

Termoelektromos hűtőelemek vizsgálata

Klasszikus fizika laboratórium, Csütörtöki csoport

Márton Tamás

November 30.



Bevezetés

A mérés során meg a termoelektromos effektusok hatását kell vizsgálnunk. Konkrétan mérnem kellett a Joule-hő, Peltier-, és Seebeck-effektusokat. Ezek közül az előbbi irreverzibilis, míg az utóbbiak reverzibilis folyamatok, amelyek nem függetlenek egymástól. A mérés célja a relatív Seebeck- és Peltier-együtthatók értékének és hibájának meghatározása. Ezeken kívül ellenállást, és hőátadási, hővezetési együtthatókat is mérnem kellett.

I Elméleti áttekintés

A jegyzet részletesen diszkusszálja az itt elmondottakat, én csak a mérés során majd előkerülő képleteket és elméleti megfontolásokat jegyzem le itt.

Joule-hő

I árammal átjárt vezetõn időegység alatt fejlődõ Q hő:

$$\frac{dQ}{dt} = RI^2$$

Hővezetés

Hőmérséklet különbség hatására a vezetõ adott pontjai között áram indul:

$$\frac{1}{A} \frac{dQ}{dt} = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

ahol A a vezetõ keresztmetszete, λ pedig a hővezetési együttható. Esetünkben lineáris hőmérséklet változást feltételezve, és a vezetõ hosszát l -nek véve, legyen $h_{ab} = \frac{\lambda A}{l}$:

$$\frac{dQ}{dt} = -h_{ab} \Delta T$$

Seebeck-effektus

Különböző anyagú vezetők találkozási pontjánál feszültségkülönbség keletkezik, ez: U_{ab} . A könnyebb tárgyalás végett:

$$S_{ab}(T) = \left. \frac{\partial U_{ab}}{\partial T_h} \right|_{T_l}$$

Seebeck-együtthatót (ahol T_h a magasabb, T_l pedig az alacsonyabb hőmérsékletű pont hőmérséklete) a kísérleti körülmények között írhatjuk, hogy:

$$U_{ab} = S_{ab}(T_h - T_l)$$

Peltier-effektus

Két különböző anyagú vezetõből álló körön I áramot folytatva a vezetõ egyik csatlakozási pontja lehűl, míg a másik felmelegszik:

$$\frac{dQ}{dt} = P_{ab} I$$

ahol P_{ab} a Peltier-együttható. A Seebeck- és Peltier-együtthatók nem függetlenek egymástól, fennáll köztük a

$$P(T) = TS(T)$$

összefüggés.

Időfüggés vizsgálata

A nem egyensúlyi folyamatok időbeli lefutását exponenciális függvény adja meg:

$$T(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + T_{\infty}$$

ahol $A = T(t=0) - T_{\infty}$ állandó, τ a karakterisztikus idő, T_{∞} pedig az egyensúlyi hőmérséklet. Ezt linearizálhatjuk, így az egyensúlyi hőmérséklet ismeretében τ meghatározható:

$$\ln(T - T_{\infty}) = -\frac{t}{\tau} + \ln A$$

Hűtési elmélet

Megmutatható, hogy az egyensúlyi hőmérséklet elérésekor a hőmérséklet és az áramerősség között a következő képlet teremt kapcsolatot:

$$T(I) = \frac{\frac{R_{ab}}{2h_{ab}}I^2 + T(0)}{\frac{S_{ab}}{h_{ab}}I + 1}.$$

Ezt a függvény kell minimalizálnunk, hogy megkapjuk a legkisebb hőmérséklethez tartozó áram értékét:

$$I_{\min} = \frac{h_{ab}}{S_{ab}} \left(\sqrt{1 + \frac{2S_{ab}^2 T(0)}{h_{ab} R_{ab}}} - 1 \right),$$

$$T_{\min} = \frac{R_{ab} I_{\min}}{S_{ab}}.$$

Célszerű, egy a hűtőelem jóságát definiáló, csak anyagi paramétereket tartalmazó mennyiséget bevezetni:

$$z = \frac{S_{ab}^2}{h_{ab} R_{ab}} = \frac{2(T(0) - T_{\min})}{T_{\min}^2}.$$

Innen meghatározható továbbá az ellenállás, a hővezetési-együttható és a környezet hőátadási együtthatója is:

$$R_{ab} = \frac{S_{ab} I_{\min}}{T_{\min}}$$

$$h_{ab} = \frac{S_{ab}^2}{z R_{ab}}$$

$$h_k = h_{ab} \frac{T(0) - T_0}{T_k - T(0)}$$

II Mérési adatok, kiértékelés

Az első mérési feladat az volt, hogy meghatározzam a $T(I=0)$ hőmérsékletet, azaz a Peltier-elem felső lapjának azon hőmérsékletét, Valamint azt a hőmérsékletet amikor az eszközön nem folyik áram. Mikor nem folyt áram az elemen:

$$T(0) = 14.2 \pm 0.05^\circ C$$

A kezdeti feszültség érték negatív $U = 9.62V$ értéke nem fontos a mérés szempontjából. Ez azért lehetséges mert a Peltier-elemnek a két lapja nem azonos hőmérsékletű, hiszen a berendezés el van zárva ugyan a külső tértől de csak amiatt, hogy a hűlés során a pára ne csapódjon le és fagyjon rá az elemre. Mikor nem kapcsolok áramot az elemre akkor a Seebeck feszültséget látjuk ennek együtthatóját a mérés során meg is határozzuk. Figyelve a feszültségmérő műszert viszonylag nagy pontossággal leolvasható, hogy mikor vált előjelet a feszültség, és ekkor a hőmérséklet:

$$T_0 = 13.3 \pm 0.05^\circ C$$

A szobahőmérséklet pedig:

$$T_{szobahomerseklet} = T_{szh} = 24.3 \pm 0.1^\circ C$$

Adott áramerősségnél, esetemben 2 Ampert használva 5 percen keresztül 10 másodpercenként mértem a minta hőmérsékletét az áram bekapcsolásától. Ezen adatokat a következő táblázatban közlöm:

t[s]	T[°C]	t[s]	T [°C]
0	14.2	160	-6.2
10	12.3	170	-6.5
20	9.8	180	-6.8
30	7.5	190	-7.0
40	5.4	200	-7.2
50	3.6	210	-7.4
60	2.0	220	-7.5
70	0	230	-7.7
80	-1.6	240	-7.8
90	-2.5	250	-7.9
100	-3.3	260	-8.0
110	-4.0	270	-8.1
120	-4.6	280	-8.2
130	-5.0	290	-8.2
140	-5.5	300	-8.3
150	-5.9	310	-8.3

Az adatokat a laborszámítógépen Grapher program segítségével ábrázoltam és a jegyzőkönyvhöz csatolva az 1. mellékletként megtekinthető

Majd, hogy a behűlés időállandóját meg tudjam határozni a programmal a következő transzformációt halytottam végre és ábrázolás után (*2.mellklet*) egyenes illetve rá, megkaptam az egyenes meredekségét, amely alapján a jegyzetben megadott képlet alapján behűlési paraméter megadható.

$$\ln(T - T_\infty) = -\frac{t}{\tau} + \ln A$$

$$\tau = 65.789 \pm 1.112(s)$$

A karakterisztikus időt tehát meghatároztam. Ezután következett az áramerősség függvényében az egyensúlyi hőmérséklet mérése. Itt ahogy az elméleti leírásban is ismertettem a minimális hőmérséklethez keressük az I_{min} áramerősséget. Ahhoz, hogy a mérésnél az egyensúlyi helyzet beálljon minimum az előzőekben meghatározott együttható négyszeresét kellett várnom, így minden mérésemet 4.5 percig végeztem, ami ugyan túlhaladja a számított értéket, de a mérésemet nem befolyásolja. Az adataim a következők:

Hőmérséklet [°C]	Áramerősség [Amper]
14.2	0
0.3	1
-8.8	2
-15.7	3
-18.0	4
-19.0	4.5
-18.9	5
-18.5	5.5
-16.6	6
-12.9	7
-8.4	6

Az eredményeket grafikonon ábrázolva majd rá egy negyedfokú polinomot illesztve a 3-számú mellékletben látható:

Ezekből az adatokból tehát:

$$I_{min} = 4.7568 \pm 0.18A$$

$$T_{min} = 253.4 \pm 0.018^\circ K$$

Tehát az áram minimumát meghatározva most már kiszámolható a hűtőelem jóságát definiáló, korábban bevezetett z szám:

$$\delta z = 2\delta T_{min} + \delta T(0)$$

$$z = \frac{2(T(0) - T_{min})}{T_{min}^2} = 0.00105 \pm 0.000094(1/K)$$

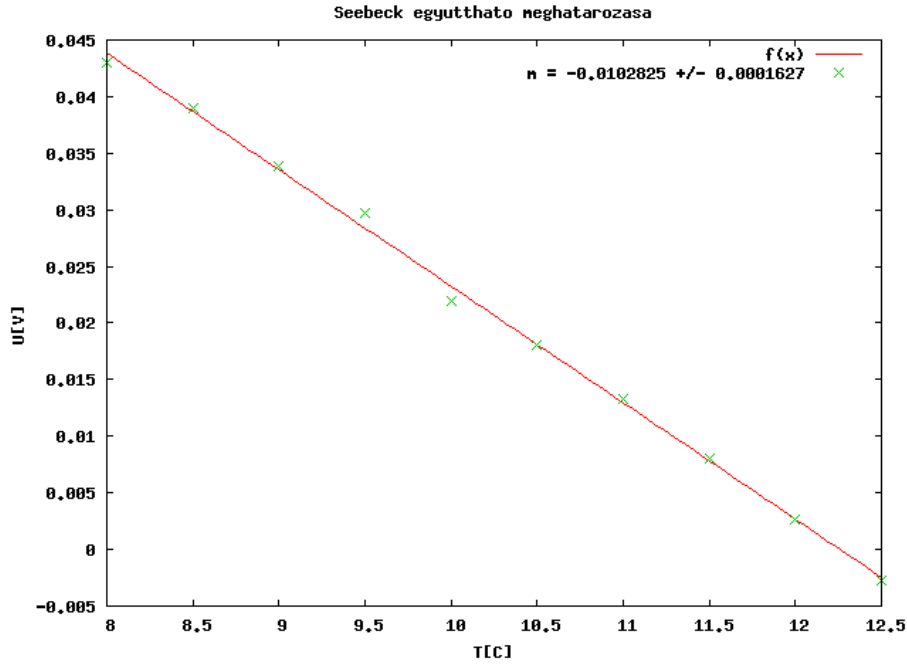
Ezután következett a Seebeck-együttható mérése, mivel ez az adat szükséges majd az összes egyéb még ismeretlen tényező meghatározásához. Az utolsó mérésrész során áramot kapcsoltam a Peltier-elemre, majd ennek leállítása után elkezdtem mérni az összetartozó hőmérséklet és feszültség értékeket. Ezek között lineáris összefüggés van, ami egyenesen arányos a relatív Seebeck-együtthatóval. Így:

$$U(T) = -S_{ab}T + b$$

A mért adataimat a következő táblázatban foglaltam össze: ird át

Hőmérséklet [K]	Feszültség [V]
276.95	0.15898
277.85	0.14458
278.95	0.12952
280.35	0.11338
281.55	0.099203
282.55	0.087504
283.25	0.079836
284.05	0.071129
284.75	0.062988
285.85	0.051989
286.35	0.045349
287.05	0.037587
287.85	0.028514
288.45	0.022297

Az ezen adatokra illesztett egyenes grafikonja és paraméterei:



Ahol a paraméterek:
 $a = -0.0102825 \pm 0.0001627 (1.583\%)$
 $b = 0.126077 \pm 0.001684 (1.336\%)$

Ahol a Seebeck-együttható értéke:

$$S_{ab} = 0.0102825 \pm 0.000167 V/K$$

Amelynek hibáját a *Gnuplot* program határozta meg. Ennek értékéből meghatározható a Peltier-együttható is, a következő módon:

$$P_{ab} = P(T_0) = T_0 S_{ab} = 2.9524 \pm 0.03783 (V)$$

A kör ellenállása is meghatározható:

$$R_{ab} = \frac{S_{ab} T_{min}}{I_{min}} = 0.5477 \pm 0.02271 (\Omega)$$

EDDIG MEGYVAGY

III Teljesítmény egyenleg

$$P_{Joule} = R_{ab} I_{min}^2 = 12.3929 \pm 1.22 (W)$$

$$P_{Peltier} = P_{ab} I_{min} = 14.0421 \pm 0.58 (W)$$

A veszteség kiszámításához szükségünk van a hővezetési együttható meghatározására:

$$h_{ab} = \frac{S_{ab}^2}{z R_{ab}} = 0.3729 \pm 0.05 (W/K)$$

Amiből:

$$P_{veszteseg} = h_{ab} (T_0 - T_{min}) = 12.2684 \pm 0.19 (W)$$

Feltételezzük, hogy energia máshonnan nem származhat, csak a környezetből, így:

$$P_{be} = h_{ab} (T(0) - T_0) = 12.604 \pm 0.16 (W)$$

Ez jóval kisebb az előbbi tagoknál.

IV Összefoglalás

A mérés során pontos eredményeket kaptam. Végig hibaterjedéssel számoltam, így az adatok hibáját könnyedén meg tudtam határozni.