

Országos Szilárd Leó fizikaverseny II. forduló, 2014. április 12.
Mérési feladat

A Planck- és a Boltzmann-állandók hányadosának mérése

A hőmérsékleti sugárzás a XIX – XX századok fordulóján egyike volt a természettudomány nagy nyitott kérdéseinek. A hőmérsékleti sugárzás elméleti leírásához Plancknak fel kellett tennie, hogy az energia diszkrét kvantumokban terjed. Ez a később helyesnek bizonyuló feltételezés lett a kvantummechanika alapja.

A mérés során alkalmazzuk a hőmérsékleti sugárzás törvényeit, megvizsgáljuk egy izzólámpa sugárzásának adott hullámhosszon mért intenzitását a hőmérséklet függvényében, és ennek segítségével megállapítjuk a Planck- és Boltzmann-állandók hányadosát.

A mérés elve:

Planck törvénye alapján egy ideális fekete test egységnyi felülete által a felületre merőleges irányban, egységnyi térszögben és $[\lambda, \lambda + \Delta\lambda]$ hullámhossz-intervallumban kisugárzott teljesítmény:

$$P_{\lambda} = 2hc^2 \frac{I^{-5}}{\exp\left\{\frac{ch}{\lambda kT}\right\} - 1} d\lambda$$

ahol c a fény sebessége, λ a hullámhossz, k a Boltzmann-állandó, h a Planck-állandó és T a sugárzó test abszolút (Kelvin) hőmérséklete.

A mérésen szóba jöhető hőmérsékleti sávban (~ 300 K szobahőmérséklettől legfeljebb a wolfram ~ 3700 K olvadáspontjáig) a Planck-féle sugárzási törvény nevezőjében az exponenciális tag mellett a „-1” elhanyagolható. A wolfram sugárzó $\lambda \pm \Delta\lambda/2$ hullámhossz-tartományba eső $I_{\lambda}(T)$ intenzitása tehát jó közelítéssel:

$$I_{\lambda}(T) \sim 2hc^2 I^{-5} \exp\left\{-\frac{ch}{\lambda kT}\right\}$$

Az összefüggés mindkét oldalának természetes alapú logaritmusát véve:

$$\ln(I_{\lambda}(T)) = A - \frac{M}{T}$$

Ahol $A \sim \ln(2hc^2 I^{-5})$, $M = \frac{ch}{k}$.

Tehát, a wolframizzó fényéből kiszűrte, adott színű fény intenzitását és a szál hőmérsékletét mérve, a kapott adatokból az $\ln(I_{\lambda}(T)) = f(1/T)$ egyenes M meredekségét meghatározva, λ és a c fénysebesség ismeretében h/k értéke kiszámítható.

Országos Szilárd Leó fizikaverseny II. forduló, 2014. április 12.

Mérési feladat

A h/k meghatározásához szükséges mennyiségek mérése

Az izzószál (T) hőmérsékletét a rajta átfolyó áram és a rajta eső feszültség méréseivel, majd az alábbi közelítésből számítással kapjuk meg:

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)] \text{ és } T = T_0 + \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{\alpha}$$

Itt $R_0 = 9 \text{ Ohm}$ és R az izzószál T_0 és T hőmérsékleten vett ellenállása, $\alpha \approx 4.5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. A szobahőmérsékletet tekintjük $\sim 20^\circ \text{C}$ -nak.

A megvilágítás intenzitását egy fotodióda méri. A fotodióda áramerősségét vegyük arányosnak a ráeső fény intenzitásával. A fotodióda árama $1\text{-}500 \mu\text{A}$ nagyságrendbe esik.

A méréshez használt eszközök:

- Vörös színszűrő, $\lambda = 620 \text{ nm} \pm 15 \text{ nm}$
- Állítható tápegység
- 12 V-os izzó, Fotodióda
- Huzalok, optikai árnyékoló elemek
- Két digitális multiméter

Mérési feladatok:

- 1) **Gondosan olvassuk végig a teljes mérésleírást!**
- 2) Szereljük össze az összeállítást!
- 3) FONTOS! Írjuk fel az izzó sorszámát a jegyzőkönyvre!
- 4) Az izzóra eső feszültség folyamatos változtatása mellett mérjük le **legalább** 10 pontot. Jegyezzük fel az izzóra eső feszültség, az izzón folyó áram és a dióda áram értékeit.
- 5) Ábrázoljuk az $\ln(I) - 1/T$ egyenest milliméterpapíron vagy Excelben.
- 6) Állapítsuk meg az egyenes meredekségét: illesszünk egyenest (vonalzóval vagy számítógéppel) a kapott pontokra.
- 7) A kiszámított h/k arányt adjuk meg az irodalmi érték %-ában **IS!**
- 8) Milyen szisztematikus hibákkal és mérési bizonytalanságokkal terhelt a mérés? Mekkora ezek nagyságrendje, és mekkora lehet a mérés teljes bizonytalansága?
- 9) Ha számítógépes fájlt használunk, a fájlt az „Asztal”-ra tegyük, a fájlnev pedig 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. A minél pontosabb irodalmi egyezés egy bizonyos tól-ig skálán részpontot ér: az egyes mérőhelyek nem egyformák (mi minden mérőhelyet előre lemértünk, az eltéréseket a javításnál

Országos Szilárd Leó fizikaverseny II. forduló, 2014. április 12.

Mérési feladat

figyelembe vesszük). A mérési adatok esetleges manipulálása a szebb irodalmi egyezés érdekében felesleges, illetve szigorúan tilos (pontlevonással jár)!

Megjegyzések:

- A mérés során végig figyeljünk a kontakthibákra mind az izzónál, mind a diódánál!
- A tápegység áramkorlátozó („Current”) gombját tekerjük maximumra!
- A diódánál μA , az izzónál 100 mA nagyságrendű áramokat kell mérni. Ha nem egyformák, az érzékenyebb műszer legyen a diódánál!
- A diódát olyan polaritással kössük be, hogy a műszer pozitív áramot mutasson!
- Maximum 15 V-ig menjünk fel az izzó feszültséggel. **Ügyeljünk arra, hogy az izzó ne égjen ki!**
- 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 tizedesjegyeket csak a mérés pontosságának határain belül értelmes megadni. Extrém 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 reprodukálásához szükséges. **A mérési jegyzőkönyvnek olyannak kell lenni, hogy annak alapján bárki a mérést megismételhesse, és (a mérés bizonytalanságán belül) hasonló eredményt kaphasson.**