

A Planck- és a Boltzmann-állandók hányadosának mérése

A mérés célja:

- Elemi fizikai állandók arányának megállapítása, a hőmérsékleti sugárzás törvényeinek alkalmazása.

Ennek érdekében :

- Megvizsgáljuk egy izzólámpa sugárzásának spektrális eloszlását a volfrámszál hőmérsékletének függvényében.

Ismételje át a *Hőmérsékleti sugárzás vizsgálata* c. mérés elméleti anyagát. Az alábbiakban annak csak rövid kivonatát ismertetjük.

1. Elméleti összefoglaló

Valamely test a abszorpcióképessége a testre eső sugárzási energiának az a tört része, amelyet a test elnyel (nem ereszt át, nem ver vissza). (Hasonló módon definiálható a d átteresztő- és az r reflektálóképesség. $a + d + r = 1$) A test e emisszió képességén a test felületének 1 cm^2 -es darabja által 1 s alatt az egységnyi térszögben, a felület normálisának irányában kibocsátott fényenergiát értjük.

Mind a , mint e a T hőmérsékleten és a λ hullámhosszon kívül nagy mértékben függ a test különböző sajátosságaitól. Azt az ideális testet, amely a rá eső bármely hullámhosszúságú sugárzást teljesen elnyeli, abszolút fekete testnek hívjuk. Ennek abszorpcióképessége tehát $A = 1$, emisszió képességét pedig jelöljük E -vel.

Az e/a viszony minden testnél ugyanaz, és csak λ -nak és T -nek a függvénye:

$$\frac{e}{a} = \frac{E}{A} = E(\lambda, T)$$

Az $E(\lambda, T)$ kifejezés tehát megadja a fekete test által kisugárzott energia hullámhossz szerinti eloszlását a hőmérséklet függvényében. Ez Kirchhoff törvénye. Kiemeljük, hogy a törvény nemcsak az összes sugárzásra, hanem minden egyes hullámhosszra igaz.

A fekete test $E(\lambda, T)$ hőmérséklet- és hullámhosszfüggését a Planck-féle sugárzási törvény adja meg:

$$E(\lambda)d\lambda = 2c^2 h \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{ch}{\lambda kT}} - 1} d\lambda$$

(1)
ahol

c a fény sebessége,
 λ a hullámhossz,
 k a Boltzmann-állandó,
 T a sugárzó test abszolút hőmérséklete.

A kifejezés jelentése: a fekete test által kisugárzott energia értéke adott hőmérsékleten a $\lambda, \lambda + d\lambda$ hullámhossz intervallumban. A fekete test sugárzását leíró összefüggések nem tartalmaznak semmilyen anyagi állandót, ezért az abszolút fekete test a sugárzások mérésének sugárforrás-standardja. Az abszolút fekete test gyakorlati megvalósításának nehézségei és nehezen mérhető spektrális eloszlása miatt az abszolút fekete test helyett sztenderd wolfrámszálalámpát szokás használni.

Esetünkben a wolfram hőmérsékleti sugárzásának energia eloszlását az alábbi megfontolások alapján adhatjuk meg:

A mérésben előforduló hőmérsékleti sávban (300 K- 3000 K) a Planck-féle sugárzási törvény exponenciális tagja mellett az „1” elhanyagolható, és így ez a Wien-féle közelítésbe megy át:

$$E(\lambda)d\lambda = 2c^2 h \lambda^{-5} e^{-\frac{ch}{\lambda kT}} d\lambda \quad (2)$$

Felhasználva, hogy

$$e(\lambda, T) = a(\lambda, T)E(\lambda, T), \quad (3)$$

$$e_\lambda d\lambda = a(\lambda, T)2c^2 h \lambda^{-5} e^{-\frac{ch}{\lambda kT}} d\lambda \quad (4)$$

ahol $a(\lambda, T)$ a wolfram abszorpcióképessége. Ez 1000 és 1800 °C között jó közelítéssel állandónak vehető a mérésben használt hullámhosszak esetén.

2. A mérés elve

Egy wolfrámsugárzó $\lambda + d\lambda$ hullámhossztartományba eső $I_\lambda(T)$ intenzitása (4) alapján a következő:

$$I_\lambda(T) = C_\lambda a(\lambda, T)2c^2 h \lambda^{-5} e^{-\frac{ch}{\lambda kT}} \quad (5)$$

ahol C_λ arányossági tényező.

Az (5) összefüggés mindkét oldalának természetes alapú logaritmusát véve:

$$\ln I_\lambda(T) = A - \frac{B}{T} \quad (6)$$

ahol

$$A = \ln C_\lambda a(\lambda, T) 2c^2 h \lambda^{-5}, \quad (7)$$

$$B = \frac{ch}{k\lambda}. \quad (8)$$

A wolframizzó fényéből kiszűrt, adott színű fény intenzitását és a szál hőmérsékletét mérve, a kapott adatokból az $\ln I_\lambda - \frac{1}{T}$ egyenes meredekségét meghatározva, λ ismeretében lehet a $\frac{h}{k}$ értékét kiszámítani.

Az izzószál hőmérsékletét az átfolyó áram és a rajta eső feszültség mérésével, ellenállásának kiszámításával az alábbi közelítő polinom segítségével állapítjuk meg:

$$T = 101,86399 + 216,12572 \left(\frac{R_T}{R_{300}} \right) - 3,15479 \left(\frac{R_T}{R_{300}} \right)^2 + 0,04911 \left(\frac{R_T}{R_{300}} \right)^3$$

3. A méréshez használt eszközök

- Wolframszál izzólámpa 12 V, 35W, (lámpaházban, kivezetésekkel), optikai padon csúsztható

- 4 színszűrő optikai padra erősítve
- OHMEG ST-255 tápegység
- 2 db HAMEG multiméter
- GOM-802 milliohm-mérő
- Fényintenzitás-mérő (Luxmérő)

A színszűrők hullámhossz-adatai:

- Sárga: 570±60 nm
- Narancs: 650±90 nm
- Zöld: 540±40 nm
- Kék: 470±60 nm

4. Mérési feladatok

Mérje meg az izzó hidegellenállását! A lámpaház végénél a vezetékeken levő két banánhüvelyt kösse össze a GOM-802 milliohm-mérővel (négyhuzalos ellenállás-mérés!), a leolvasott érték az izzó hideg ellenállása. Ügyeljen arra, hogy a csatlakozá-

sok biztos kontaktust adjanak. Ne felejtse el feljegyezni a laboratórium hőmérsékletét!

1. A lámpát árammérő közbeiktatásával kösse rá a tápegységre, és a lámpaház mögötti két banánhüvelyen mérje az izzón eső feszültséget! Kapcsolja be a tápegységet! A tápegység feszültségének szabályozásával az izzón eső feszültséget állítsa 3 V-ra. Ezt az értéket jegyezze fel az izzón átfolyó árammal együtt! Tolja az izzót és a fénymérőt tartalmazó állványt egymás után az egyes színszűrőkhöz, és olvassa le mindegyiknél a fénymérő által jelzett értéket.
2. Végezze el a 2. feladatot az izzón eső feszültség 12 V-ig, voltonként való növelése mellett. Minden feszültség beállításnál olvassa le az izzón átfolyó áramot is, és ebből számolja az ellenállást Ohm törvényével! Így mind a négy színhez kap egy $I_\lambda - T$ adat-sort.
3. Ábrázolja mind a négy színszűrő esetében az $\ln I_\lambda$ adatokat $\frac{1}{T}$ függvényében. Illesszen a pontokra egyenest, és a színszűrők hullámhossz-adatai alapján az egyenesek meredekségéből számítsa ki $\frac{h}{k}$ értékét mind a négy esetben. Számítsa ki ezek átlagát, és vesse össze eredményét a $\frac{h}{k}$ arány irodalmi értékével.

A mérés folyamán ügyeljen arra, hogy az izzóra ne jusson 12V-nál nagyobb feszültség! A mérőszoba teljes besötétítésével biztosítsa, hogy a fénymérőbe csak az izzó fénye jusson!

Irodalom

Budó Ágoston–Mátrai Tibor: Kísérleti fizika III. 304-307.§.

A hőmérsékleti sugárzás vizsgálata c. mérés leírása