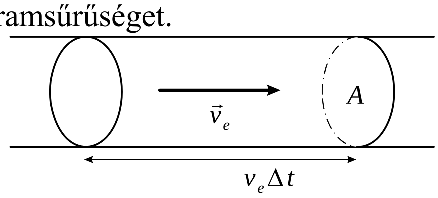
1. legyenek szabad töltéshordozók, és
2. legyen jelen elektromos mező.

Megállapodás szerint az elektromos áramlás iránya a pozitív töltéshordozók (valóságos vagy elképzelt) áramlásának irányával egyezik meg.

Elektromos áramsűrűség:
Az elektromos áramsűrűség abszolút értéke megmutatja, hogy az áramlási irányra merőleges egységnyi keresztmetszeten időegység alatt mennyi töltés áramlik át. Iránya megegyezik a pozitív töltéshordozók áramlási irányával. Mértékegysége: $\left[J\right] = 1\frac{C}{sm^2} = 1\frac{A}{m^2}$. Az elektromos áramsűrűség vektornak két összetevője van:

$$\vec{J} = \rho\vec{v} + \vec{j}$$

A konvektív vagy szállítási áramsűrűség $\rho\vec{v}$, míg a konduktív vagy vezetési áramsűrűség $\vec{j}$. Tekintsünk nyugvó kristályos vezetőt, $\rho = 0$, így abban csak konduktív áram lép fel. Származtassuk le a vezetési áramsűrűséget.

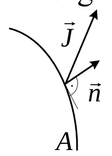


Δt idő alatt $v_e \Delta t\, A$ nagyságú térfogatból jutnak át az elektronok a vezető A keresztmetszetén. Így az átjuttatott töltés nagysága $\left|-e\right| n_e v_e \Delta t\, A$, ahol $-e$ az elektron töltése, n_e a vezetési elektronok számsűrűsége, és $\vec{v}_e$ az elektronok átlagos driftsebessége. A definíció alapján:

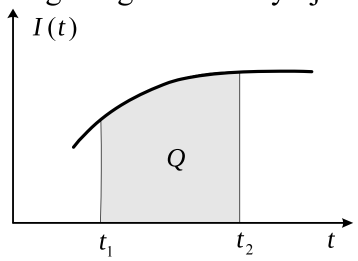
$$\left|\vec{j}\right| = \frac{\left|-e\right| n_e v_e \Delta t\, A}{\Delta t\, A} = \left|-e\right| n_e v_e \text{, illetve vektoriálisan:}$$

$$\vec{j} = -e\, n_e \vec{v}_e .$$

Az elektromos áram iránya a negatív töltések áramlási sebességével ellentétes, a pozitív töltések (képzelt) áramlásának irányával megegyező.
Az elektromos áramerősség irányított felületre vonatkozó mennyiség. Megmutatja, hogy az illető felületen időegység alatt mennyi töltés áramlik át. Ha a + töltések a normális irányában áramlanak akkor az áram pozitív. Az áramerősség tehát előjeles mennyiség.



Mértékegysége $\left[I\right]=1\frac{C}{s}=1\,amper=1A$. A t_1, t_2 időközben az A felületen átáramló töltés, az áramerősség integrálásával nyerjük a kérdéses időközre.



$$Q_A=\int_{t_1}^{t_2} I_A dt$$

Töltésmegmaradás törvénye:
Mivel az elektromos töltés éppúgy extenzív és megmaradó mennyiség, mint a tömeg, ezért a töltésmegmaradás törvényét formailag ugyanolyan egyenlet írja le mint a tömegmegmaradásét. Ennek integrális alakja

$$\frac{d}{dt}\int_V \rho dV=-\oint_A \vec{J}d\vec{A}.$$

ρ: térfogati töltéssűrűség, $\vec{J}=\rho\vec{v}+\vec{j}$ pedig áramsűrűség, A pedig a rögzített V térfogat zárt burkolófelülete.

$$\int_V \frac{\partial\rho}{\partial t}dV=\int_V \nabla\vec{J}dV$$

Mivel a V térfogat rögzített ezért a hely szerinti integrálás és az idő szerinti differenciálás sorrendje felcserélhető. A jobb oldalon pedig a Gauss - Osztogradszkij tételt alkalmaztuk.

$$\int_V\left(\frac{\partial\rho}{\partial t}+\nabla\vec{J}\right)dV=0$$

Mivel az integrál bármely V térfogatra eltűnik, a differenciális, vagy lokális alak:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\nabla\vec{J}=0.$$

Áramforrások:
Ha a töltésekre egyedül az elektromos mező hat, akkor a kezdeti potenciál különbségek hamar kiegyenlítődnek és az áramlás véget ér. A töltésáramlás fenntartásához szükség van olyan idegen (nem elektromos) erőre, amely a pozitív töltéshordozókat visszakényszeríti az eredetileg magasabb potenciálú helyre és ezzel megteremti a folyamatos áramlás lehetőségét. Az olyan berendezéseket, amelyekben ilyen idegen erők működnek áramforrásoknak nevezzük. Kémiai természeti erők működnek a galvánelemben és az akkumulátorban.

Mágneses természetű erők a generátorokban és a dinamóban. Legyen $\vec{F}^*$ a q töltésre ható idegen erő, akkor az idegen térerősség $\vec{E}^* = \dfrac{\vec{F}^*}{q}$. Az elektromotoros erő pedig:

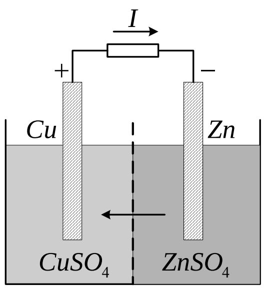
$$\mathcal{E}_{\overset{\frown}{+-}} = \int_{\overset{\frown}{+-}} \vec{E}^* d\vec{r} \text{ , mértékegysége } \left[\mathcal{E}\right] = 1V \text{ .}$$

Az elektromotoros erő megmutatja, hogy mennyi munkát végez az idegen erő a pozitív egységtöltésen, míg ez a töltés az áramforrás belsejében a negatív pólustól elmozdul a pozitív pólusig.

$$W^*_{\overset{\frown}{-+}} = \int_{\overset{\frown}{-+}} \vec{F}^* d\vec{r} = \int_{\overset{\frown}{-+}} q\vec{E}^* d\vec{r} \text{ ,}$$

$$\mathcal{E}_{\overset{\frown}{-+}} = \frac{W^*_{\overset{\frown}{-+}}}{q} = \int_{\overset{\frown}{-+}} \vec{E}^* d\vec{r} \text{ .}$$

Feltételezhetjük, hogy az elektromotoros erő független attól, milyen pályán mozog a töltés az áramforrás belsejében. Az olyan vezetőt, amelyben nincsenek idegen erők, fogyasztóknak nevezzük. $\left(\vec{E}^* = 0\right)$ A fogyasztóban az áram a magasabb potenciálú ponttól az alacsonyabb potenciálú pont felé folyik. Az áramforrásban pedig a – pólustól a $\oplus$ pólus felé folyik az áram.



Stacionárius elektromos áramlási tér:
Az összes fizikai mennyiség idő független, (csak a helytől függenek) de a töltések időben állandósult módon áramlanak. A stacionárius elektromos mező konzervatív, örvénymentes mező. Az ezt leíró alaptörvény integrális-, és differenciális alakja már ismert:

$$\oint_g \vec{E} d\vec{r} = 0 \text{ , illetve } \nabla \times \vec{E} = \vec{0} \text{ , ilyenkor } \vec{E} = -\nabla U \text{ .}$$

Stacionárius áramlás esetén a töltésmérlegből a baloldal eltűnik, mivel a V térfogatban a töltés már nem változhat, így $\dfrac{d}{dt}\int_V \rho dV = 0$. Ekkor kaphatjuk a stacionárius áramlás a második alaptörvényének integrális-, és differenciális alakját.

$$\oint_A \vec{J}\, d\vec{A} = 0 \text{ , illetve } \nabla\, \vec{J} = 0 \text{ .}$$

A peremfeltételek két közeg határán: $E_{t1} = E_{t2}$, az elektromos térerősség tangenciális komponense folytonos, illetve mivel $\vec{J}$ divergenciája nulla, azaz nincsenek forrásai, így $J_{n1} = J_{n2}$ tehát a J normális összetevője szintén folytonos.