

ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY 2004. DÖNTŐ SZÁMÍTÓGÉPES FELADAT

MILLIKAN-KÍSÉRLET SZIMULÁCIÓ

ÁLTALÁNOS LEÍRÁS

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

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 (pl. a feszültség kikapcsolva, ill. ráadva) az egyensúlyi sebesség is különböző lesz. Ezeknek a sebességnek a méréséből a két ismeretlen mennyiség – a csepp R sugara, és q töltése – meghatározható.

A szimulációban szereplő berendezés leírása

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

Az olajcseppeket egy, a mikroszkóp mellett lévő porlasztó berendezés fecskendezi be a kondenzátorlemez közé. A cseppek a befecskendezés során kapnak kisebb-nagyobb elektromos töltést.

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

Millikan kísérletében fontos szerepe volt a hőmérséklet állandó értéken tartásának is. A kísérleti cella hőmérsékletét hőmérsékletszabályozó tartja állandó értéken. Figyelni kell azonban arra, hogy a hőmérséklet megváltoztatását követően az új hőmérséklet nem azonnal áll be.

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

KÉPLETEK, ADATOK:

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

$$(\text{Súlyerő} - \text{felhajtóerő}) = \frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_o) g, \text{ ahol } g \text{ a nehézségi gyorsulás } (= 9,81 \text{ m/s}^2),$$

ρ_c , ill. ρ_o a csepp, ill. a levegő sűrűsége (értékeiket ld. alább);

$$\text{Közegellenállási erő} = -6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v \quad (\text{Stokes-törvény}), \text{ ahol } \eta \text{ a levegő viszkozitása (értékét ld. alább), } v \text{ pedig a részecske sebessége; A negatív előjel azt mutatja, hogy az erő a sebességgel ellentétes irányú.}$$

$$\text{Coulomb-erő} = q \cdot E = q \frac{U}{d}, \text{ ahol } q \text{ a csepp töltése, } U \text{ a kondenzátorlemezekre kapcsolt}$$

feszültség, d pedig a lemezek távolsága (E a térerősség).

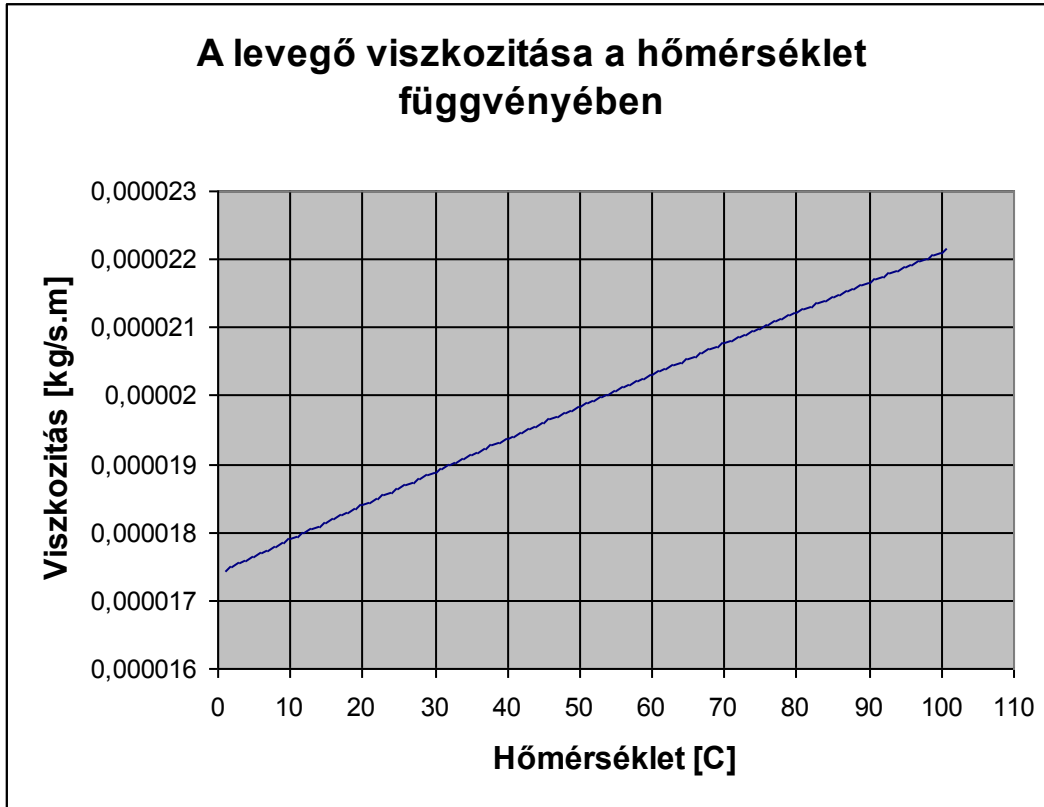
A számításhoz további segítség alább található.

A kondenzátor-lemezek távolsága: 1 cm = **0,01 m**.

Az olaj(cseppek) sűrűsége: $\rho_c = 870 \text{ kg/m}^3$. (a hőmérséklettől függetlennek tekinthető)

A levegő sűrűsége 0 C-on: $\rho_0 = 1,293 \text{ kg/m}^3$. (a hőmérséklettől is függ: $\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T}$)

A levegő viszkozitásának hőmérsékletfüggését az alábbi grafikon mutatja:



TANÁCSOK:

- 1) Mivel sebességet kell mérni, először határozd meg, hogy a mikroszkóp látómezejében lévő szátkereszt beosztásai a valóságban milyen távolságnak felelnek meg. A mozgatók mutatják, hogy mennyivel mozdítottad 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 van töltése. Ezért célszerű már a befecskendezés előtt megfelelő polaritású feszültséget adni a kondenzátor-lemezekre, 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 használd, mert a cseppecskék a „modell-idő” szerint mozognak, és ez a stopper méri a modell-időt!
- 4) Célszerű több cseppet megmérni (amennyit az idő enged). Ne elégedj meg tehát egyetlen csepp töltésének megméréseivel. Viszont *minden cseppnél a számítást is fejezd be*, mielőtt egy új csepp mérésébe fognál. A zsúri csak teljesen végigszámolt cseppeket tud figyelembe venni.

- 5) A méréseidről készíts (olvasható írással) jegyzőkönyvet! A jegyzőkönyvben tüntess fel minden lényeges adatot, valamint a számítási módszert és a végeredményt. Adj becslést az eredmény hibájára vonatkozóan is.

A SZÁMÍTÁSHOZ TOVÁBBI SEGÍTSÉG:

- I. Amikor nincs elektromos mező, és a részecske már egyenletes (v_1) sebességgel süllyed,

akkor $\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_o) g = 6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_1$, s ebből a csepp méretére kapjuk:

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

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

$\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_o) g + 6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_2 - q \frac{U}{d} = 0$, s ebből (R ismeretében) q kifejezhető:

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

- III. Amikor az elektromos mező olyan, hogy a csepp süllyed, (v_3 sebességgel), akkor az erők egyensúlya:

$\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_o) g - 6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_3 \pm q \frac{U}{d} = 0$, s ebből (R ismeretében) q kifejezhető:

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

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

Még további segítségképpen $T = 20$ C hőmérsékleten megadjuk a fenti három képletben szereplő állandó mennyiségek SI egységrendszerben kiszámolt numerikus értékeit.

I. $R = 9,856 \cdot 10^{-5} \sqrt{v_1} \quad 1)$

II. $q = \frac{357,0076 \cdot R^3 + 3,468 \cdot 10^{-6} \cdot R \cdot v_2}{U} \quad 2)$

III. $q = \mp \frac{357,0076 \cdot R^3 - 3,468 \cdot 10^{-6} \cdot R \cdot v_3}{U} \quad 3)$