

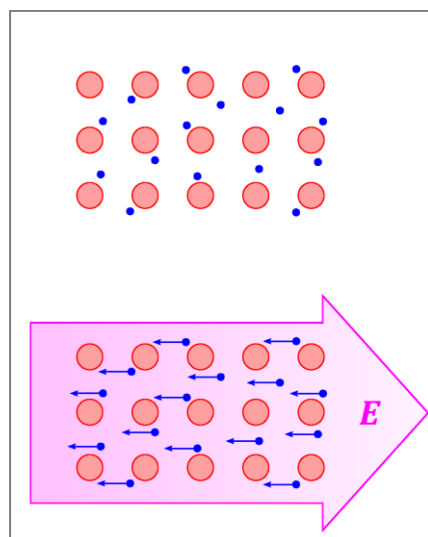
◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

Áramvezetés fémekben

Kémiai tanulmányainkból tudjuk, hogy a szilárd halmazállapotú fémek kristályos szerkezetűek. A fémek speciális kristályrácsát *fémrácsnak* nevezzük. Ebben a pozitív töltésű *fémionok az adott fémre jellemző térbeli rács pontjaiban helyezkednek el*, illetve a rácspont körül *rezegnek*. Ennek a rezgésnek az amplitúdója annál nagyobb, minél magasabb a hőmérséklet.

A fématomok külső elektronjai nagyon könnyen leszakadnak az atomtörzsről. A *fématomokról levált elektronokat vezetési elektronoknak* nevezzük. Ezek nem az egyes fémionokhoz kötődnek, hanem a rács egészéhez, és *a fémrácson belül könnyen elmozdulhatnak*. Mozgásuk hasonló az ideális gáz részecskéinek rendezetlen mozgásához. A gázz részecskékhöz hasonlóan a vezetési elektronok is rugalmasan ütköznek egymással, illetve a fémrács ionjaival.

Ha a fémes vezető két végét állandó feszültségű áramforráshoz kapcsoljuk, a vezetőben kialakuló elektromos mező hatására a negatív töltésű elektronok a térerősség irányával ellentétes irányba gyorsulnak. Ebből adódóan az elektronok rendezetlen mozgását jellemző sebességhez egy további, a térerősség irányával ellentétes sebesség-összetevő járul. Az elektron sebességének ezt az összetevőjét *vándorlási sebességnek* nevezzük. Az elektronok sebessége az állandó erő ellenére is csak addig növekedhet, amíg az



elektron nem ütközik a fémrács valamelyik ionjával. *A sorozatos ütközések közben az elektron mozgási energiájának egy részét átadja a fémionoknak*, ezért vándorlási sebesség csak egy jól meghatározott értéket érhet el. Mindezek eredményeképpen *a vezetőben állandó erősségű áram jön létre*.

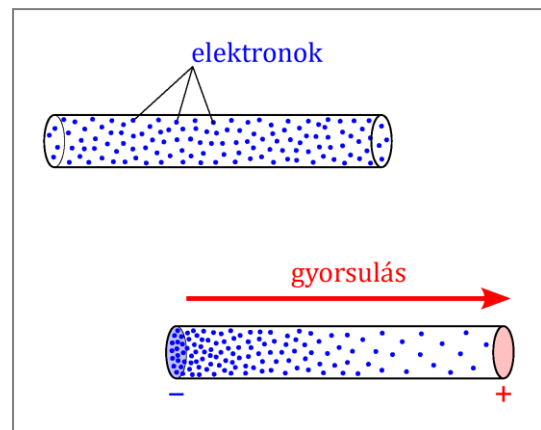
Az elektronok által az elektromos mezőtől felvett, és az ütközések során a fémionoknak átadott energia a fém belső energiáját növeli. Ennek közvetlenül megfigyelhető

eredménye, hogy a vezető felmelegszik. A felmelegedő vezető azonban hőszugárzás és hővezetés formájában hőt ad át környezetének. Az áramforrásból felvett energia végső soron tehát a környezet belső energiáját növeli.

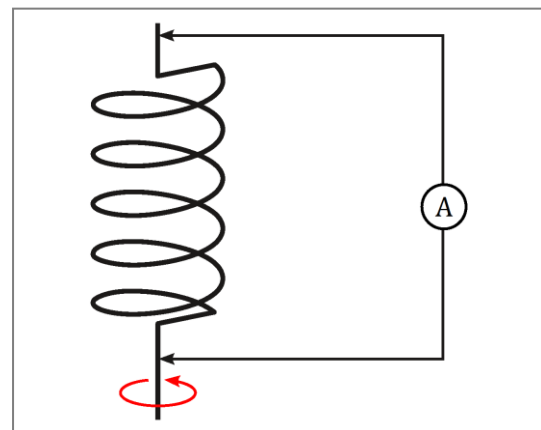
Látható, hogy ez az egyszerű *elektrongáz-modell* számos jelenség és törvény értelmezésére alkalmas. Néhány probléma megoldásához (például a fajlagos ellenállás hőmérséklettől való függésének kvantitatív leírásához) ennél lényegesen bonyolultabb modellre van szükség. Ennek tárgyalása azonban a középiskolai anyagot messze meghaladó matematikai és fizikai ismereteket igényelne.

Kiegészítések

1. Ha a fémekben az elektronok a fémrácsokhoz képest valóban könnyen elmozdulhatnak, akkor egy gyorsuló fémhuzalban tehetetlenségük miatt a huzal egyik végén gyűlnek össze, akár csak a könnyen mozgó tárgyak egy gyorsuló vasúti kocsiban. Mindez kísérletileg is igazolható a *Stewart-Tolman*-féle kísérlettel.



A kísérletet 1916-ban ténylegesen úgy végezték el, hogy egy, a hossz tengelye körül gyorsan forgó tekercset hirtelen lefékeztek. A tekercs végeihez kapcsolt érzékeny ampermérő a fékezés alatt áramot jelzett. Az áram iránya és erőssége megfelelt annak, amit az elektronok tehetetlensége alapján várni lehetett.



A Tollman-kísérlet *Physical Review* folyóiratban megjelent eredeti leírása itt található: <http://authors.library.caltech.edu/3372/1/TOLpr16b.pdf>

2. A fémekben az elektronok rendezetlen mozgásának sebessége $10^5 \dots 10^6$ m/s körüli érték. A szokásos áramerősségek mellett az elektronok vándorlási sebessége

0,001 m/s nagyságrendű. Az elektromos mező hatására az elektronok sebessége tehát alig változik.

A helyzet hasonló, mint a gázok áramlásakor. Korábban láttuk, hogy a nyugvó gázok részecskéi rendkívül nagy sebességgel mozognak. Például a 0 °C-os levegőben levő oxigénmolekulák sebessége 460 m/s körüli érték. A viharos szélben a levegő 20 ... 25 m/s sebességgel áramlik, ez az érték 5 százaléka a rendezetlen mozgásból adódó sebességnek.

3. A fémekben egy-egy elektron 1 másodperc alatt hozzávetőlegesen $2 \cdot 10^{13}$, azaz 20 000 000 000 000 alkalommal ütközik a fémrács ionjaival.

Példa

Egy 1 mm² keresztmetszetű rézvezetékben 2 A erősségű áram folyik. Mekkora a vezetési elektronok áramlási sebessége? (A rézben atomonként egy elektron vesz részt a vezetésben. A további adatok a *Függvénytáblázatból* kikereshetők.)

$$A = 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$M = 63,46 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 63,46 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

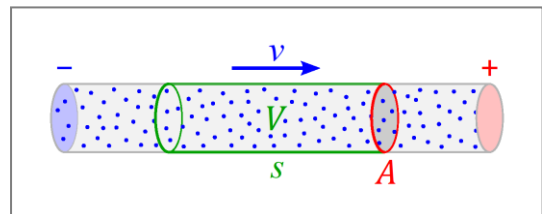
$$\rho = 8920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v = ?$$

Megoldás

Egy tetszőleges Δt időtartam alatt a vezeték valamely A keresztmetszetén azok az elektronok jutnak át, amelyek a

$$V = A \cdot s = A \cdot v \cdot \Delta t$$



térfogatrészben található. Ennek a vezetékdarabnak a tömege a sűrűséggel kifejezve:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot v \cdot \Delta t. \tag{1}$$

Az ebben található rézatomok száma az Avogadro-törvény, a moláris térfogat definíciója és az (1) összefüggés felhasználásával:

$$N = n \cdot N_A = \frac{m}{M} \cdot N_A = \frac{\rho \cdot A \cdot v \cdot \Delta t}{M} \cdot N_A.$$

Mivel a rézben atomonként egy elektron vesz részt a vezetésben, ebben a térrészben ugyanannyi elektron van, ahány rézatom. Mivel egyetlen elektron töltése e , ezért az N elektron összes töltése:

$$Q = N \cdot e = \frac{\rho \cdot A \cdot v \cdot \Delta t}{M} \cdot N_A \cdot e.$$

Ez a töltésmennyiség kifejezhető az áramerősség alapján is:

$$Q = I \cdot \Delta t.$$

Ez utóbbi két egyenlet bal oldala egyenlő, így a jobb oldalak is egyenlők:

$$\frac{\rho \cdot A \cdot v \cdot \Delta t}{M} \cdot N_A \cdot e = I \cdot \Delta t.$$

Mindkét oldalt osztva Δt -vel a kapott egyenletből a keresett sebesség kifejezhető:

$$\frac{\rho \cdot A \cdot v}{M} \cdot N_A \cdot e = I,$$

$$v = \frac{I \cdot M}{\rho \cdot A \cdot N_A \cdot e}. \quad (2)$$

Behelyettesítve:

$$v = \frac{I \cdot M}{\rho \cdot A \cdot N_A \cdot e} = \frac{2 \text{ A} \cdot 63,46 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{8920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}},$$

azaz

$$v \approx 0,00015 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Az elektronok áramlási sebessége ebben az esetben 0,00015 m/s. Ez azt jelenti, hogy egy másodperc alatt csupán 0,15 mm utat tesznek meg.

Megjegyzés:

A (2) képletből következik, hogy adott vezetékben a sebesség egyenesen arányos az áramerősséggel. Így például 20 A áramerősségnél a sebesség 1,5 mm/s lenne ugyanebben a vezetékben.

Képek jegyzéke

	Áramvezetés a fémekben © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0465.svg
	A Stewart–Tolman kísérlet elve © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0466.svg
	A Stewart–Tolman kísérlet gyakorlati megvalósítása © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0467.svg
	Rajz a példához © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0468.svg

Jelmagyarázat:

© **Jogvéde**tt anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.

W A *Wikimedia Commons*-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.