1. Bevezetés

A mérés célja a hőmérsékleti sugárzás alapos megismerése volt: a Stefan-Boltzmann állandó meghatároza és egy szürke test átlagos emisszióképességének megmérése. A mérés elméleti háttere részletesen szerepel a rendelkezésünkre álló jegyzetben [1]. A mérés során a következő eszközöket használtuk:

1. félgömb alakú fémedényt, mely belülről kormozott volt; ezt használtuk fekete testnek
2. egy hőszigetelt, fűtésvezérléssel ellátott egy kályhát; ezzel szigeteltük el a fekete testet a külvilágtól és változtattuk a hőmérsékletét.
3. ezüstlemezt; az általa felvett hőt mértük a benne lévő platina ellenállás-hőmérővel
4. áramgenerátort; ez adta az állandó áramot a platina ellenállás-hőmérőnek
5. egy komparátort, melyre a fekete test fűtésének szabályozásához volt szükség
6. egy előerősítőt, mely a hőmérő jelét megfelelő nagyságúra erősítette
7. számítógépet, mely a következ? feladatokat látta el:
   - egy D/A konverteren keresztül referenciafeszültséget adott a komparátornak
   - egy A/D konverteren keresztül digitálissá alakította a beérkező jeleket
   - egy erősítő segítségével felerősítette az A/D konverter bemenetére érkező jeleket
   - egy scanner révén képessé tette az A/D konvertert több csatorna fogadására
8. egy kalibráló normál elemet, az A/D konverter kalibrálásához
9. egy kalibráló feszültségforrást, az előerősítő kalibrálásához
10. egy wolframlámpát, a wolfram átlagos emisszióképességének meghatározásához
11. toroid transzformátort, mellyel a wolframlámpára kapcsolt feszültséget állítottuk

2. A számítógépes rendszer kalibrálása

Az A/D konverter kalibrálásához megmértük a normálelemen, illetve a rövidzáron a konverter által mért feszültségértékeket, úgy, hogy az konverter belső erősítőjét minden lehetséges erősítésre beállítottuk. A mért adatokat az alábbi táblázat tartalmazza:

kimeneti jel U_{10} [V]	**A/D konverter jele** U_2 [V]	**erősítő jele** U_0 [mV]	**kimeneti jel digitekben** U_{10} [digitek]
10.64	5.37	1.08	4095.0
9.47	4.78	0.9610	4007.3
8.337	4.21	0.845	3771.8
7.234	3.65	0.733	3542.7
6.160	3.10	0.624	3304.3
5.127	2.57	0.518	3093.7
4.126	2.07	0.416	2828.3
3.153	1.57	0.317	2694.9
2.216	1.10	0.222	2344.2
1.333	0.65	0.132	2265.5
0.537	0.25	0.050	2029.1
-0.107	-0.06	-0.013	2018.2
-0.527	-0.27	-0.560	1897.9
-1.322	-0.68	-0.137	1761.0
-2.205	-1.12	-0.227	1580.2
-3.142	-1.60	-0.322	1360.3
-4.115	-2.09	-0.421	1074.1
-5.116	-2.60	-0.523	947.5
-6.152	-3.13	-0.629	722.5
-7.223	-3.67	-0.738	503.6
-8.326	-4.23	-0.850	311.9
-9.463	-4.81	-0.966	75.7
-10.632	-5.40	-10850	0.0

A kalibráció első lépéseként az előerősítő erősítését határozzuk meg, azaz megkeressük a lineáris kapcsolatot $U_0 \mapsto U_2$ feszültségek között. Az adatsor az illesztett egyenessel az 1. ábrán látható. A numerikus eredmény pedig:

$$U_2 = A\,U_0 + b \qquad\qquad A = 4974 \pm 3; \quad b = (0 \pm 2)\ \text{mV}$$

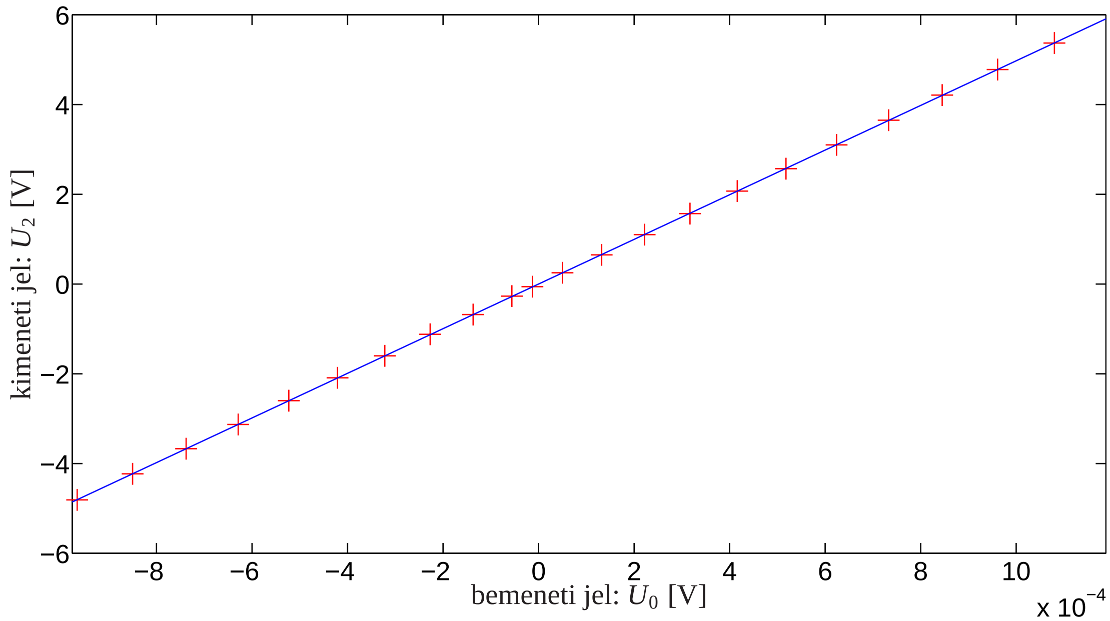
Most pedig megkeressük a függvénykapcsolatot a kimeneti feszültség és a számítógép által kiírt digitek között. Az illesztés eredménye a 2. ábrán látható, a numerikus eredmény pedig:

$$U_2 = a\,D + b \qquad\qquad a = (2.48 \pm 0.5)\ \text{mV}; \quad b = (5.0 \pm 0.1)\ \text{mV}$$

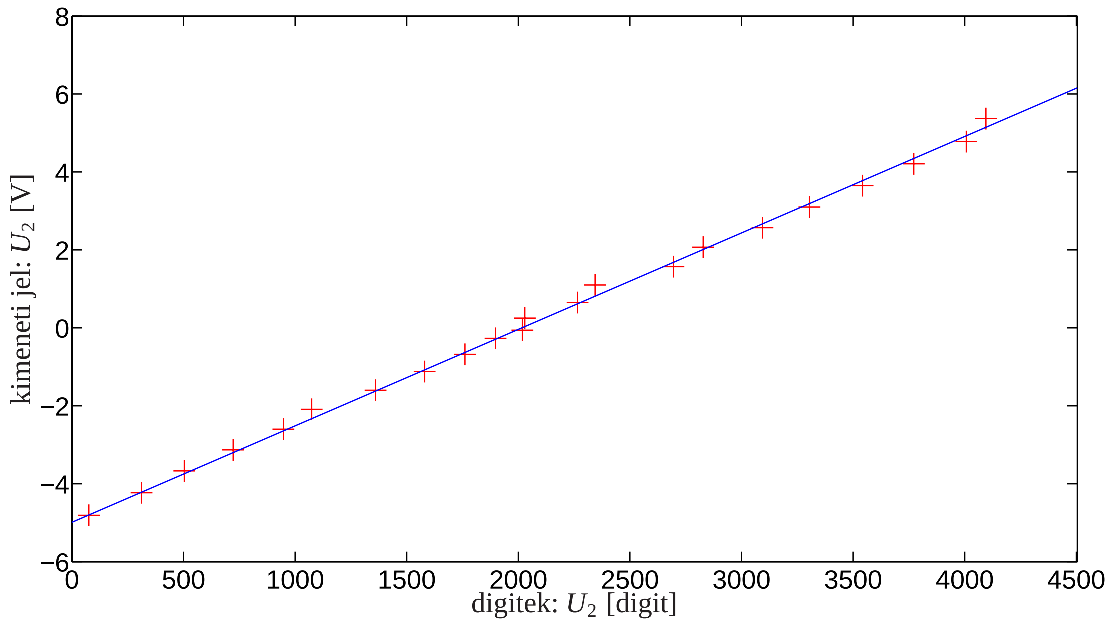
A mérőműszereinket ezzel bekalibráltuk, elkezdjük a mérési feladatokat.

3. A Stefan-Boltzmann-állandó mérése

A mérés elve a következő: felfűtjük az üreget állandó hőmérsékletre, majd egy kis nyíláson keresztül rövid időre behelyezünk egy szobahőmérsékletű ezüstlemezt, melynek hőmérsékletét vas-constantán termopárral mérjük. A termopár hőmérsékletét az idő függvényében számítógéppel



1. ábra. : Az erősítő erősítése. (Az A/D konverter bemenetére adott jel az erősítő bemeneti feszültségének függvényében.)



2. ábra. : A számítógépes kijelző és az A/D konverter bemeneti feszültsége.

követjük nyomon. A számítógép a termopár feszültségével arányos „digitértékeket” rögzíti. Ezek feszültségre való visszaszámlálásához kellenek az előző fejezetben leírt kalibrációk. A termopár hőmérsékletét ezután a feszültségek segítségével egy táblázati adatokra illesztett másodfokú függvénnyel határozzuk meg. A termopár hőmérsékleti időfüggése az alábbi egyenletet elégíti ki [1]:

$$\sigma = \frac{1}{F\left(T_s^4 - T^4\right)} \left\{ mc\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} + \alpha_0 \left(T - T_0\right) + \alpha_l \left(T - T_l\right) \right\} . \tag{1}$$

Az összefüggésben: $F = 1\ \mathrm{cm}^2$ az ezüstlemez felülete, $c = 234.5\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}$ a réz fajhője, $m = 0.97$ g a rézlemez tömege, T_s az üreg hőmérséklete, T az ezüstlemez hőmérséklete, α_0 a nyílásba tett dugó hővezető képessége, T_0 a dugó hőmérséklete, α_l a levegő hővezető képessége és T_l a levegő hőmérséklete a rézlemez körül. A levegő hőmérséklete az üreg hőmérsékletével becsülhető: $T_l = T_s$, a dugó pedig szobahőmérsékletűnek tekinthető: $T_0 = 23\ ^0$C. Az összefüggésben így három szabad paraméterünk maradt: α_0, α_l és a mérni kívánt σ.

Számítógépes adatrögzítéssel tehát megmérjük a rézlemez hőmérséklet-idő függését a rézlemez felfűtési szakaszában. A mért pontsorra az alábbi függvény illesztésével próbálkozunk:

$$T(t) = T_{\mathrm{kezdet}} + T^* \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) . \tag{2}$$

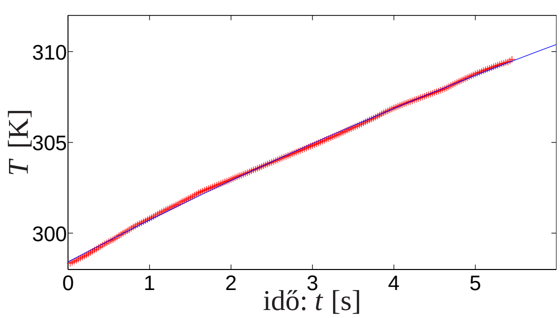
Ez a függvény könnyen differenciálható. A származtatott differenciálhányadost beírjuk az (1) egyenletbe:

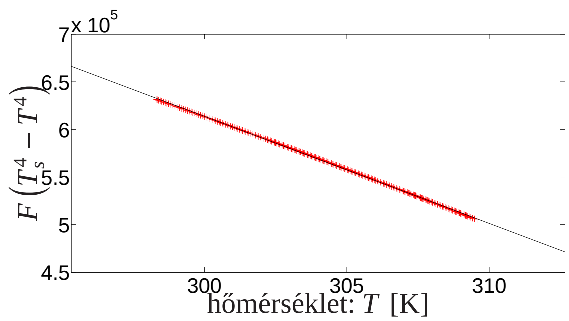
$$F\left(T_s^4 - T^4\right) = \frac{1}{\sigma}\left(-\frac{mc}{\tau} + \alpha_0 + \alpha_l\right) T + \left[\frac{T_{\mathrm{kezdet}} + T^*}{\tau} mc - \alpha_0 T_0 - \alpha_l T_l\right]\frac{1}{\sigma} . \tag{3}$$

Az adott közelítési szinten megpróbálunk egyenest illeszteni a $T \mapsto F\left(T_s^4 - T^4\right)$ függvényre három paraméter illesztésével. A megfelelő paraméterek megkeresése egy paraméter rögzítésével és a többi optimalizálásával történik. A rögzítendő paramétert egy-egy iterációs lépésben mindig cseréljük. Az eljárás néhány lépésen belül konvergál. A Stefan-Boltzmann-állandót és a hővezetési együtthatókat így kaphatjuk meg a legegyszerűbben.

A mérést három üreg-hőmérséklet esetén végeztük el. A következőkben grafikonok formájában bemutatjuk a mérési eredményeket:

3.1. Amikor az üreg hőmérséklete $T_s = 345.4\ ^0$C



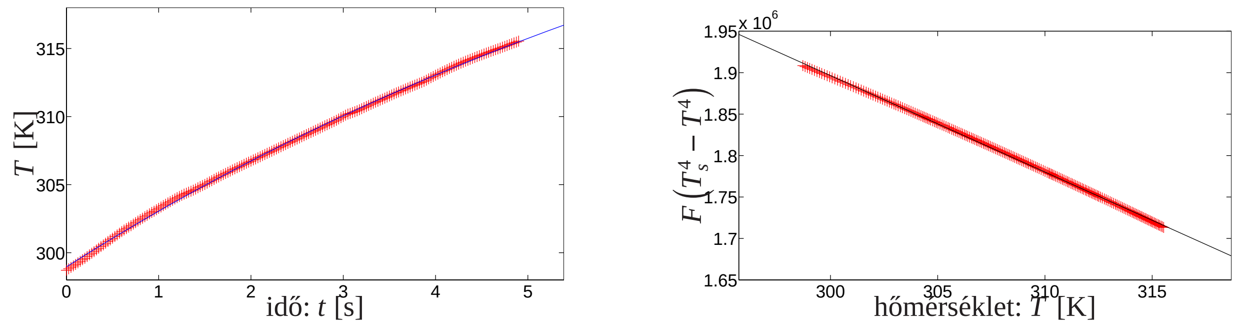


3. ábra. : A rézlemez felfűtési hőmérséklet-idő függése. $T_s = 345.4\ ^0$C

Az illesztett paraméterek:

$$\boxed{\sigma = (5.627 \pm 0.003)10^{-8}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K^4 m^2 s}}} \qquad \alpha_0 = 0.0112\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} \qquad \alpha_l = 1.65\ 10^{-3}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}$$

3.2. Amikor az üreg hőmérséklete $T_s = 405.5\ {}^0\mathrm{C}$

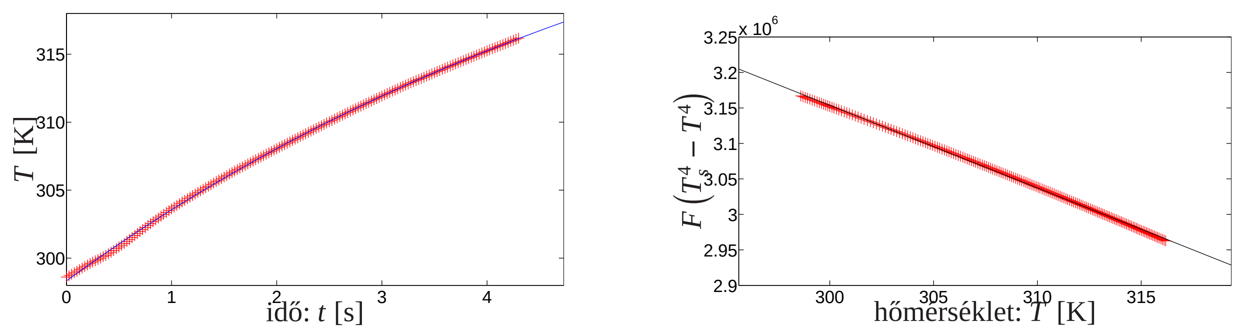


4. ábra. : A rézlemez felfűtési hőmérséklet-idő függése. $T_s = 405.5\ {}^0\mathrm{C}$

Az illesztett paraméterek:

$$\boxed{\sigma = (5.625 \pm 0.002)10^{-8}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}^4\mathrm{m}^2\mathrm{s}}} \qquad \alpha_0 = 0.0114\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} \qquad \alpha_l = 1.43\ 10^{-3}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}$$

3.3. Amikor az üreg hőmérséklete $T_s = 446.1\ {}^0\mathrm{C}$



5. ábra. : A rézlemez felfűtési hőmérséklet-idő függése. $T_s = 446.1\ {}^0\mathrm{C}$

Az illesztett paraméterek:

$$\boxed{\sigma = (5.621 \pm 0.001)10^{-8}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}^4\mathrm{m}^2\mathrm{s}}} \qquad \alpha_0 = 0.0116\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} \qquad \alpha_l = 1.21\ 10^{-3}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}$$

A mért értékek mindhárom mérés esetén nagyon közel esnek egymáshoz és az irodalmi értékhez egyaránt. A mérés tehát sikeres volt! A Stefan-Boltzmann-állandó értéke a három mért értékből számolva:

$$\boxed{\sigma = (5.625 \pm 0.004)10^{-8}\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\mathrm{K}^4}}\ . \tag{4}$$

4. A wolframszál átlagos emissziójának meghatározása

A mérés abból állt, hogy tápegységgel fűtöttünk egy wolfram-izzót, majd az egyensúly beálltával megmérve a feszültségét és áramát, meghatároztuk az izzó teljesítményét. Ez a teljesítmény egyensúlyt tart az izzó által kisugárzott hővel. A mért adatokból ugyancsak ki lehet számolni a wolframszál ellenállását és táblázati adatok segítségével a hőmérsékletét is. Így az energiamérlegben csupán az emissziós tényező marad ismeretlen paraméter. A mért és számolt adatokat az alábbi táblázat szemlélteti:

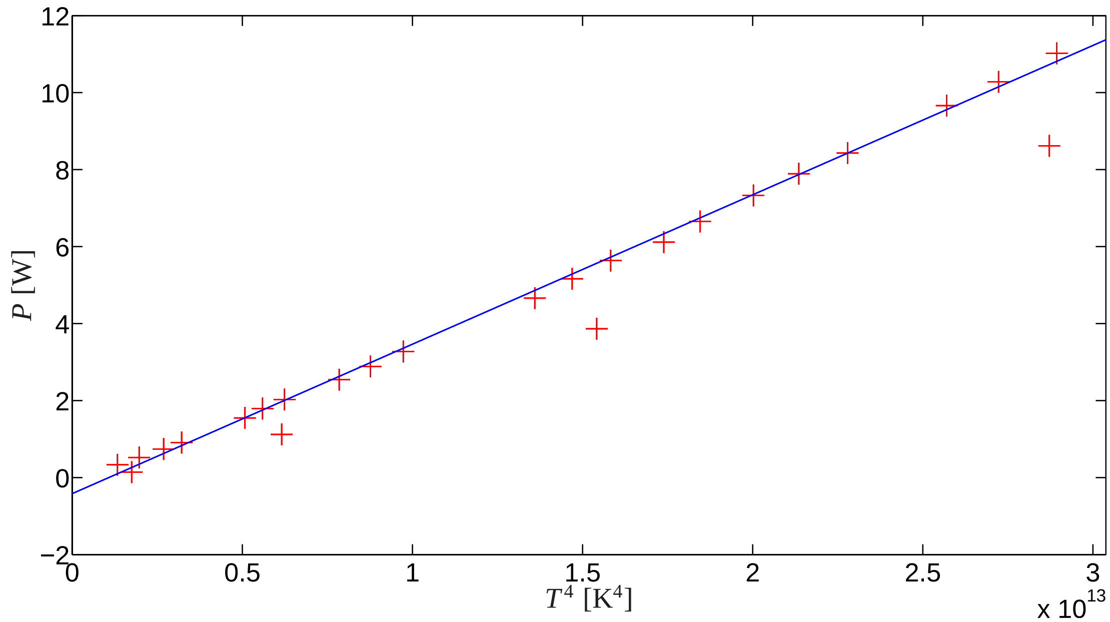
feszültség	**áramerősség**	**teljesítmény**	**ellenállás**	**hőmérséklet**	
U [V]	I [mA]	P [W]	R/R_{szoba}	T [10^3K]	T^4 [10^{12}K^4]
1.929	73.4	0.141	5.429	1.149	1.748
2.837	117.0	0.332	5.005	1.073	1.330
3.767	138.4	0.521	5.62	1.184	1.967
4.704	157.6	0.741	6.166	1.28	2.687
5.350	170.0	0.909	6.5021	1.339	3.215
6.539	171.6	1.122	7.873	1.575	6.157
7.470	207.5	1.550	7.438	1.500	5.075
8.150	220.0	1.7930	7.65	1.537	5.594
8.807	230.2	2.027	7.904	1.580	6.240
10.20	249.2	2.541	8.456	1.673	7.848
11.05	261.3	2.887	8.737	1.720	8.766
11.95	274.0	3.274	9.010	1.766	9.731
13.00	208.3	2.707	12.894	2.384	3.232
13.90	278.1	3.865	10.326	1.981	1.541
14.98	311.1	4.660	9.948	1.920	1.359
15.95	323.7	5.163	10.180	1.957	1.469
16.85	334.5	5.636	10.407	1.994	1.582
17.80	343.6	6.116	10.703	2.042	1.738
18.73	355.2	6.652	10.894	2.072	1.845
19.90	368.3	7.329	11.163	2.115	2.002
20.85	378.5	7.891	11.381	2.149	2.135
21.76	387.4	8.429	11.605	2.184	2.279
22.78	378.3	8.617	12.441	2.314	2.871
23.72	407.3	9.661	12.032	2.251	2.570
24.68	416.5	1.027	12.242	2.284	2.722
25.79	427.3	1.102	12.470	2.319	2.893

A jegyzet szerint a teljesítmény és a teljesítmény között az alábbi összefüggés áll fenn:

$$\varepsilon F = \frac{P}{\sigma T^4} \, . \qquad (5)$$

Az emisszióképességet így egy egyszerű egyenesillesztésből kapjuk, melyet a 6. ábrán láthatunk.

A grafikontól elütő pontok abból adódhattak, hogy az értékeket az egyensúly beállta előtt olvas-



6. ábra. : A wolframszál teljesítménye a hőmérséklet függvényében.

tuk le, azaz hibáztunk a mérés közben. Látjuk, továbbá, hogy az illesztett egyenes nem megy át az origón. Ez talán azért van így mert nagyvonalúan hanyagoltuk el bizonyos hőelvezetési jelenségeket. A wolfram szál emmisszióképessége ekkor:

$$\varepsilon F = \frac{a}{\sigma}\ , \tag{6}$$

ahol $a = (3.88 \pm 0.07)10^{-13}\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}^4}$ az illesztett egyenes meredeksége. A wolframszál geometriai adatainak mérésére sajnos nem adódott lehetőségünk, ezért be kell érnünk az εF szorzat értékének meghatározásával:

$$\boxed{\varepsilon F = (6.9 \pm 0.1)10^{-6}\ \mathrm{m}^2}\ . \tag{7}$$

Hivatkozások

[1] *Modern fizikai laboratórium*