**Mérési jegyzőkönyv**

**04. Termoelektromos hűtőelemek vizsgálata**

A mérést végezte és a jegyzőkönyvet készítette:

Radics Máté (RAMRAAT.ELTE), Fizika BSc II. évfolyam

A leadás ideje: 2010. október 18. (kedd)

**1. A mérés célja**

A mérés célja a Thomson-, a Seebeck-, és a Peltier-effektus, a hővezetés és a Joule-hő megismerése volt egy Peltier-elem vizsgálatán keresztül.

Mérési feladatok:

1. A vízhűtött réztömb egyensúlyi hőmérsékletének, valamint a felső áthidalás hőmérsékletének meghatározása
2. Adott áramerősségnél a $τ$ karakterisztikus idő mérése
3. A hűtött tér hőmérsékletének, mint az áramerősség függvényének vizsgálata, ebből a maximális hőmérsékletkülönbséghez tartozó $I$ és $T$ értékek kiszámítása, a minimumhelyhez tartozó feszültség mérése, annak ismeretében a Seebeck-együttható, és az egyensúlyi hőmérséklethez tartozó Peltier-együttható, valamint a jósági tényező megadása
4. A Seeback-együttható közvetlen mérése
5. A hűtőelem ellenállásának és hőátadási tényezőjének kiszámítása az eddigi adatokból
6. Az egyensúlyi függvény alakjának igazolása
7. Az elem által felvett és különféleképpen leadott hőmennyiségek számarányának kiszámítása, a rendszer ideálisságának vizsgálata
8. +hibaszámítás

**2. Mérőeszközök**

* Peltier-elem a környezettől jól elszigetelve, egyik oldalán (kvázi-)stacionárius hőmérsékletű vízzel hűtve
* Platina hőmérő
* Multiméter
* Áramgenerátor

**3. A mérés elve**

A hűtőelem két nagy Peltier-együtthatójú n és p típusú félvezetőből álló termoelem. A félvezető rudak között a fémes kapcsolatot jó elektromos és jó hővezető vörösréz szolgáltatja. A alul hűtőelem állandó hőmérsékletű hőtartályhoz (vízzel hűtött vörösréz tömbhöz) kapcsolódik jó hőkontaktussal, de elektromosan szigetelve. A hűtendő tér szintén egy vörösréz tömb, melybe platina ellenállás-hőmérőt helyeztünk el. Az áramirányt úgy választjuk meg, hogy a Peltier-elem a felső réztömbtől vonjon el hőt. A mérés megvalósításakor több Peltier-elemet kötünk elektromosan sorba, így nagyobb lesz a hűtőteljesítmény. Az áramot külső generátorról adjuk az elemekre.

**4. A mért adatok**

A jegyzőkönyv írása során a „0°C=273,15 K” konverziós rátát használtam.

**4.1. A kezdeti hőmérséklet**: $T\left(0\right)=14,5\pm 0,05°C$, azaz $T(0)$ hibáját azonosnak veszem a digitális hőmérő leolvasási hibájával (a továbbiakban is).

**4.2. A hűtővíz hőmérséklete**: $T\_{0}=13,3\pm 0,05°C=286,45\pm 0,05 K$. Jól látszik, hogy a hűtött tér nem ideális, azaz $T\left(0\right)\ne T\_{0}$, ennek a későbbiekben még jelentősége lesz.

**4.3. A karakterisztikus idő kiszámítása**: $T\left(0\right)=14,0°C, I=2,5 A$.

Megjegyzés: a mérőlapon nem (egészen) ezek az adatok szerepelnek, mivel a hőmérséklet csökkenése túl gyors volt ahhoz, hogy szabad szemmel követni tudjam, ezért videófelvételt készítettem a mérésről (így egyúttal a mérés is pontosabbá vált; az időt a videóból eltelt idő alapján mértem). Link a file-ra: <http://medve42.web.elte.hu/tle.mp4> .

|  |  |
| --- | --- |
| Eltelt idő (s) | Hőmérséklet (°C) |
| 5 | 13,4 |
| 10 | 11,9 |
| 15 | 10,2 |
| 20 | 8,4 |
| 25 | 7,0 |
| 30 | 5,6 |
| 35 | 4,4 |
| 40 | 3,2 |
| 45 | 2,2 |
| 50 | 1,2 |
| 55 | 0,3 |
| 60 | -0,5 |
| 65 | -1,3 |
| 70 | -2,0 |
| 75 | -2,7 |
| 80 | -3,3 |
| 85 | -3,9 |
| 90 | -4,4 |
| 95 | -5,0 |
| 100 | -5,4 |
| 105 | -5,9 |
| 110 | -6,3 |
| 114 | -6,6 |

Az adatokat GNUplottal ábrázoltam:



A pontokra $T\left(t\right)=A∙e^{-\frac{t}{τ}}+T\_{\infty }$ alakú görbét illesztettem. A kapott paraméterek: az egyensúlyi hőmérséklet $T\_{\infty }=261,9\pm 0,2 K=-11,3\pm 0,2°C$ az időállandó pedig $τ=65,6\pm 0,9 s$, tehát ennek a háromszorosát kellett kivárni az egyensúlyi hőmérséklet beálltához.

**4.4. A maximális hőmérsékletkülönbség meghatározása**

|  |  |
| --- | --- |
| Áramerősség (A) | Egyensúlyihőmérséklet (°C) |
| 0,5 | 6,7 |
| 1,0 | 0,6 |
| 1,5 | -4,6 |
| 2,0 | -9,0 |
| 2,5 | -12,5 |
| 3,0 | -15,3 |
| 3,5 | -17,5 |
| 4,0 | -19,0 |
| 4,5 | -20,0 |
| 5,0 | -20,3 |
| 5,5 | -20,1 |
| 6,0 | -19,5 |
| 6,5 | -18,2 |

Az adatokra GNUplot segítségével másodfokú görbét illesztettem:



Az illesztett görbe egyenlete: $T\left(I\right)=a∙x^{2}+b∙x+c=1,3029∙x^{2}-13,1258∙x+285,593$ (az együtthatók hibája: $∆a=0,02794, ∆b=0,201$, és $∆c=0,3059$). Ebből $I\_{min}$ és $T\_{min}$ elemi analízissel meghatározható: $I\_{min}=5,037 A$, és $T\_{min}=252,53 K=-20,6°C$. Az áramgenerátort $I\_{min}$-re állítva – az egyensúlyi helyzet beállta után – a multiméterről $U\_{min}=2,94 V$ feszültséget olvastam le. Ezek alapján…

* a Seebeck-együttható: $S\_{ab}=\frac{U\_{min}}{T\_{0}}=0,01026 \frac{V}{K}$
* a Peltier-együttható: $P\_{ab}\left(T\_{0}\right)=T\_{0}∙S\_{ab}=U\_{min}=2,94 V$
* a jósági tényező: $z=\frac{2(T\left(0\right)-T\_{min})}{T\_{min}^{2}}=1,1014∙10^{-3}\frac{1}{K}$

Fontos megjegyzés: a mérési leírásban – a többi mérési feladattal ellentétben – nincsen utasítás a fenti adatok hibájának meghatározására (a későbbiekben úgyis meg kell tenni…).

**4.5. A Seebeck-együttható közvetlen mérése**

A változás itt is túl gyors volt ahhoz, hogy szabad szemmel követni tudjam, ezért erről a mérésről is videófelvételt készítettem. Elérhetőség: <http://medve42.web.elte.hu/seebeck.mp4> . A mért adatok:

|  |  |
| --- | --- |
| Hőmérséklet (°C) | Feszültség (mV) |
| -3,9 | 177 |
| -2,5 | 162 |
| -1,4 | 151 |
| -0,4 | 141 |
| 0,5 | 131 |
| 1,3 | 123 |
| 2,1 | 115 |
| 2,8 | 108 |
| 3,5 | 101 |
| 4,1 | 95 |
| 4,5 | 91 |
| 5,2 | 83 |
| 5,7 | 78 |
| 6,1 | 74 |
| 6,6 | 69 |
| 7,0 | 65 |
| 7,4 | 61 |
| 7,7 | 58 |
| 8,1 | 53 |
| 8,4 | 50 |
| 8,7 | 47 |
| 8,8 | 46 |
| 9,2 | 42 |
| 9,5 | 39 |

Az adatokra GNUplot segítségével egyenest illesztettem.



Az egyenes meredeksége: $m=-10,28\pm 0,02$. Így a Seebeck-együttható:

 $S\_{ab}=10,28\pm 0,02\frac{mV}{K}=0,01028\pm 0,00002 \frac{V}{K}$,ami hibahatáron belül jó egyezést mutat a 4.4. pontban kiszámolttal. Az előjelváltás a Seebeck-együttható definíciója miatt következik be: $S=-\frac{dU}{dT}$.

* az összellenállás: $R\_{ab}=\frac{T\_{min}∙S\_{ab}}{I\_{min}}=0,5143 Ω$**.** Hibája:
	+ $I\_{min}$ hibája: $T^{'}\left(I\_{min}\right)=2aI\_{min}+b=0$, tehát $∆I\_{min}=∆a+∆b=0,22 A$, ebből $\frac{∆I\_{min}}{I\_{min}}=0,04$
	+ $T\_{min}$ hibája: $\frac{∆T\_{min}}{T\_{min}}=\frac{∆a}{a}+\frac{∆b}{b}+3∙\frac{∆I\_{min}}{I\_{min}}=0,1568$, így $∆T\_{min}=3,23°C,$ ehhez még hozzáveendő $∆c$, azaz $∆T\_{min}^{\*}=3,54°C$, és $\frac{∆T\_{min}^{\*}}{T\_{min}}=0,1718$
	+ $S\_{ab}$ hibája: $\frac{∆S\_{ab}}{S\_{ab}}=0,002$

Így az összellenállás hibája: $∆R\_{ab}=\left(\frac{∆T\_{min}}{T\_{min}}+\frac{∆S\_{ab}}{S\_{ab}}+\frac{∆I\_{min}}{I\_{min}}\right)∙R\_{ab}=0,1099 Ω$, azaz a korrigált összellenállás:

$R\_{ab}=0,5\pm 0,1 Ω$ **.**

* a hővezetési együttható: $h\_{ab}=\frac{S\_{ab}^{2}}{z∙R\_{ab}}=0,1858 \frac{W}{K}$.
	+ $\frac{∆z}{z}=\frac{∆T(0)}{T(0)}+3∙\frac{∆T\_{min}}{T\_{min}}=0,5188$
	+ $2∙\frac{∆S\_{ab}}{S\_{ab}}=0,004$
	+ $\frac{∆R\_{ab}}{R\_{ab}}=0,2137$

A hővezetési együttható hibája: $∆h\_{ab}=0,1368$, azaz $h\_{ab}=0,19\pm 0,14\frac{W}{K}$, ami igen jelentős. Láthatjuk, hogy az alapadatokban lévő néhány százalékos hiba az utolsó származtatott mennyiségnél már majdnem 75%-os (!) szórást mutat a számított érték körül.

**5. Az egyensúlyi görbe alakjának igazolása**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Áramerősség (A) | Hőmérséklet (°C) | $$\frac{T\left(0\right)-T}{I^{2}}$$ | $$\frac{T}{I}$$ |
| 0,5 | 6,7 | 26,40 | 559,70 |
| 1,0 | 0,6 | 12,70 | 273,75 |
| 1,5 | -4,6 | 7,96 | 179,03 |
| 2,0 | -9,0 | 5,58 | 132,08 |
| 2,5 | -12,5 | 4,13 | 104,26 |
| 3,0 | -15,3 | 3,18 | 85,95 |
| 3,5 | -17,5 | 2,51 | 73,04 |
| 4,0 | -19,0 | 2,02 | 63,54 |
| 4,5 | -20,0 | 1,64 | 56,26 |
| 5,0 | -20,3 | 1,34 | 50,57 |
| 5,5 | -20,1 | 1,10 | 46,01 |
| 6,0 | -19,5 | 0,91 | 42,28 |
| 6,5 | -18,2 | 0,75 | 39,22 |

A kapott görbe:



Meredekség: $m=20,2\pm 0,1$, tengelymetszetek: $x\_{0}=-1,09\pm 0,05$, és $y\_{0}=22,0\pm 0,9$.

* $\frac{h\_{ab}}{S\_{ab}}=18,07≈m$ ($h\_{ab}$ már diszkutált nagy hibahatárán belül van).
* $\frac{R\_{ab}}{2S\_{ab}}=25,02≈y\_{0}$ (szintén hibahatáron belül van).

Tehát az adatok viszonylag jó egyezést mutatnak.

**6. Hőcsere a legnagyobb hűtés állapotában**

* a Peltier-hő: $∆Q\_{J}=P\_{ab}⋅I\_{min}=14,81 (J;$ leadott)
* a Joule-hő: $ΔQ\_{J}=\frac{1}{2}R\_{ab}I\_{min}^{2}=6,52 (J;$ felvett)
* a hővezetés útján felvett hő: $h\_{ab}\left(T\_{0}-T\_{min}\right)=6,30 (J)$

Olybá tűnik, hogy a teljes felvett hőnek kb. 50-50%-a a Joule-hő és a hővezetés útján felvett hő. Azonban van egy 1,99 J nagyságú „defektus” az ideális esetben leadott és a felvett hőmennyiségek között, ez a külső környezettől elvont hő. $\frac{1,99}{14,81}≈0,13$, azaz $\~$**87%-os hatásfokkal sikerült elszigetelnünk a rendszert a környezetétől.** Ez az érték ugyan nagyon bizonytalan a temérdek közelítés és kerekítés miatt, de alapvetően jónak mondható.