

**Hőelektromos jelenség tanulmányozása****1. A gyakorlat célja:**

- termoelektromos feszültség mérése hőelem segítségével;

**2. Elméleti alapismeretek a hőelektromos jelenség tárgyköréből**

Bármely anyag semleges atomjait a pozitív töltésű atommag és a negatív töltésű elektronok kötött rendszere alkotja. Az atomokat egymáshoz kapcsoló elektromos természetű kötések erőssége alapvetően meghatározza az anyagok fizikai sajátosságait. Ezeket a kötések a legkülső héjon levő elektronok, az ún. *vegyérték-elektronok* (*valencia-elektronok*) valósítják meg. A vegyérték-elektronok lazábban kötődnek a központi maghoz, mint a belső elektronhéjak elektronjai.

Fémekre jellemző tulajdonság a jó elektromos vezetés, illetve a jó hővezetés. Mindez annak tulajdonítható, hogy a fématomok lazán kötött vegyértékelektronjai könnyen „leszakadhatnak” az egyes atomokról és „szabadelektronok” formájában részt vesznek az elektromos vezetésben. A szabad elektronok elektromos erőter hatására nagy távolságra elmozdulhatnak a vezetőben és ez által biztosítják a fémek jó elektromos vezetőképességét.

Elektromos szempontból a fémes vezető *ekvipotenciális felületet* alkot, mivel a vezetőben az elektronok szabadon elmozdulnak a töltésegyensúly beálltaig, akár a lehető legtávolabbra juttatva az egymást taszító azonos előjelű szabad elektromos töltéseket.

Kísérletileg kimutatható a fémek azon viselkedése, hogy szabad elektronjaikat aránylag könnyen leadják, ha más anyagokkal kerülnek kölcsönhatásba. Ezt a jelenséget *érintkezési* vagy *kontakt elektromos jelenségnek* nevezik.

Ha két különböző fémeket szorosan érintkezésbe helyezünk, akkor az elektronok átjuthatnak egyik fémről a másikba és a két fém érintkezési felülete mentén kialakul egy  $+Q$ , illetve  $-Q$  töltésű *elektromos kettősréteg*. Az 1. ábrán látható (1) és (2) számokkal jelölt fémek esetében az (1) jelzésű fém könnyebben adja le az elektronokat, ezért az érintkezési felületeken átjutó elektronok negatívabbá teszik a szomszédos (2) fém érintkezési rétegét. Ha a kétféle anyagi minőségű vezetőből egy zárt vezetőhurokot alkotunk, amelyben az érintkezési pontok eltérő hőmérsékleten vannak (például,  $t > t_0$ ), a vezetőhurokban  $I$  elektromos áram folyik (1a. ábra). Mivel az érintkezési helyek eltérő hőmérsékleten vannak, a magasabb hőmérsékletű  $A(t)$  érintkezési helyen több elektron lép át egyik vezetőből a másikba, mint a  $B(t_0)$  helyen. Ezért a vezetőben az alacsonyabb hőmérsékleten levő érintkezési helytől a magasabb hőmérsékleten levő érintkezési hely irányába  $I$  áram folyik, amelynek egyezményes iránya ellentétes az elektronok elmozdulási irányával.

Ugyanakkor az egyes érintkezési felületek mentén szétvált töltések *fékező elektromos erőteret* határoznak meg, amely gátolja a töltések szabad átjutását. A dinamikus egyensúly kialakulásakor a fékező elektromos tér meggátolja további töltések átjutását egyik fémről a másikba. A jelenséget az

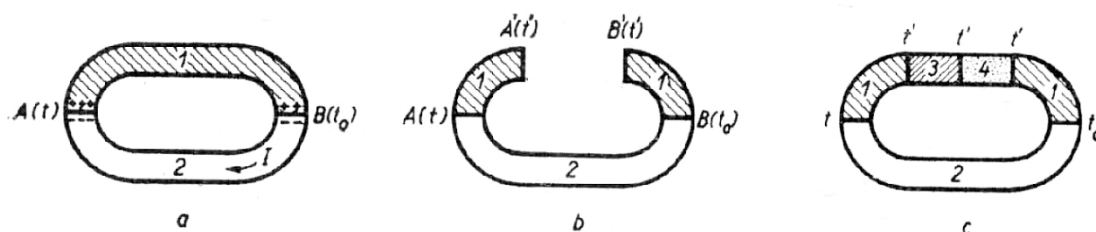
„elektromgáz“ diffúzióval történő transzportjával magyarázhatjuk. A diffúziós folyamat hajtóereje az érintkező fémek elektronkoncentrációjának a különbözőségéből fakad, amely a kiegyenlítődés irányában fejlődik a hőmozgás által meghatározott részecsketranszport révén. A folyamat hasonlít egy elektromos kondenzátor feltöltéséhez, amikor a fegyverzetek között potenciálkülönbség alakul ki.

Az érintkezési feszültség kialakulását a Volta-féle kísérlet bizonyította (1793). Ebben a kísérletben kimutatták, hogy az eltérő anyagi minőségű fémek érintkezésekor hőmérséklettől függő elektromos feszültség keletkezik,  $U_v = f(t)$ .

A fémeket és néhány más hasonlóan viselkedő vezetőt az ún. Volta-féle feszültségi sorba lehet helyezni az alábbiak szerint: (+) alumínium (Al) – cink (Zn) – ólom (Pb) – antimon (Sb) – bizmut (Bi) – vas (Fe) – réz (Cu) – ezüst (Ag) – arany (Au) – platina (Pt) – szén (C) – (MnO<sub>2</sub>) (–).

Ha a zárt hurokban egyik vezetőt kettévágjuk és az így keletkezett A' és B' szabad végződéseket azonos  $t'$  hőmérsékleten tartjuk (1b. ábra), akkor az A' és B' pontok között ugyanazon E elektromotoros feszültség létezik, hasonlóan egy nyitott galvánelem sarkai között mérhető feszültséghez.

Az érintkezési feszültségre magyarázatot adó Volta-törvény értelmében, ha az érintkezési helyek egyenlő hőmérsékleten vannak, akkor a sor két tagja közti Volta-féle feszültség  $U_v$  értéke független attól, hogy a két tag közvetlenül vagy akárhány más tag közbeiktatásával érintkezik-e egymással (1c. ábra).



1. Ábra Termoelektromos feszültség kialakulásának magyarázata

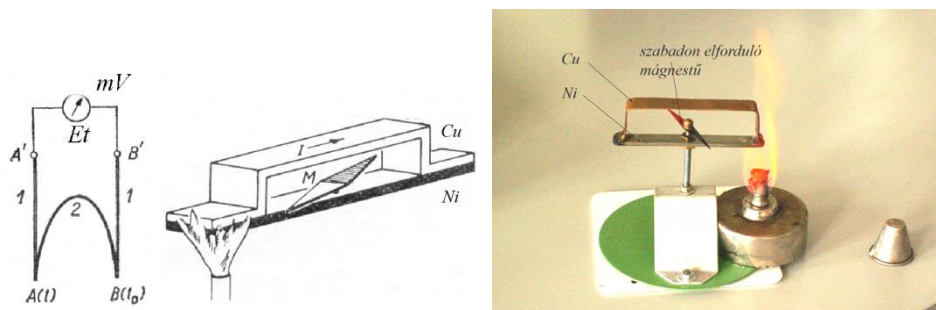
Mindebből az következik, hogy ha az egyenlő hőmérsékletű vezetők közül álló hurok első és utolsó tagja ugyanolyan anyagból való, akkor e két tag között nincsen elektromos feszültség. Az azonos hőmérsékletű vezetők elektromos töltéseinek egyensúlya folytán nem alakul ki elektromos áram egy zárt hurokban, mivel az érintkezési feszültségek összege zérus.

Ha két különböző fémekből álló vezetőkör egyik érintkezési helyét felmelegítjük vagy lehűtjük a másikhoz képest (2a. ábra), akkor a zárt körben áram folyik mindaddig, amíg köztük hőmérsékletkülönbség létezik.

Mivel az elektromos feszültség hőmérsékletkülönbség hatására gerjesztődött termoelektromotoros feszültségnek (t.e.m.f.) nevezzük,  $E_t$ , amely egy zárt áramkörben  $I$  termoelektromos áramot határoz meg. Ezt a jelenséget hőelektromos (termoelektromos) hatásnak, vagy Seebeck-effektusnak (1821) nevezik.

Az átfolyó áram mágneses hatását közvetlenül is szemléltethetjük a Seebeck-féle kísérleti elrendezéssel. A 2. ábrán látható zárt áramkört nikkel (Ni) és réz (Cu) fémlapok összehegesztése révén alakítottuk ki. Az érintkezési felületek mentén eltérő hőmérsékletet hozunk létre. Szeszlámpával melegítjük a két

fém egyik hegesztési pontját, míg a másik érintkezési helyet szobahőmérsékleten hagyjuk. Az áramhurokban kialakult termoelektromos áram intenzitása eléggé nagy, hogy a kis elektromos ellenállású áramkörben folyó áram mágneses hatása következtében a hurokvezető síkjában elhelyezett mágnesű kitérjen egyensúlyi helyzetéből. A melegítési pontok szerepét felcserélve az elektromos áramirány megfordul és észlelhető lesz a mágnesű ellentétes irányú kitérése.



2. Ábra Seebeck-hatás szemléltetése

Tehát, az átmeneti pontok eltérő hőmérsékleten való tartása miatt a feszültségek összege nem lesz zérus:

$$E_t = U_v(t) - U_v(t_0) \quad (1)$$

Az  $E_t$  termoelektromotoros feszültség függ a forrasztási helyek hőmérsékletének különbségétől  $E_t = f(\Delta t)$ . Nagyobb hőmérsékleti tartományra jó megközelítésként alkalmazható az alábbi összefüggés:

$$E_t \cong \alpha \cdot (t - t_0) + \beta \cdot (t - t_0)^2 \quad (2)$$

ahol  $\alpha$  és  $\beta$  az anyagi minőségtől és rendszerint a  $t_0$  referencia-hőmérséklet értékétől is függő együtthatók. Ha a hőmérsékletkülönbség elég kicsi, akkor a fenti összefüggés  $E \cong \alpha \cdot (t - t_0)$  megközelítő alakban is írható. A kifejezésben szereplő  $\alpha$  együtthatót *Seebeck-együtthatónak* nevezik, amely az eszköz *érzékenységi tényezője* és értelmezés szerint a termoelektromotoros feszültség hőmérséklet szerinti differenciáhányadosával jellemezhető:

$$\alpha = \left[ \frac{dE_t}{dt} \right]_{t=t_0} \quad (3)$$

A hőelem érzékenységi tényezőjének mértékegysége  $[\alpha]_{SI} = V/K$ , vagy a mérési gyakorlatban használatosabb egysége  $\mu V/^\circ C$ .

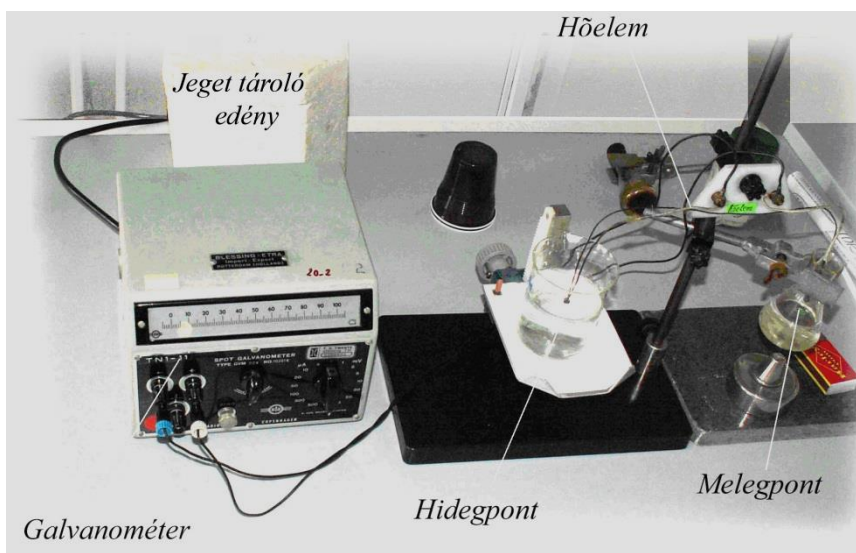
A gyakorlatban használt két különböző vezetőből készült áramkört *hőelemnek*, (*termoelemnek*) nevezik, amellyel a termoelektromos feszültség értékének mérése révén meghatározhatjuk az ismeretlen hőmérsékletet. Ha az egyik forrasztást az ismeretlen ( $t$ ) hőmérsékleten, a másikat az ismert  $t_0$  referencia-hőmérsékleten tartjuk és meghatározzuk a termoelektromotoros feszültség  $E_t$  értékét, az ismeretlen hőmérséklet kiszámítható az alábbi kifejezés segítségével:

$$t \cong t_0 + \frac{E_t}{\alpha} \quad (4)$$

Emlékeztetünk, hogy létezik a *fordított termoelektromos jelenség* is, ez *Peltier-hatás* néven ismert.

## 3. A kísérleti mérőrendszer leírása és a kísérleti mérés menete

A hőelektromos jelenség tanulmányozása céljából használjunk előbb *réz-konstantán hőelemet*, amelyet kezünk melegével is melegíthetünk és az áramkörbe kapcsolt fénycsóvás galvanométer segítségével meghatározzuk a termoelektromos feszültség előjelét (3. ábra).



3. Ábra Termoelektromos jelenség tanulmányozása réz-konstantán hőelem segítségével

A termoelem érzékenységének meghatározása érdekében a fémátmenetek forrasztási pontjait hozzuk ismert hőmérsékleti értékekre. Például, az egyik forrasztási pontot lehűtjük  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ -ra („hidegpont”), míg a másikat  $t = 100^\circ\text{C}$ -ra melegítjük („melegpont”). A  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  hőmérsékleti állapotot légköri nyomáson levő vízben olvadó jégkockák segítségével állítjuk elő, míg a  $t = 100^\circ\text{C}$  hőmérsékletet víz forralásával állítjuk elő.

A kísérletben a termoelem áramkörébe iktatunk egy APPA305 típusú feszültségmérőt a termoelektromotoros feszültség mérése céljából. A termikus egyensúly beállása után a réz-konstantán hőelem egyik végét a  $0^\circ\text{C}$ -os víz-jég keverékébe merítjük, hogy a forrasztási pont kerüljön a víz szintje alá kb. 2...3 cm mélységig, míg a hőelem másik végét a  $100^\circ\text{C}$ -os vízbe helyezzük. A leolvasott millivolt nagyságrendű termoelektromos feszültséget és a hőmérsékleti értékeket a mérési adatokat tartalmazó táblázatba foglaljuk. Végezzünk többszöri mérést és számítsuk ki a keresett mennyiségek átlagértékét, amelynek segítségével határozzuk meg a réz-konstantán hőelem  $\alpha$  érzékenységi tényezőjét!

## 1. Táblázat: A kísérleti mérési adatok táblázata

Sorsz.	$t_0$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta t$ ( $^\circ\text{C}$ )	$E_t$ (V)	$\alpha = \frac{E_t}{\Delta t}$ ( $\frac{\mu\text{V}}{^\circ\text{C}}$ )
1.	0	100			
2.	0	100			
3.	0	100			
4.	0	100			
5.	0	100			

Az ipari gyakorlatban gyors hőmérsékletmérés céljából közvetlenül hőmérsékleti értékekre hitelesített milli-voltmérőt használnak.

Az APPA305 típusú mérőműszer rendelkezik direkt módon hőmérsékletre kalibrált skálával, ez azonban csak egy fajta, K-típusúnak nevezett hőelem csatlakoztatása esetén mutat helyes értéket.

Csatlakoztassuk a rendelkezésre bocsátott K típusú hőelemet a mérőműszerhez, és kapcsoljuk azt hőmérsékleti skálára. Ellenőrizzük, hogy a korábban referenciának használt 0°C-os illetve 100°C-os edényeinkre milyen hőmérsékleti értéket kapunk így.

A hőelemek igen érzékenyek, kis méretük miatt a *hőkapacitásuk* és ezzel együtt a „*hőtehetetlenségük*“ is nagyon kicsi, amely alkalmassá teszi őket a pontos hőérzékelésre és mérésre.

#### Feladatok

- *Tanulmányozzuk a gyári készítésű hőelem felépítését és fogalmazzunk meg észrevételeket ezzel kapcsolatosan!*
- *Hogyan befolyásolja a mérés pontosságát a használt hőelem termikus kapacitása?*
- *Amennyiben kísérleti mérések alapján meghatározzuk egy ismeretlen anyagból készített hőelem érzékenységi tényezőjét, az irodalmi adatokkal való összehasonlítás alapján azonosíthatjuk-e a hőelem huzalainak anyagi minőségét?*

#### Peltier-féle hatás

Ha elektromos áram halad át a két különböző természetű vezető érintkezési (vagy forrasztási) helyén, akkor ezen a helyen – a *Joule-hőn* kívül– az áram irányától függően *felmelegedés*, illetve *lehűlés* következik be.

Kísérletünkben egy, hűtési feladatokra kialakított Peliter elemet fogunk áramkörbe kötni és tanulmányozzuk.