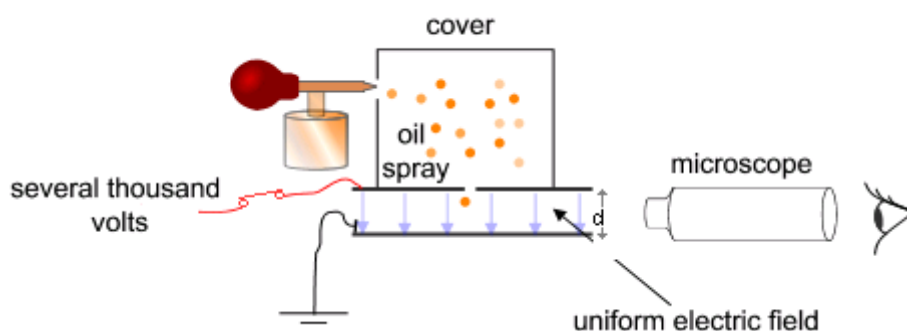


Mérés: Millikan olajcsepp-kísérlete

Mérés célja: 1909-ben ezt a mérést Robert Millikan végezte el először. Mérése során meg tudta határozni az elemi részecskék töltését. Ezért a felfedezéséért Nobel-díjat is kapott. A mi mérésünk célja ugyancsak az elemi részecske töltésének megmérése.

Eszközök: Millikan berendezése és egy stopper.



Magyarázat a fenti képhez Millikan berendezéséről: A kép alján két vízszintes helyzetű kondenzátorlemez van. Az egyik lemez van földelve, a másikra feszültség van kapcsolva. A magas potenciálkülönbség következtében egy homogén elektromos mező jön létre. A fémlemezeket egy szigetelőanyagból készült gyűrű tartja össze (amely az ábrán nem látható és) melyen két lyuk található. Az egyik lyukon egy erős fényforrás világít át arra a területre, ahol az olajcseppek a két lemez között mozognak. A másik lyuknál egy mikroszkópot helyezünk el.

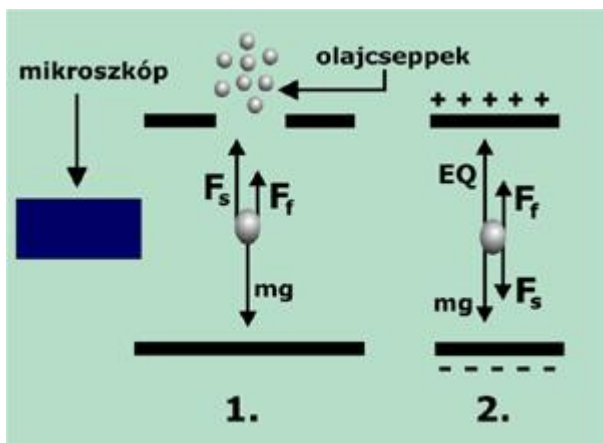
Mérés leírása:

A szerkezetet előkészítjük, a mikroszkópot beállítjuk, a fényforrást bekapcsoljuk, és felkészülünk a történelmi kísérlet elvégzésére. Befecskendezzük az olajcseppeket, a mikroszkópba belenézünk, kiválasztunk egy cseppet, és figyeljük a mozgását. Az olajcseppek visszaverik a fényt ezért fényes pontként látszanak a sötét térben. Ezeknek a pontoknak a mozgását vizsgáljuk. A mikroszkóp lencsésjén egy osztott skála található, így leolvashatjuk a cseppek által adott idő alatt megtett utat, ezáltal ismerjük a mozgás sebességét.

A csepp mozgásának leírása:

A mozgást erőtanilag vizsgáljuk. A mérés két szakaszra osztható. Az első szakaszban még nem aktiváljuk az elektromos mezőt, így a cseppek szabadon esnek a két lemez között. Az olajcseppeket most kiterjedt testekként vizsgáljuk, ezért a légellenállást és a felhajtóerőt is figyelembe vesszük. A közegellenállás miatt a cseppecskék mozgása, miután azok maximális sebességüket elérték, egyenletessé válik.

A mozgás során fellépő erők:



Ez a kép a mozgás két szakaszára jellemző erőket mutatja. Az ábra szerint az első szakaszban három erő befolyásolja a mozgást. A nehézségi, a közegellenállási, és a felhajtóerő. Ezek iránya is fel van tüntetve.

A nehézségi erő (mg): Ez az erő a teljes mozgás során „lefelé” húzza az olajcseppeket. A csepp tömegét a sűrűségének segítségével adjuk meg úgy, hogy azt gömb alakúnak tekintjük.

$$F_{\text{nehézségi}} = m \cdot g = \rho_{\text{olaj}} \cdot V \cdot g$$

$$\rho_{\text{olaj}} = 900 \text{ kg/m}^3 \text{ valamint } g = 9,80 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{nehézségi}} = 900 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$$

A felhajtóerő (F_f): Ez az erő a mozgás során végig ellentétes irányú a nehézségi erővel. Arkhimédész törvényének értelmében az erő nagysága az olajcsepp által kiszorított levegő súlyával egyezik meg.

$$F_f = \rho_{\text{levegő}} \cdot V \cdot g = 1,18 \text{ kg/m}^3 \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot R^3 \cdot 9,80 \text{ m/s}^2$$

A légellenállás (F_s): Ez az erő mindig a mozgás irányával ellentétes irányú, és lassú mozgás esetén egyenesen arányos annak sebességével. Ezen erő miatt válik a mozgás egyenletessé, miután a csepp elérte legnagyobb sebességét. Az ábra azért jelöli F_s –el, mert a csepp a levegő részecskéivel súrlódik esés közben. Emiatt az ábra súrlódási erőnek jelöli. Ezt a fajta súrlódásos erőt a „Stokes- törvény szerint számoljuk ki.

$F_s = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_1$ és $\eta = 18,2 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s}$ – a levegő viszkozitása 25°C -on.

A mikroszkóp lencséjén lévő skála segítségével mérjük le a csepp sebességét stopperrel. Azt tapasztaltuk, hogy 0,5 millimétert 15,5 másodperc alatt tett meg, tehát a sebessége $3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ volt.

Az olajcsepp sugarának kiszámítása:

$$\sum F = 0 \rightarrow F_{\text{nehézségi}} = F_s + F_f$$

$$\rho_{\text{olaj}} \cdot V \cdot g = \rho_{\text{levegő}} \cdot V \cdot g + 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_1$$

$$R^2 = (9 \cdot \eta \cdot v_1) / (2 \cdot g \cdot (\rho_{\text{olaj}} - \rho_{\text{levegő}}))$$

$$R^2 = (9 \cdot 18,2 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s} \cdot 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}) / (2 \cdot 9,80 \text{ m/s}^2 \cdot (900 - 1,18) \text{ kg/m}^3) = 2,999 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$$

$$\underline{\underline{R = 5,4766 \cdot 10^{-7} \text{ m}}}$$

A második szakasz mérése akkor kezdődik, amikor megmértük, mennyi idő alatt tesz meg a csepp 0,5 millimétert (10 osztás). Ezután a kondenzátorlemezekre feszültséget kapcsolunk. Az ábra szerint az alsóra kapcsoljuk a negatívát, de az a fontos, hogy az alsó lemez töltése az olajcsepp töltésével azonos legyen (az olajcsepp akkor nyert töltést, amikor kifecskendeztük, és a cső falához dörzsölődött). Ekkor a taszítóerő hatására a cseppecske felfelé kezd el mozogni. A közegellenállás miatt ebben az esetben is gyorsan maximalizálódik a sebessége, és egyenletessé válik a mozgása.

Az erők ezután az előző oldalon lévő ábra jobb oldala szerint fejtik ki hatásukat. A nehézség erő és a felhajtóerő nagysága és iránya nem változott. A csepp most felfelé mozog, ezért ez az erő a nehézségi erővel egyirányú, vagyis a mozgással ellentétes irányú, de most is egyenletessé teszi a mozgást. Ennél a mozgásnál is le kell mérni a sebességét. Mi 0,5 mm megtételét 9,9 másodpercnek mértük. Vagyis $v_2 = 5,05 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Az elektromos taszítóerő (F_e): Az alsó lemez és az olajcsepp azonos töltése miatt ez az erő felfele mozgatja a cseppet. A nagysága függ a lemezek távolságától (d) és a lemezek közötti potenciálkülönbségtől (U). Ezeket a megfelelő mérőeszközökkel lemérjük. Ezeket az adatokat kaptuk: $U = 174,5$ V és $d = 5,7$ mm

$$F_e = E \cdot Q = Q \cdot (U/d)$$

Az olajcsepp töltésének kiszámítása

$$\sum F = 0 \rightarrow F_{\text{nehézségi}} + F_s = F_f + F_e \rightarrow F_e = F_{\text{nehézségi}} + F_s - F_f$$

$$Q \cdot (U/d) = \rho_{\text{olaj}} \cdot V \cdot g - \rho_{\text{levegő}} \cdot V \cdot g + 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_2$$

$$Q = d \cdot R \cdot \pi \cdot (6 \cdot \eta \cdot v_2 + \rho_{\text{olaj}} \cdot 4/3 \cdot R^2 \cdot g - \rho_{\text{levegő}} \cdot 4/3 \cdot R^2 \cdot g) / U$$

$$Q = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 5,4766 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \pi \cdot (6 \cdot 18,2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa s} \cdot 5,05 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} + 4/3 \cdot 9,80 \text{ m/s}^2 \cdot (5,4766 \cdot 10^{-7} \text{ m})^2 \cdot (900 - 1,18) \text{ kg/m}^3) / 174,5 \text{ V} =$$

$$\underline{\underline{5,079 \cdot 10^{-19} \text{ C}}}$$

$$Q = \underline{\underline{5,079 \cdot 10^{-19} \text{ C}}}$$

Egy másik olajcsepp esetén a kapott érték $3,2667 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Kiértékelés:

Az elemi töltés irodalmi értéke $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ így a kapott értékek nagyságrendileg tökéletesen egyeznek. Millikan több száz mérést végzett, és minden alkalommal $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ egész számú többszörösét kapta. A mi esetünkben a kapott érték nagyjából háromszorosa az elemi töltésnek.

A mérés pontosságát befolyásoló tényezők: Fontos a helyes időmérés, melynek elhibázása mérési hibához vezethet. Nem mindegy, hogy az olaj melyik sűrűségi értékével számolunk. A kiválasztott csepp nem

mozgott teljesen a beosztott skála irányába, mozgása kicsit eltérült így a távolságmérés nem pontos.

Az erők nagyságrendje:

$$F_{\text{nehézségi}} = \rho_{\text{olaj}} \cdot V \cdot g = 900 \text{ kg/m}^3 \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot (5,4766 \cdot 10^{-7})^3 \cdot 9,80 \text{ m/s}^2 \\ = \mathbf{6,06 \cdot 10^{-15} N}$$

$$F_f = \rho_{\text{levegő}} \cdot V \cdot g = 1,18 \text{ kg/m}^3 \cdot 4/3 \cdot \pi \cdot (5,4766 \cdot 10^{-7})^3 \cdot 9,80 \text{ m/s}^2 \\ = \mathbf{7,95 \cdot 10^{-18} N}$$
 (ezt elhanyagolhatnánk).

$$F_s = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot v_1 = 6 \cdot \pi \cdot 18,2 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s} \cdot 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \cdot 5,4766 \cdot 10^{-7} \text{ m} = \\ = \mathbf{6 \cdot 10^{-15} N}$$
 (az első szakaszban)

A második szakaszban:

$$F_s = \mathbf{9,488 \cdot 10^{-15} N}.$$

$$F_e = Q \cdot (U/d) = 5,079 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot (174,5 \text{ V} / 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}) = \mathbf{1,55 \cdot 10^{-14} N}$$