

Országos Szilárd Leó fizikaverseny

Döntő 2014.április 12.

Mérési feladat

MILLIKAN-KÍSÉRLET SZIMULÁCIÓJA 2014

Egy távoli világból érkezett hozzánk a mellékelt kísérlet. 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.

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 mozgó-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** (nem feltétlenül azonos) elektromos töltést. Ha egyáltalán kap töltést egy csepp, akkor a kapott töltés mindig az elemi töltés egész számú többszöröse.

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.

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 a processzor sebessége is befolyásolhatja.)

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.

KÉPLETEK, ADATOK:

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

$$(\text{Súlyerő} - \text{felhajtóerő}) = \frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_o) g ,$$

ahol g a nehézségi gyorsulás $\left(= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$, ρ_c , ill. ρ_o a csepp,

ill. a levegő sűrűsége (értékeiket ld. alább);

$$\text{Közegellenállási erő} = -6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v \quad (\text{Stokes-törvény}),$$

Országos Szilárd Leó fizikaverseny

Döntő 2014.április 12.

Mérési feladat

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

$$\text{Coulomb-erő} = q \cdot E = q \frac{U}{d},$$

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

(A számításhoz további segítség a későbbiekben még található.)

A berendezés néhány paramétere:

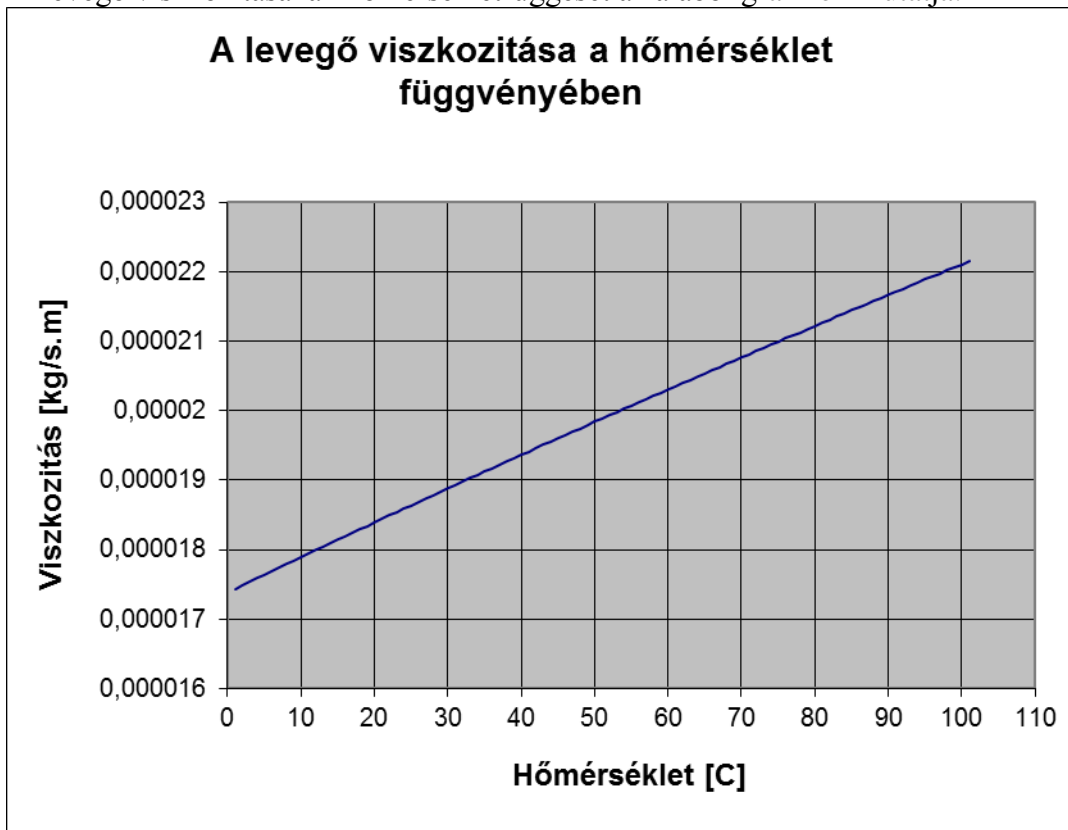
A kondenzátor-lemezek távolsága: 1 cm (= 0,01 m).

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

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

A hőmérsékletek értékeit itt Kelvin skálában kell megadni.

A levegő viszkozitásának hőmérsékletfüggését az alábbi grafikon mutatja:



TANÁCSOK:

- 1) Mivel *sebességet kell mérni*, először határozzuk meg, hogy a mikroszkóp látómezejében lévő szátkereszt beosztásai a valóságban milyen távolságnak felelnek

Országos Szilárd Leó fizikaverseny

Döntő 2014.április 12.

Mérési feladat

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 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* használjuk, 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 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 zsűri 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 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 töltött 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:

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

Országos Szilárd Leó fizikaverseny
Döntő 2014.április 12.
Mérési feladat

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