



## Országos Szilárd Leó Fizikaverseny Döntő 2016. Kísérleti feladat

### Hőmérsékleti sugárzás tulajdonságainak (Stefan-Boltzmann törvény) mérése

A Stefan-Boltzmann törvény szerint egy  $T$  hőmérsékletű fekete test  $P$  sugárzási teljesítménye a hőmérséklet negyedik hatványával arányos:  $P = A \cdot \sigma \cdot T^4$ , ahol  $A$  a sugárzó felület,  $T$  a hőmérséklet Kelvinben, és  $\sigma$  a Stefan-Boltzmann állandó, melynek értéke:  $5,62 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ .

a) A mérés során kísérelje meg igazolni, hogy a kisugárzott teljesítmény a sugárzó test abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával arányos ( $P \sim T^4$ )!

b) A mért és a megadott adatok segítségével számítsa ki a sugárzást kibocsátó fekete test (egy izzólámpa wolframszálának) felületét!

#### 1) A teljesítmény mérése

A mérés során a sugárzónk egy wolframszálás izzólámpa. Az általa kibocsátott sugárzási teljesítményt úgy mérjük, hogy egy belül feketére festett rézcsövet helyezünk köré, amely elnyeli a sugárzást, és ezáltal kissé felmelegszik. Az elnyelt energiát a rézcső felmelegedéséből a hőmennyiség kiszámításához használt egyenlettel határozzuk meg:

$$Q = c \cdot m \cdot (T_r - T_0)$$

A rézcső által elnyelt sugárzási teljesítmény az elnyelt hő ( $Q$ ) és a  $T_0$  hőmérsékletről a  $T_r$  hőmérsékletre melegedéshez szükséges időnek az ismeretében kiszámítható.

A vörösréz csövek tömegét ( $m$ ) a mérőhelyen lévő papíron találjuk, a vörösréz fajhője  $c = 390 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ . A rézcsövek méretei: 35 mm hosszú, belső átmérő 13 mm, külső átmérő 15 mm. A rézcső két vége felé induló sugárzás nem a rézcsövet melegíti, emiatt ezekből a geometriai adatokból meghatározható, hogy az izzólámpa által kibocsátott sugárzási teljesítmény kb. 35%-a elvész a mérés számára (a sugárzás érzékelésének „geometriai hatásfoka” ~65%).

A rézcsövek  $T_r$  hőmérsékletét elektronikusan egy termisztorral mérjük. A termisztor olyan félvezető anyagból készített eszköz, ami a hőmérsékletváltozás hatására megváltoztatja az ellenállását, így hőmérőként használható - de használat előtt még kalibrálnunk kell. A termisztor ellenállása exponenciális függvénye a  $T_r$  hőmérséklet reciprokának:

$$R_t(T_r) = R_{t_0} \cdot e^{\frac{E_0}{k} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Itt  $R_{t_0}$  a termisztor  $T_0$  hőmérsékleten (Kelvin) mért ellenállása,  $E_0$  a félvezetőre jellemző konstans energia és  $k$  a Boltzmann állandó. A kalibrálást több, hőmérővel mért (ismert hőmérsékletű) pontban mért termisztor-ellenállás segítségével lehet elvégezni. A függvény ismeretében meggondolható, hogy a mért ellenállás ( $R_t$ ) logaritmusát érdemes ábrázolni a  $T_r$  (Kelvinben mért) hőmérséklet reciprokának függvényében, mert így a kalibrálás utáni leolvasás egyszerűbb és pontosabb lesz. A kalibrálás után a megmért ellenállás ismeretében a termisztor hőmérsékletének a reciproka leolvasható a kalibráló görbéről.



Együttműködő partnerünk: MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt.



## Országos Szilárd Leó Fizikaverseny Döntő 2016. Kísérleti feladat

### 2) Az izzószál hőmérsékletének mérése

A teljesítmény hőmérséklettől való függésének igazolásához a kibocsátó test (izzószál) hőmérsékletét is ismerni kell. Az izzószál ( $T_i$ ) hőmérsékletét annak alapján határozzuk meg, hogy a wolfram ellenállása jó közelítéssel a hőmérséklet lineáris függvénye:

$$R_i(T_i) = R_{i0}[1 + \alpha(T_i - T_0)]$$

Itt  $R_{i0}$  az izzólámpa  $T_0$  szobahőmérsékleten mért ellenállása (ezt is a mérőhelyen lévő papíron találjuk, de meg is mérhetjük a multiméterrel),  $R_i$  az izzószál  $T_i$  hőmérsékleten mért ellenállása, és  $\alpha \approx 4.5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , a wolfram ellenállásának a hőmérsékleti együtthatója. A wolframszál  $R_i$  ellenállását a rajta átfolyó áram és a rajta eső feszültség mérésével kapjuk meg. Az  $R_i$  ellenállás megméréseivel a fenti összefüggés alapján a szál hőmérséklete meghatározható.

### 3) A méréshez szükséges eszközök:

- |   |                                  |                             |
|---|----------------------------------|-----------------------------|
| - Hőmérő  | - Állítható tápegység            | - Stopper, vagy más időmérő |
| - Termisztor  | - 12 V-os izzólámpa, foglalatban | - 2 db digitális multiméter |
| - 3 db, 200 cm <sup>3</sup> -es laboratóriumi főzőpohár | - 5 db, belül fekete rézcső      | - Állvány                   |
| - forró és hideg vízzel                                 | - Huzalok                        | - Szigetelőszalag           |

### Mérési feladatok:

- 1) **Gondosan olvassuk végig a teljes mérésleírást!**
- 2) Hőmérővel mérjük meg a  $T_0$  szobahőmérsékletet, és számoljuk át Kelvinbe.
- 3) Mérjük meg a wolframszál ( $R_{i0}$ ) és a termisztor ellenállását ( $R_{t0}$ ) szobahőmérsékleten ( $T_0$ ).
- 4) Végezzük el a termisztor kalibrálását a hőmérő segítségével. (A termisztor *névleges* ellenállása nagyságrendileg 1000 Ohm.) A különböző hőmérsékleteket forró és hideg víz keverésével állítsuk elő. Javasoljuk minimum 8 pont felvételét.
- 5) Állítsuk össze úgy a kapcsolást, hogy mérni tudjuk az izzólámpára jutó feszültséget, a lámpán átfolyó áramot, és a termisztor ellenállását. FONTOS! Írjuk fel az izzólámpa sorszámát a jegyzőkönyvre!
- 6) A méréshez szigetelőszalaggal ragasszuk a termisztor az egyik rézcső közepére, és állítsunk be egy olyan feszültséget, ahol az izzólámpa már éppen világítani kezd. Ezt követően helyezzük rá a rézcsövet a lámpára. **Figyeljünk rá hogy az izzó ne érjen hozzá a csőhöz!** Indítsuk el a stoppert, és figyeljük a termisztor ellenállásának a változását. Mérjük addig, amíg a termisztor ellenállása érzékelhetően meg nem változik. Ekkor kapcsoljuk ki a lámpát, és várjunk rövid ideig, hogy a rézcső hőmérséklete a hővezetés révén kiegyenlítődjön, de még a környezetbe történő hővesztés elhanyagolható legyen. Jegyezzük fel a mérés alatt az izzóra eső feszültség, az izzón folyó áram, a termisztor ellenállása, és a mérési időtartam értékeit!
- 7) Cseréljük csövet (hogy mindig szobahőmérsékletre induljon a melegítés), és végezzük el ismét a 6. pontban leírt mérést megnövelt lámpafeszültséggel. A feszültséget növelve mérjük összesen legalább 8 hőmérsékleten. A feszültségek maximuma 12 V lehet, ügyeljünk rá hogy az izzólámpa ne égjen ki!



Együttműködő partnerünk: MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt.



## Országos Szilárd Leó Fizikaverseny Döntő 2016. Kísérleti feladat

- 8) Számítsuk ki a rézcsövek által elnyelt hősugárzás teljesítményét ( $P$ ) minden hőmérsékleten!
- 9) Ábrázoljuk a kiszámított sugárzási teljesítményt a wolframszál hőmérséklete negyedik hatványának függvényében  $P = f(T_i^4)$  (milliméterpapíron vagy Excelben), és állapítsuk meg a grafikonra illesztett egyenes meredekségét (vonalzóval vagy számítógéppel).
- 10) Számítsuk ki a sugárzást kibocsátó wolframszál felületét! *Emlékeztető:* a mérés geometriai határfoka 0,65 (lásd korábban).
- 11) Milyen hibákkal és mérési bizonytalanságokkal terhelt a mérés? Mekkora ezek nagyságrendje, és mekkora lehet a mérés teljes bizonytalansága?
- 12) Készítsünk jegyzőkönyvet a mérésről, tapasztalatainkról. Ha számítógépes fájlt használunk, a fájlt az „Asztal”-ra tegyük, a fájlnev pedig legyen XX.yyy, ahol XX a versenyző kódja, yyy a kiterjesztés (pl. „84.xls”).

**A pontozás alapja a jegyzőkönyv minősége: annak rendezettsége, a mért és számított adatok közlési formája, a gondolatmenet követhetősége, valamint az, hogy a mérés a jegyzőkönyv alapján megismételhető-e. Az egyes mérőhelyek nem egyformák (mi minden mérőhelyet előre lemértünk, az eltéréseket a javításnál figyelembe vesszük). A mérési adatok esetleges manipulálása a szebb irodalmi egyezés érdekében felesleges, illetve szigorúan tilos (pontlevonással jár)!**

### Megjegyzések:

- **Ne habozzunk segítséget kérni, ha valami furcsaságot észlelünk a mérés során!** Egy, az alkatrészeket vagy műszereket érintő technikai probléma könnyen orvosolható a kérdéses eszköz cseréjével, ellenkező esetben értékes időt vehet el a mérésből.
- A mérés során végig figyeljünk a kontakthibákra mind az izzónál, mind a termiszturnál!
- A tápegység áramkorlátozó („Current”) gombját tekerjük maximumra!
- Az izzónál 100 mA nagyságrendű áramokat kell mérni.
- Maximum 12 V-ig menjünk fel az izzó feszültségével.
- **Ügyeljünk arra, hogy az izzó ne égjen ki!**
- A tizedesjegyeket csak a mérés pontosságának határain belül értelmes megadni. Egy példával élve egy 10% relatív bizonytalanságú mérés esetén értelmetlen 3 értékes tizedesjegy pontossággal dolgozni. (Ezzel egyben időt is spórolunk a jegyzőkönyv készítése során.)

### **FONTOS!**

Beadandó az olvashatóan írt „Mérési jegyzőkönyv”, amely tartalmazza a mérést végző azonosítóját, a mérések minden fontos paraméterét, a mért nyers adatokat, az eljárást (lépésenként), amellyel a végeredményhez eljutottunk, a számított részeredményeket, a végeredmény(ek)e)t, a végeredmény(ek) bizonytalanságát és a bizonytalanság kiszámítási vagy becslési módját, az eredmények diszkutálását, valamint minden olyan információt, amely a mérés reprodukáláshoz szükséges. **A mérési jegyzőkönyvnek olyannak kell lenni, hogy annak alapján bárki a mérést megismételhesse, és (a mérés bizonytalanságán belül) hasonló eredményt kaphasson.**

A jegyzőkönyv beadható tisztán elektronikus formában is, ezesetben a papírra írjuk rá hogy a jegyzőkönyv elektronikusan került benyújtásra, és adjuk meg a fájl(ok) neveit.



Együttműködő partnerünk: MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt.