

Elméleti forduló²

1. feladat. Néhány (egymástól független) probléma.

A) Egy „halálugró” (bungee jumper) leugrik egy hídról. A derekára kötött rugalmas kötél másik vége a hídrhoz van erősítve. A hídról lelépve nyugalmi helyzetből kezd zuhanni. A mozgás során az ember nem érinti a vizet. Az ugró ember tömege m , a kötél nyújtatlan hossza L , a kötél direkciós ereje (az az erő amely a kötelet 1 m-rel nyújtja meg) k , a gravitációs állandó g .

A feladat során feltételezzük, hogy

- az ember tömegpontként kezelhető,
- a kötél tömege elhanyagolható m -hez képest,
- a kötél a Hooke-törvénynek megfelelően viselkedik,
- a légellenállás elhanyagolható.

Határozd meg

- a) az ugró ember y elmozdulását, amikor először kerül nyugalmi helyzetbe,
- b) az ugró ember maximális v sebességét az ugrás során,
- c) azt a t időt, ami addig telik el, amíg az ugró először kerül nyugalmi helyzetbe!

B) Egy hőerőgép két egyforma test között működik. A testek hőmérséklete kezdetben T_A , ill. T_B ($T_A > T_B$), mindkettő tömege m és fajhője s . A testek környezetében a nyomás nem változik, és halmazállapot-változások sem történnek.

a) Határozd meg a testek végső T_0 hőmérsékletét, ha a hőerőgép az elvileg lehetséges maximális munkát végzi el működése során! (Részletes levezetés szükséges.)

b) Vezesd le az így nyerhető maximális munkát kifejező képletet!

c) Egy konkrét esetben a hőerőgép két víztartállyal működik, térfogatuk $2,50 \text{ m}^3$. Az egyik hőmérséklete 350 K , a másiké 300 K . Számítsd ki a maximálisan nyerhető munkát!

A víz fajhője $4,19 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, a víz sűrűsége $1,00 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

C) Tételezzük fel, hogy a Föld keletkezésekor a ^{238}U és a ^{235}U izotópok jelen voltak, bomlástermékeik viszont hiányoztak. A ^{238}U és a ^{235}U bomlását használjuk fel a Föld T életkorának meghatározásához.

a) A ^{238}U izotóp felezési ideje $4,50 \cdot 10^9$ év. A bomlástermékek felezési ideje ehhez képest olyan rövidnek tekinthető, hogy létezésüket első közelítésben elhanyagolhatjuk. A bomlási sorozat végül a stabil ^{206}Pb izotópban végződik.

Fejezd ki a ^{238}U izotóp bomlása során keletkező ^{206}Pb atomok számát (jelöld ezt a számot ^{206}n -nel), az adott időpontban levő ^{238}U atomok számával (jelöld ezt a számot ^{238}N -nel) és a ^{238}U felezési idejével, az idő függvényében! (Célszerű az időt 10^9 év egységekben mérni.)

b) Hasonlóan az előbbi pontban leírtakhoz a ^{235}U izotóp $0,710 \cdot 10^9$ év felezési idővel rövid felezési idejű bomlástermékeken keresztül stabil ^{207}Pb izotópot eredményez. Fejezd ki ^{207}n -t ^{235}N -nel és a ^{235}U felezési idejével az idő függvényében!

c) Uránércet ólomérccel keverve vizsgáltunk tömegspektrométerrel. A ^{204}Pb , ^{206}Pb és ^{207}Pb izotóp relatív koncentrációjának mérése az adott atomok számának következő arányát eredményezte: $1,00 : 29,6 : 22,6$. A ^{204}Pb izotópot használtuk referenciaként, mivel ez az izotóp *nem* radioaktív. A tiszta ólomérc vizsgálata a következő arányokat eredményezte: $1,00 : 17,9 : 15,5$. Tudjuk, hogy a $^{238}\text{N} : ^{235}\text{N}$ arány $137 : 1$. Vezess le egy egyenletet, amelynek T az ismeretlene!

d) Határozd meg T közelítő értékét! A számolás során feltételezheted, hogy T sokkal nagyobb, mint bármely uránizotóp felezési ideje.

e) Láthatjuk, hogy ez a közelítő érték nem sokkal nagyobb, mint a hosszabb felezési idő, de felhasználható egy sokkal pontosabb T érték meghatározására. Ilyen módon (vagy akár más módszerrel) becsüld meg a Föld életkorát 2 %-os pontossággal!

D) Tekintsünk egy Q töltésű, homogén töltéssűrűségű, vákuumban lévő R sugarú gömböt!

a) Határozd meg az elektromos térerősséget a gömb középpontjától mért r távolság függvényében $r \leq R$ és $r > R$ esetben!

b) Határozd meg a teljes elektromos mező energiáját az adott töltéeloszlás esetén!

E) Egy vékony, kör alakú rézgyűrű forog a Föld mágneses terében egy rögzített függőleges tengely körül, amely egyben a gyűrű átmérője is. A Föld mágneses terének indukcióvektora az adott pontban $44,5 \mu\text{T}$, az indukcióvektor iránya a vízszintessel 64° -os szöget zár be.

Számítsd ki, mennyi idő alatt csökken a gyűrű szögsebessége az eredeti szögsebesség felére! Ez az idő sokkal nagyobb, mint a forgás periódusideje. A réz sűrűsége $8,90 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, fajlagos ellenállása pedig $1,70 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$. Tételezd fel, hogy a súrlódási effektusok elhanyagolhatók, valamint az önindukció jelensége is elhanyagolható (még akkor is, ha ez egyébként számottevőnek bizonyulna)!

¹ A feladatok megoldását a novemberi számunkban közöljük

2. feladat. *Az elektron fajlagos töltésének meghatározása.*

1. ábra

a) Egy katódsugárcsövet homogén, $\mathbf{B}$ indukciójú mágneses mezőbe helyezünk. A katódsugárcső egy elektronágyúból és egy ernyőből áll. A katódsugárcső elektronsugarának tengelye párhuzamos a $\mathbf{B}$ mágneses indukcióvektorral, ahogy azt az *1. ábra* szemlélteti.

2. ábra

Az elektronsugár az anódot elhagyva a tengely mentén halad, de attól legfeljebb 5° -os szögben szóródik (2. ábra). Általában egy elmosódott foltot lehet látni az ernyőn, de a B mágneses indukció bizonyos értékeinél egy élesen fókuszált pont jelenik meg.

Egy elektron mozgását tanulmányozva, amint β szögben mozog a tengelyhez képest (ahol $0 \leq \beta \leq 5^\circ$), továbbá megvizsgálva az elektron mozgásának a tengellyel párhuzamos és arra merőleges komponensét, vezess le egy összefüggést az elektron fajlagos töltésére, azaz az e/m hányados meghatározására az alábbi mennyiségek függvényében:

3. ábra

- a legkisebb B mágneses indukcióvektor értéke, amely a fókuszáláshoz szükséges,
- az elektronágyú V gyorsító feszültsége (vedd figyelembe, hogy $V < 2$ kV),
- az anód és az ernyő közti D távolság.

4. ábra. Az elrendezés felülnézete. A felső lemez pozitív töltésű, ha $V > 0$.

b) Tekintsünk egy másik módszert az e/m arány meghatározására! Az elrendezést a 3. ábra mutatja oldalnézetben, a 4. ábra pedig felülnézetben, a $\mathbf{B}$ mágneses indukcióvektor irányának feltüntetésével. Ebben a homogén $\mathbf{B}$ mágneses indukcióvektorú mágneses mezőben két kör alakú, ϱ sugarú sárgaréz lemez található, amelyek egymástól nagyon kis t távolságra helyezkednek el. A lemezek közötti elektromos feszültség V . A lemezek egymással párhuzamosak és ko-axiálisak, a tengelyük a mágneses indukcióvektorra merőleges. A kör alakú lemezeket egy $\varrho + s$ sugarú henger veszi

körül, melynek belső felületét fényérzékeny film borítja. (Más szavakkal: a film s távolságra van a lemezek szélétől.) Az egész elrendezés vákuumban van, t sokkal kisebb, mint s , illetve ϱ .

A lemezek középpontjai közé egy pontszerű β -részecske forrást helyezünk, amely minden irányba egyenletesen, egy bizonyos sebességtartományban bocsát ki részecskéket. *Ugyanazt a filmet* használjuk a következő három esetben:

először $B = 0$ és $V = 0$,

másodszor $B = B_0$ és $V = V_0$,

harmadszor $B = -B_0$ és $V = -V_0$,

ahol B_0 és V_0 pozitív állandók. Vedd figyelembe, hogy a felső lemez pozitív töltésű, amikor $V > 0$ (negatív töltésű, amikor $V < 0$). A mágneses indukcióvektor irányát a 3. ábra és a 4. ábra $B > 0$ esetben mutatja (ellentétes irányú, amikor $B < 0$).

Ebben a részben feltételezheted, hogy a lemezek közötti távolság elhanyagolhatóan kicsi. A filmen, ahogy azt a 4. ábra szemlélteti, két tartományt (A és B) különböztetünk meg. A film besugárzása és előhívása után az 5. ábrán vázolt minta látható. Döntsd el, hogy az ábra melyik tartományt, A -t vagy B -t ábrázolja! Indoklásodban mutasd meg, hogy milyen irányú erők hatnak az elektronra!

5. ábra

c) Az *5. ábrán* látható minták közötti y távolság mikroszkópos mérésének adatait és a nekik megfelelő Φ értékeket az alábbi táblázat tartalmazza, ahol Φ a mágneses indukcióvektor iránya, valamint a lemezek középpontját és a film adott pontját összekötő egyenesek által bezárt szög (lásd a *4. ábrát*).

szög (fokban)	Φ	90	60	50	40	30	23
távolság (mm-ben)	y	17,4	12,7	9,7	6,4	3,3	nyom vége

A rendszer paramétereinek numerikus értékei a következők: $B_0 = 6,91$ mT, $V_0 = 580$ V, $t = 0,80$ mm, $s = 41,0$ mm. További adatok: a fény vákuumbeli sebessége: $3,00 \cdot 10^8$ m/s, az elektron nyugalmi tömege $9,11 \cdot 10^{-31}$ kg.

Határozd meg a β -részecskék legnagyobb megfigyelt mozgási energiáját eV egységben!

d) Felhasználva a (c) rész eredményét, egy megfelelő grafikon segítségével határozd meg numerikusan az elektron töltésének és a nyugalmi tömegének hányadosát! (Jelezd algebrai formában az ábrázolt mennyiségeket a grafikon mindkét tengelyén!)

Vedd figyelembe, hogy a kapott eredmény — a megfigyelést befolyásoló szisztematikus hiba következtében — nem feltétlenül egyezik a közismert értékkel.

3. feladat. *Gravitációs hullámok és a gravitáció hatása a fényre.*

A) Ez a rész csillagászati események által kiváltott gravitációs hullámok detektálásának nehézségeivel foglalkozik. Gondold meg, hogy egy távoli szupernóva-robbanás a Föld felszínén mindössze 10^{-19} N/kg nagyságrendű ingadozásokat okozhat a gravitációs térerősségben!

6. ábra

Egy gravitációs hullám detektor modellje (6. ábra) két darab, 1 m hosszú, egymásra merőleges fémrúdból áll. Mindkét rúd egyik vége optikailag simára van csiszolva, a másik vége pedig mereven rögzített. Az egyik rúd állítható (lásd a 6. ábrát), és a helyzete úgy van beállítva, hogy a fotocella által mért jel minimális legyen.

A rudaknak piezoelektromos eszköz segítségével egy rövid, éles longitudinális impulzust adunk. Ennek eredményeképp a rudak szabad végei Δx_t kitéréssel rezegni kezdenek, ahol

$$\Delta x_t = ae^{-\mu t} \cos(\omega t + \phi),$$

és a , μ , ω és ϕ állandók.

a) A mozgás amplitúdója 50 s alatt 20 %-kal csökken. Határozd meg μ értékét!

b) A longitudinális hullámok sebessége: $v = \sqrt{E/\rho}$. Határozd meg ω legkisebb értékét, ha a rudak alumíniumból készültek! Az alumínium sűrűsége $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$, Young-modulusa $E = 7,1 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$.

c) A rudakat nem lehet teljesen egyforma hosszúra készíteni, ezért a fotocella által mért jel 0,005 Hz frekvenciával lebeg. Mekkora a rudak hosszának különbsége?

d) A g gravitációs térerősség Δg megváltozásának hatására az ℓ hosszúságú rúd hossza $\Delta \ell$ értékkel változik meg. A gravitációs térerősség változásának iránya az egyik rúddal párhuzamos. Vezess le $\Delta \ell$ értékére egy algebrai kifejezést a rúd ℓ hosszának és anyagi állandóinak függvényében!

e) A lézer fénye monokromatikus, hullámhossza 656 nm. Az interferenciacsíkok legkisebb eltolódása, amit detektálni lehet, a lézer hullámhosszának 10^{-4} -szerese. Legalább mekkora legyen ℓ , ha azt akarjuk, hogy egy ilyen rendszer képes legyen detektálni g értékének 10^{-19} N/kg nagyságrendű változásait?

B) Ez a rész azzal foglalkozik, hogyan befolyásolja a gravitációs mező a fény terjedését az űrben.

a) A Nap (tömege M , sugara R) felszínéről kilépő fotonok vöröseltolódást szenvednek. Newton gravitációs elméletének segítségével bizonyítsd be, hogy a foton frekvenciája a Naptól végtelen messze $(1 - GM/Rc^2)$ -szeresére csökken (vöröseltolódás)! A foton nyugalmi tömegének az energiájával ekvivalens tömeget tekintsd!

b) A foton frekvenciájának csökkenése a periódusidejének növekedésének felel meg, ez pedig — a fotont standard órának használva — az idő dilatációjával egyenértékű. (Meg lehet mutatni, hogy az idődilatáció mindig együtt jár a hosszúság egységének ugyanilyen mértékű kontrakciójával.)

A továbbiakban megpróbáljuk tanulmányozni ennek a jelenségnek a hatását a Nap közelében elhaladó fénysugárra. Először definiáljuk az n_r effektív törésmutatót a Nap középpontjától r távolságra. Legyen

$$n_r = \frac{c}{c'},$$

ahol c a fénysebesség egy olyan koordináta-rendszerben, ahol a Nap gravitációs hatása már elhanyagolható ($r \rightarrow \infty$), és c' a fénysebesség egy a Nap középpontjától r távolságra lévő koordináta-rendszerben.

Mutasd meg, hogy ha GM/rc^2 kicsi, akkor n_r a következő képlettel közelíthető:

$$n_r = 1 + \frac{\alpha GM}{rc^2},$$

ahol α egy általad meghatározandó állandó.

c) Ennek az n_r -t megadó kifejezésének a segítségével számold ki (radiánban) egy olyan fénysugárnak az eltérülését, amely épp érinti a Nap szélét!

Adatok:

A gravitációs állandó $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$,

a Nap tömege $M = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$,

a Nap sugara $R = 6,95 \cdot 10^8 \text{ m}$,

a fénysebesség $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Szükséged lehet a következő integrálra:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{2}{a^2}.$$

Kísérleti forduló³

1. feladat. Mágneses korong.

Ebben a mérési feladatban *szükséges* a mérési hiba feltüntetése minden mért adatnál, eredménynél és a grafikonokon. A mérés célja: a lejtőn lecsúszó korongra ható erők vizsgálata.

Figyelem!

Ne nyúlj kézzel a korong kör alakú felületeihez és a lejtőt borító papírhoz! Használd a kiadott kesztyűt! A korong két oldalára a megkülönböztethetőség érdekében különböző színű papírokat ragasztottak, de a két papírborítású oldalt a súrlódás szempontjából tekints egyformának!

Időmérés

A pálya alatt elhelyezett érzékelők (szenzorok) a fekete dobozban egy elektronikus kaput triggerelnek. Amíg a korong a két szenzor között van, a dobozon egy zöld LED világít. Egy multiméter segítségével mérni tudjuk a dobozban lévő kondenzátor feszültségét. Mialatt a zöld fény világít, ez a kondenzátor egy (állandó áramú) áramgenerátorra van kapcsolva (melynek árama egyenesen arányos a telep feszültségével). A feszültségmérő által mutatott érték tehát méri azt az időt, amit a korong a szenzorok között tölt. Ebből meghatározható a korong sebessége relatív egységekben.

Az időmérő működtetése

- (i) Nyomd meg és tartsd lenyomva a doboz oldalán lévő fekete nyomógombot! Ez bekapcsolja az elektronikát.
- (ii) Ha a zöld lámpa ég, csúsztasd el a korongot (világos oldalával felfele) az alsó szenzor felett! A zöld fénynek ki kell aludnia.
- (iii) A kondenzátor feszültségét a korong elengedése előtt nullázni kell. Ehhez nyomd le a dobozon lévő piros gombot legalább 10 másodpercig!
- (iv) A telep feszültségét úgy lehet megmérni, hogy a multimétert a doboz „telep” jelű kimenetéhez csatlakoztatod.

Definíciók

- (i) Egy lejtőn lecsúszó testre a nehézségi erőn kívül egy lejtővel párhuzamos F fékezőerő és egy lejtőre merőleges N kényszerítő hat. Legyen

$$\xi = \frac{F}{N}.$$

- (ii) Ha a fékezőerő egyedül a súrlódás következménye, ξ megegyezik μ_s -sel, a felületre vonatkozó csúszási súrlódási együtthatóval. Ez független a sebességtől.
- (iii) Ha a korong kék színű oldala érintkezik a lejtővel, legyen

$$\xi_d = \frac{F_d}{N},$$

ahol az F_d tangenciális erőt részben a súrlódás, részben a mágneses effektus okozza.

- (iv) A ξ_{ds} változót, amely csak a mágneses effektust írja le, definiáljuk így:

$$\xi_{ds} = \xi_{ds} - \mu_s.$$

Fontos figyelmeztetések és tanácsok

- (i) Célszerű a korong viselkedését először csak kvalitatíven (számszerű mérések nélkül) vizsgálni.
- (ii) Mielőtt kvantitatív (számszerű) vizsgálódásba kezdesz, gondold végig a jelenség fizikáját! Ahol lehet, használj grafikus ábrázolást!
- (iii) Ne próbáljál túl sok mérési adatot leolvasni, hacsak nincs nagyon sok időd!
- (iv) Egy *elektrolit* kondenzátor feszültségét fogod mérni. Ez nem teljesen úgy működik, mint egy egyszerű kondenzátor: egy lassú kisülés természetes, és így a feszültsége nem marad teljesen állandó.
- (v) Egy korongot és egy 9,0 V-os telepet kapsz. Takarékoskodj az elemmel! A kondenzátort feltöltő állandó áram egyenesen arányos a telep feszültségével. Ezért ajánlatos a telep feszültségét a mérés során figyelemmel kísérni. Ráadásul, ha a telep feszültsége 8,4 V alá esik, a szenzorok nem működnek megbízhatóan. Ha ez bekövetkezik, kérj másik telepet!
- (vi) A válaszlap-csomagodban csak 4 milliméterpapír található. Többet nem kaphatsz! A korongot a mérés végén megtarthatod.
- (vii) Ha a multiméter működésével problémád van, szólj a teremfelügyelőnek!

Adatok A korong súlya $5,84 \cdot 10^{-2}$ N. A korong szenzorok közti áthaladási idejét a voltmérő mutatja. Ha a telep feszültsége éppen 9,0 V, akkor 1 V-nak 0,213 s idő felel meg. A szenzorok távolsága 0,294 m.

Kísérlet

Vizsgáld meg – kizárólag a rendelkezésedre álló berendezéssel – hogyan függ ξ_{ds} a korong v_θ sebességétől! Itt v_θ a korong sebességét jelöli a lejtős pálya vízszintessel bezárt θ szögének függvényében!

Add meg azokat az algebrai egyenleteket (összefüggéseket), amelyeket az eredményeid analíziséhez és a grafikonok megrajzolásához használtál!

Javasolj egy kvantitatív modellt, amely megmagyarázza eredményeidet! Használd fel az általad mért adatokat a modell igazolásához!

2. feladat. CD-ROM spektrométer.

Ebben a mérési feladatban *nem kell* feltüntetned a mérési hibákat!

A mérés célja: egy grafikon felvétele, amely egy fotoellenállás vezetőképességét⁴ ábrázolja a fény hullámhosszának függvényében a látható tartományában.

Ez a mérési feladat öt részből áll:

- Hozd létre az A izzólámpa (12 V, 50 W-os volfrám izzó) elsőrendű spektrumát egy meghajlított rács (egy CD-lemez darabja) segítségével!

⁴vezetőképesség: $G = 1/\text{ellenállás}$ (mértékegysége a siemens, $1\text{ S} = 1\text{ }\Omega^{-1}$).

- Mérd meg és ábrázold a fotoellenállás vezetőképességét a hullámhossz függvényében, amint az ellenállást végigvezetjük az elsőrendű spektrum előtt!
- Mutasd meg, hogy az izzószál közelítően abszolút fekete testként viselkedik!
- Határozd meg az **A** izzószál hőmérsékletét, ha azon 12 V feszültség esik!
- Korrigáld a vezetőképesség–hullámhossz grafikont, figyelembe véve, hogy az **A** izzó energiakibocsájtása hullámhosszfüggő!

Figyelem!

óvatosan bánj a forró felületekkel! A **B** izzóra nem szabad 2,0 V-nál nagyobb feszültséget kapcsolni! Ne használd a multimétert ellenállásmérő állásban semmilyen működő áramkörben!

A feladat részletes leírása

7a. ábra Kísérleti elrendezés az (a) részhez

(a) A mérőeszköz elrendezése (lásd a *7a. ábrát* és annak két részletét a *7b.* és *7c. ábrán*) olyan, hogy az **A** izzó fénye merőlegesen essen a meghajlított rácásra, a fotoellenállás pedig a fókuszált elsőrendű spektrumban helyezkedjen el. Mozgasd végig a fotoellenállást az elsőrendű spektrumon, és figyeld meg, hogyan változik közben az ellenállása! (Ezt az értéket az X jelű műszerrel mérd!)

7b. ábra. A kísérleti elrendezés egy részlete: a rács.

7c. ábra. A kísérleti elrendezés egy részlete: a fotoellenállás és a multiméter.

- (b)(i)** Mérd meg a fotoellenállás R ellenállását az elsőrendű spektrum különböző helyein!
(ii) ábrázold a fotoellenállás G vezetőképességét a λ hullámhossz függvényében a rendelkezésedre álló milliméter-

papíron!

Megjegyzés: A θ szög, amelyet az elsőrendű spektrum

λ hullámhosszú komponense és a rácsról visszavert fehér fény bezár (lásd a 7a. ábrát) a következőképpen határozható meg:

$$\sin \theta = \lambda/d,$$

ahol d a rács rácsállandója. A rács milliméterenként 620 vonalat tartalmaz.

A (b) alfeladat (ii) részében ábrázolt grafikon nem tükrözi hűen a fotoellenállás érzékenységet a hullámhossz függvényében, mivel az **A** izzó sugárzási karakterisztikáját nem vettük figyelembe. A következő (c) és (d) pontokban ezt a karakterisztikát tanulmányozzuk, hogy az (e) pontban azután ábrázoljuk a korrigált eredményt.

Figyelem! A (c) részben alkalmazott három multiméter árammérésre szolgál. Ezeket **NEM** szabad átállítani vagy elmozdítani! Feszültségmérésre csak a negyedik (X-szel jelölt) multimétert használd!

(c) Amennyiben az 50 W-os izzószál abszolút fekete testként viselkedik, megmutatható, hogy a rá eső feszültség és a rajta átfolyó áramerősség között a következő összefüggés áll fenn:

$$V^3 = CI^5,$$

ahol C állandó. Mérd meg a fémdobozban található **A** izzó összetartozó V és I értékeit! Az áramerősségmérő már be van kötve, nem kell rajta állítanod.

(i) Írd be a mért adatokat és a számított értékeket a válaszlap megfelelő táblázatába!

(ii) Készíts milliméterpapíron egy megfelelő grafikon, ami igazolja, hogy az izzó fekete testként viselkedik!

(d) Ahhoz, hogy korrigálni tudjuk a (b) alfeladat (ii) részében ábrázolt grafikon, tudnunk kell, hogy mennyi az **A** izzó hőmérséklete működés közben. Ez megállapítható az izzó ellenállásának hőmérsékletfüggéséből.

8. ábra. A volfrám fajlagos ellenállása az abszolút hőmérséklet függvényében.

Rendelkezésedre áll egy grafikon (8. ábra), amely a volfrám fajlagos ellenállását ábrázolja ($\mu\Omega$ cm mértékegységben) a kelvin-skálán mért hőmérséklet függvényében.

Ha az **A** izzószál ellenállását meg tudjuk mérni egy ismert hőmérsékleten, akkor a 12 V feszültséggel működő izzószál

hőmérséklete meghatározható az ezen a feszültségen mért ellenállásból. Sajnos azonban szobahőmérsékleten az izzószál ellenállása olyan kicsi, hogy a rendelkezésre álló műszerekkel nem mérhető megfelelő pontossággal. Azonban rendelkezésedre áll egy másik, kisebb izzó (**C**), melynek nagyobb az ellenállása, és így könnyen megmérhető szobahőmérsékleten is. A **C** izzó használatát az alábbiakban írjuk le. Rendezésedre áll egy **B** izzó, amely ugyan olyan, mint az **A** izzó (12 V, 50 W). A **B** és **C** izzókat a 9. ábrán szemléltetett módon helyeztük el, és ennek megfelelően kapcsoltuk össze.

(i) Mérd meg **C** izzó ellenállását szobahőmérsékleten, amikor nincs feszültség rákapcsolva! (Használd az X jelű multimétert ellenállásmérőként! Vedd a szobahőmérsékletet 300 K-nek!) Írd be az R_{C_1} mért értékét a válaszlapra!

9. ábra. Az ábrán a multiméterek nincsenek feltüntetve.

(ii) Használd a 9. ábrán szemléltetett kapcsolást a **B** és **C** izzószálak összehasonlítására! A változtatható ellenállás segítségével változtasd a **C** izzó áramát úgy, hogy a két átfedő izzószál azonos hőmérsékleten izzon. (Ha a kicsi izzószál hőmérséklete alacsonyabb, mint a nagyobbé, akkor úgy látható, mint egy kis fekete hurok.) Amikor elérted az azonos hőmérsékletű állapotot, mérd meg a **C** és **B** izzók ellenállását (R_{C_2} és R_B)! Ne felejtsd el, hogy az árammérők már megfelelően vannak kapcsolva!

(iii) Felhasználva a rendelkezésre álló fajlagos ellenállás–hőmérséklet grafikont, határozd meg a **B** és **C** izzó hőmérsékletét, amikor azok megegyeznek! Jelöld ezt T_{2V} -vel, és írd be a válaszlapra!

(iv) Mérd meg az **A** izzószál ellenállását, amikor az 12 V váltófeszültségre van kapcsolva! Jelöld ezt az értéket T_{12V} -vel és rögzítsd az eredményt a válaszlapon! Az árammérők már megfelelően vannak kapcsolva!

(v) Használd fel az **A** izzó 2 V, illetve 12 V feszültségen mért ellenállásértékeit, továbbá a hőmérsékletét 2 V feszültség esetén, és ezek alapján határozd meg az **A** izzó hőmérsékletét, amikor 12 V-os feszültségre van kapcsolva! Írd be ezt a T_{12V} -vel jelölt hőmérsékletet a válaszlapra!

Rendelkezésedre állnak azok a grafikonok (Planck-görbék), amelyek a fekete test sugárzásának relatív intenzitását adják meg 2000 K, 2250 K, 2500 K, 2750 K, 3000 K és 3250 K hőmérsékleteken. (A versenyzők megkapták a grafikonokat, de ebben az ismertetésben — helyszűke miatt — nem közöljük ezeket.)

(e) Felhasználva ezeket a grafikonokat és a (d) alfeladat (v) részének eredményét, határozd meg a fotoellenállás korrigált vezetőképességét (relatív egységekben) a hullámhossz függvényében! Eredményeidet írd be a válaszlap megfelelő helyére és ábrázold milliméterpapíron! Feltételezheted, hogy a fotoellenállás vezetőképessége egyenesen arányos a sugárzás intenzitásával az adott hullámhosszon! (Ez a feltételezés jogos a kísérlet alacsony intenzitásértékei mellett.) Tételezd fel továbbá, hogy a rács az elsőrendű spektrum minden részét azonos intenzitással veri vissza!