

XVII. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

Beszámoló, III. rész

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

Számítógépes feladat

A számítógépes feladatban egy idegen, távoli világból érkezett Millikan-kísérlet szimulációjával kellett meghatározni az elemi töltés ottani értékét.

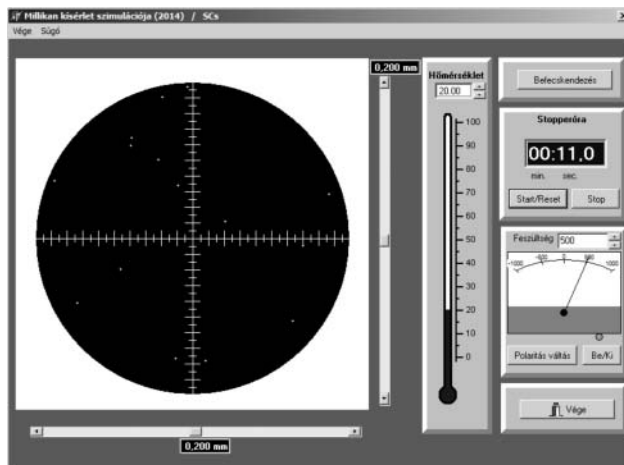
A kiosztott feladatlap szerint: Egy távoli világból érkezett hozzánk a mellékelt kísérlet (1. ábra). A szükséges adatokat a kísérlet leírásában elküldték (nagyon sokban hasonlítanak a földi adatokra).

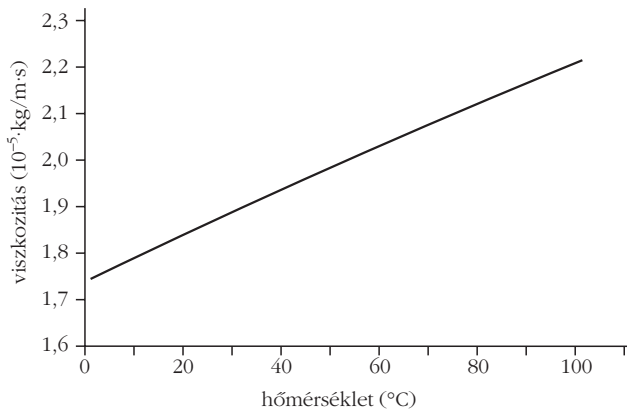
Az elemi töltés értéke azonban valószínűleg más. Határozzuk meg az ottani elemi töltés értékét a hozzánk eljutott „ottani” Millikan-kísérlet segítségével!

Általános leírás

Millikan kondenzátorlemezek közé porlasztott olajcseppek elektromos töltését mérte meg, és ebből a kísérletből határozta meg az elemi töltést.

1. ábra. A Millikan-kísérlet szimulációjának képernyője.





2. ábra. A levegő viszkozitása a hőmérséklet függvényében.

Elmélet

Az R sugarú, q töltésű cseppekre a súlyerő, a levegő felhajtóereje, a közegellenállási erő és a Coulomb-erő hat. A közegellenállási erő függ a csepp sebességétől, ezért rövid idő alatt a részecske olyan sebességre gyorsul fel, amelyben a rá ható erők eredője nulla lesz. Ettől kezdve a részecske egyenletes sebességgel süllyed, vagy emelkedik. Különböző feszültségek mellett (például a feszültséget kikapcsolva, illetve ráadva) az egyensúlyi sebesség is különböző lesz. E sebességek méréséből a két ismeretlen mennyiség – a csepp R sugara és q töltése – meghatározható.

A szimulációban szereplő berendezés leírása

Ez a szimuláció Millikan kísérletét modellezi (1. ábra). A képernyő nagyobbik (sötét) részét az olajcseppek megfigyelésére szolgáló mikroszkóp látótere foglalja el. A mikroszkópot a mellette lévő mozgatóelemekkel vízszintes és függőleges irányban lehet mozgatni.

Az olajcseppeket egy, a mikroszkóp mellett lévő porlasztóberendezés *fecskendezi be* a kondenzátorlemezek közé. A cseppek a befecskendezés során *kisebbség-nagyobb* (nem feltétlenül azonos) elektromos töltést kapnak. Ha egyáltalán kap töltést egy csepp, akkor a kapott töltés mindig az elemi töltés egész számú többszöröse.

A kondenzátorra a jobb oldalon lévő kezelőszerkekkel lehet *feszültséget* adni. A műszer a lemezekre adott feszültség aktuális értékét mutatja. A feszültséget egyetlen gomb megnyomásával ki vagy be lehet kapcsolni, illetve polaritását ellenkezőre változtatni.

Az olajcseppek sebességének méréséhez *stopperre* is szükség van. A modell olyan stopperórát mutat, amely a „modellidő” múlását méri. (Ez nem azonos a „valódi” idővel, hiszen bizonyos beavatkozásokkor – például a mikroszkóp mozgatásakor – a modellidő „megáll”. A modellidő sebességét a processzor sebessége is befolyásolhatja.)

Millikan kísérletében fontos szerepe volt a hőmérséklet állandó értéken tartásának is. A kísérleti cella hőmérsékletét hőmérséklet-szabályozó tartja állandó értéken. Figyelni kell azonban arra, hogy a hőmérsék-

let megváltoztatását követően az új hőmérséklet nem azonnal áll be.

Képletek, adatok

A mérés sikeres végrehajtásához segítségképpen röviden összefoglaljuk a bevezetőben említett erőket, valamint a kísérleti berendezés néhány adatát.

Súlyerő – felhajtóerő

$$\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0) g,$$

ahol g a nehézségi gyorsulás ($9,81 \text{ m/s}^2$), ρ_c illetve ρ_0 a csepp, illetve a levegő sűrűsége (értékeiket lásd alább).

Közegellenállási erő

$$-6\pi\eta Rv \text{ (Stokes-törvény),}$$

ahol η a levegő viszkozitása (értékét lásd alább), v pedig a részecske sebessége; a negatív előjel azt mutatja, hogy az erő a sebességgel ellentétes irányú.

Coulomb-erő

$$qE = q\frac{U}{d},$$

ahol q a csepp töltése, U a kondenzátorlemezre kapcsolt feszültség, d pedig a lemezek távolsága (E a térerősség).

(A számításhoz további segítség a későbbiekben még található.)

A berendezés néhány paramétere

A kondenzátorlemezek távolsága: 1 cm ($= 0,01 \text{ m}$). Az olaj(cseppek) sűrűsége: $\rho_c = 870 \text{ kg/m}^3$ (a hőmérséklettől függetlennek tekinthető). A levegő sűrűsége $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -on: $\rho_0 = 1,293 \text{ kg/m}^3$ (a hőmérséklettől is függ: $\rho = \rho_0 T_0/T$). A hőmérséklet-értékeket itt kelvin-skálában kell megadni.

A levegő viszkozitásának hőmérsékletfüggését a 2. ábra mutatja.

Tanácsok

1) Mivel *sebességet kell mérni*, először határozzuk meg, hogy a mikroszkóp látómezejében lévő szálkereszt beosztásai a valóságban milyen távolságnak felelnek meg. A mozgatók mutatják, hogy mennyivel mozdítottuk el a mikroszkópot (mint egy mikrométercsavar a mikroszkóp tárgyasztalának elmozdulását).

2) A beporlasztott olajcseppek sugara véletlenszerűen változik egy bizonyos tartományban. A mikroszkóp felbontása azonban nem elegendően nagy ahhoz, hogy az olajcseppek sugarát közvetlenül látni lehessen. Ezért a cseppek sugarát más módon kell meghatározni (ahogyan Millikan is tette). A cseppek töltése sem azonos. A mérés szempontjából olyan cseppe(ke)t kell kiválasztani, amely(ek)nek egyáltalán van valamilyen töltése. Ezért célszerű már a befecskendezés előtt megfelelő polaritású *feszültséget adni* a kondenzátorlemezre, hogy ki lehessen választani a vizsgálni kívánt cseppet. Ezen a kiválasztott cseppen kell azután végrehajtani a mérést.

3) A sebességméréshez feltétlenül a programban szereplő *stopperórát* használjuk, mert a cseppcsekék a „modellidő” szerint mozognak, és ez a stopper méri a modellidőt!

4) Célszerű több cseppet megmérni (amennyit az idő enged). Ne elégedjünk meg tehát egyetlen csepp töltésének megmérésével, hiszen *a különböző cseppeknek különböző töltése lehet*, és ha éppen nem olyan cseppet mérünk, amelynek egységnyi a töltése, akkor eredményünk hibás lesz!

Viszont *minden cseppnél a számítást is fejezzük be*, mielőtt egy új csepp mérésébe fognánk. A zsúri csak teljesen végigszámolt cseppeket tud figyelembe venni.

5) A mérésekről készítsünk (olvasható írással) jegyzőkönyvet! A jegyzőkönyvben tüntessünk fel minden lényeges adatot, valamint a számítási módszert és a végeredményt. Adjunk becslést az eredmény hibájára is.

További segítség a számításhoz

1. Amikor nincs elektromos mező, és a részecske már egyenletes v_1 sebességgel süllyed, akkor

$$\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0) g = 6\pi \eta R v_1,$$

és ebből a csepp méretére kapjuk:

$$R = \sqrt{\frac{9\eta v_1}{2g(\rho_c - \rho_0)}}. \quad (1)$$

2. Amikor az elektromos mező olyan, hogy a csepp nem süllyed, hanem v_2 sebességgel emelkedik, akkor az erők egyensúlya:

$$\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0) g + 6\pi \eta R v_2 - q \frac{U}{d} = 0,$$

és ebből (R ismeretében) q kifejezhető:

$$q = \frac{\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0) g + 6\pi \eta R v_2}{\frac{U}{d}}. \quad (2)$$

3. Amikor az elektromos mező olyan, hogy a töltött csepp v_3 sebességgel süllyed, akkor az erők egyensúlya:

$$\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0) g - 6\pi \eta R v_3 \pm q \frac{U}{d} = 0,$$

és ebből (R ismeretében) q kifejezhető:

$$q = \mp \frac{\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0) g - 6\pi \eta R v_3}{\frac{U}{d}}. \quad (3)$$

Itt az előjel attól függ, hogy az elektromos mező segíti-e a csepp süllyedését, vagy gátolja.

Kísérleti feladat

A Planck- és a Boltzmann-állandók hányadosának mérése

A hőmérsékleti sugárzás a 19–20. század 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 $[\lambda, \lambda+d\lambda]$ hullámhossz-intervallumban kisugárzott teljesítmény:

$$\Delta P(\lambda) = 2 b c^2 \frac{\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c h}{\lambda k T}\right) - 1} \Delta \lambda,$$

ahol c a fény sebessége, λ a hullámhossza, k a Boltzmann-állandó, b 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 sugárzóból a detektorra érkező $\lambda \pm d\lambda/2$ hullámhossz-tartományba eső $I_\lambda(T)$ intenzitás tehát jó közelítéssel:

$$I_\lambda(T) \sim 2 b c^2 \lambda^{-5} \exp\left(-\frac{c h}{\lambda k T}\right).$$

Az összefüggés mindkét oldalának természetes alapú logaritmusát véve:

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

ahol

$$A \sim \ln\left(\frac{2 b c^2}{\lambda^5}\right) \text{ és } M = \frac{c h}{k \lambda}.$$

Tehát a wolframizzó fényéből kiszűrte, adott színű fény intenzitását és a szál hőmérsékletét mérve, a kapott adatokból az

$$\ln(I_\lambda(T)) = f\left(\frac{1}{T}\right)$$

egyenes M meredekségét meghatározva, λ és a c fénysebesség ismeretében h/k értéke kiszámítható.

A h/k meghatározásához szükséges mennyiségek mérése

Az izzószál T hőmérsékletét a rajta átfolyó áram és a rajta eső feszültség méréseivel, majd az alábbi közeli-
lítésből számítással kapjuk meg:

$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

⇓

$$T = T_0 + \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{\alpha}$$

Itt R_0 és R az izzó T_0 és T hőmérsékleten vett ellenállása, $\alpha \approx 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. A szobahőmérsékletet tekintsük $\sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$ -nak.

A megvilágítás *intenzitását* egy fotodióda méri. A fotodióda áramerősségét vegyük arányosnak a rásó fénnyel intenzitásával.

A méréshez használt eszközök

- vörös színszűrő, $\lambda = 620 \pm 15 \text{ nm}$
- állítható tápegység
- 12 V-os izzó
- fotodióda
- huzalok
- optikai árnyékoló elemek
- két digitális multiméter

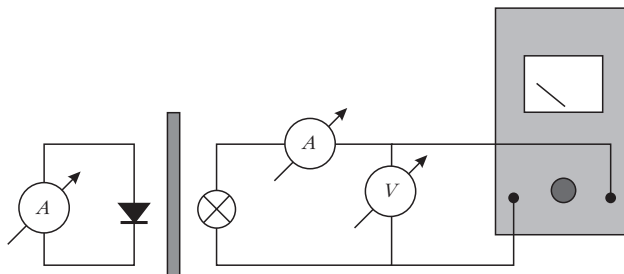
Mérési feladatok

- 1) Gondosan olvassuk végig a teljes mérésleírást!
- 2) „Szereljük össze az összeállítást!”
- 3) Az izzóra eső feszültség folyamatos változtatása mellett mérjünk le *legalább* 8-10 pontot! Jegyezzük fel az izzóra eső feszültség, az izzón folyó áram és a diódaáram értékeit!
- 4) Ábrázoljuk az $\ln(I) - 1/T$ egyenest milliméterpapíron (vagy Excelben)!
- 5) Állapítsuk meg az egyenes meredekségét: illesszünk egyenest (vonalzóval vagy számítógéppel) a kapott pontokra!
- 6) A kiszámított h/k arányt adjuk meg az irodalmi érték százalékában *IS!*
- 7) Milyen szisztematikus hibákkal és mérési bizonytalanságokkal terhelt a mérés? Mekkora ezek nagyságrendje, és mekkora lehet a mérés teljes bizonytalansága?

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. A mérési adatok esetleges manipulálása a szebb irodalmi egyezés érdekében szigorúan tilos, pontlevonással jár!

Megjegyzések

- A mérés során végig figyeljünk a kontakthibákra mind az izzónál, mind a fotodiódánál!



A mérési elrendezés.

- Érdeemes a mért értékek ábrázolását már a mérés során és nem csak annak befejezése után megkezdeni. Így már korábban észrevehetjük, ha valami nem az elvártan megfelelően működik.

- 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. *Ügyeljünk arra, hogy az izzó ne égjen ki!*

- A tizedes jegyeket csak a mérés pontosságának határain belül értelmes megadni. Extrém példával élve egy 10% relatív bizonytalanságú mérés esetén értelmetlen 3 értékes tizedes jegy pontossággal dolgozni. (Ezzel egyben időt is spórolunk a jegyzőkönyv készítése során.)

Fontos

Beadandó a „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.* Számítógép (Excel) használata esetén mentsük el a használt fájlt „kód_hk.xlsx” névvel (itt a kód a versenyző kódja)!

A verseny értékelése

A verseny döntőjének délelőttjén a tíz elméleti feladat megoldására 3 óra, délután a számítógépes feladatra másfél óra, a kísérleti feladatra szintén másfél óra állt a versenyzők rendelkezésére. Egy-egy feladat teljes megoldása 5 pontot, a számítógépes feladat teljes megoldása 25 pontot, a kísérleti feladat teljes megoldása 25 pontot hozhatott. Maximálisan tehát 100 pontot lehetett szerezni. A legkiválóbb I. kategóriás versenyző fantasztikus 98 pontot ért el (tavaly 89 pont volt a legjobb eredmény). A legjobb junior versenyző 75 pontot ért el (tavaly 57 pont volt a legjobb). A pontszámok alapján úgy tűnik, hogy az idén a döntő feladatai is valamivel könnyebbek voltak, mint tavaly. Az I. kategória 9. és a

junior kategória 8. feladata kivételével valamennyi feladatra született tökéletes megoldás, de ezekre a feladatokra is voltak 4 pontos megoldások. Mindkét kategória számára a 6. feladat volt a legkönnyebb: az I. kategóriában erre 4,74, míg a junior kategóriában 4,30 átlageredmény született. Az I. kategória számára a legnehezebbnek a 10. és – meglepetésre – a 4. feladat bizonyult 1,71, illetve 2,21 átlaggal. Nem meglepő ezek után, hogy a 4. feladat a juniorok számára is nehéz volt (átlag: 1,80), de valamivel még nehezebbnek találták a 8. feladatukat (átlag: 1,30).

Mind a szimulációs, mind pedig a kísérleti feladatra születtek maximális, 25 pontos megoldások az I. kategóriás diákok között. A junioroknál a szimulációs feladatra 24 pont, míg a kísérleti feladatra 22 pont volt a legjobb eredmény. Az átlagos eredmény az I. kategóriában 60% körül, a junioroknál 50% körül mozgott ezekre a feladatokra.

2014-ben a következő diákok érték el a legjobb helyezéseket:

I. kategória (11–12. osztályosok)

I. helyezett (98 pont): *Juhász Péter*, Piarista Gimnázium, Budapest, tanárai *Urbán János*, *Horváth Gábor*, *Szokolai Tibor*,

II. helyezett (90 pont): *Holczer András*, Janus Pannonius Gimnázium, Pécs, tanárai *Dombi Anna*, *Simon Péter*,

III. helyezett (85 pont): *Takátsy János*, Városmajori Gimnázium, Budapest, tanára *Ábrám László*.

„Junior” kategória

I. helyezett (75 pont): *Kovács Péter Tamás*, Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg, tanára *Juhász Tibor*,

II. helyezett (72 pont): *Büki Máté*, Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg, tanára *Pálovics Róbert*,

III. helyezett (70 pont): *Balogh Menyhért*, Baár-Madas Református Gimnázium, Budapest, tanára *Horváth Norbert*.

A záróülést és a díjátadást megtisztelte jelenlétével *Leber Ferenc*, Paks város alpolgármestere, *Kürti Jenő*, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat főtítkára, *Hózer Zoltán*, a Magyar Nukleáris Társaság elnöke, *Kiss István*, a Paksi Atomerőmű Zrt. oktatási fősztályvezetője, *Hanti Ágota*, a Women in Nuclear (WIN) Magyarország (a Magyar Nukleáris Társaság Nőtagozata) elnöke, *Radnóti Katalin*, a WIN Magyarország budapesti alelnöke, valamint *Szabó Béla*, az Energetikai Szakközépiskola igazgatója.

Ebben az évben több *különdíj* átadására is sor került. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat egy-egy éves *Fizikai Szemle* előfizetést ajánlott fel a két kategória első négy helyezettjének, amelyet Kürti Jenő, az ELFT főtítkára adott át. A Magyar Nukleáris Társaság (MNT) képviselőjében Hózer Zoltán elnök nyújtott át könyvjutalmakat a két kategória első öt helyezettjének, valamint kedvezményes részvételi jegyeket az MNT által szervezett Nukleáris Szaktáborra a két kategória első három helyezettjének. Az MNT Nőtagozata (WIN) a legjobb lányversenyzőt – *Németh Flóra Boróka* junior versenyzőt (Vajda János Gimnázium, Keszthely) – különdíjként meghívta egynapos látogatásra a Paksi Atomerőműbe. A látogatás célja az atomerőműben dolgozó, mérnöki beosztásban lévő nők munkájának megismerése volt. A különdíjat Hanti Ágota, az MNT WIN elnöke adta át.

A Magyar Nukleáris Társaság tanári különdíjat is felajánlott annak a tanárnak, akinek a diákjai ebben az évben a legtöbb pontot szerezték, azaz aki a legsikeresebben készítette fel az idén a diákjait. Az MNT tanári különdíját Horváth Norbert, a budapesti Baár-Madas Református Gimnázium fizikatanára vehette át Hózer Zoltán MNT elnök kezéből.

A záróülésem a tanulói díjak, különdíjak és oklevelek átadása után került sor az idei *Delfin-díj* átadására, amelyet minden évben a tanárok pontversenyében legjobb eredményt elért *tanárnak* ítél oda a versenybizottság. Ebben az évben a Delfin-díjat *Nagy Tibor*, a Bethlen Gábor Református Gimnázium (Hódmezővásárhely) tanára vehette át. Gratulálunk! A tanár úr már 2006-ban is kapott egy Delfin-díjat, így ez alkalommal nem egy újabb delfin-szobrot, hanem egy, a díj elnyerését tanúsító plakettet kapott.

A *Marx György Vándordíjat* – amelyet minden évben a pontversenyben legkiválóbb eredményt elért *iskolának* ítél oda a Versenybizottság – idén a *Batthyány Kázmér Gimnázium* (Szigetszentmiklós) nyerte el. Gratulálunk!

Az ünnepélyes eredményhirdetés végén Sükösd Csaba köszönetét fejezte ki a versenyt támogató Paksi Atomerőműnek és a paksi Energetikai Szakközépiskolának, valamint minden támogatónak és különdíjat felajánló szervezetnek a verseny megrendezésében nyújtott segítségükért.

A versenyt 2015-ben is megrendezzük változatlan tematikával. Ismételten *bátorítjuk a határon túli magyar tannyelvű iskolák* tanulóit is arra, hogy nevezzenek be az Országos Szilárd Leó Tanulmányi Versenyre. A nevezéseket a verseny honlapjáról kiindulva lehet megtenni: <http://www.szilardverseny.hu>