

A Millikan-kísérlet

1. Történeti áttekintés

Elektromos jelenségekről először a görögök számoltak be, amikor feljegyezték, hogy a megdörzsölt borostyán a könnyű tárgyakat magához vonzza. E jelenséget 1747-ben Benjamin Franklin azzal magyarázta, hogy minden anyagban bizonyos mennyiségű elektromos folyadék vagy tűz található, mely folyadék többlete pozitív, hiánya pedig negatív töltést eredményez. Symmer tizenkét évvel későbbi elmélete szerint a semleges állapotban lévő anyag azért nem mutat elektromos tulajdonságokat, mert a pozitív ill. negatív elektromosságért felelős súlytalan folyadékokból azonos mennyiséget foglal magába.

Franklin már olyan elektromos részecske létezését telelezte fel, mely elegendően kicsi ahhoz, hogy könnyen behatoljon az anyagba. Kísérletei, melyek szerint elektrolízis közben az ellentétes elektródokon kiváló vegyületek tömege arányos kémiai egyenérték-súlyukkal, támogatták ezt a hipotézist. A folyadékelmélet és az az elképzelés, mely szerint az elektromosság az anyag mechanikai feszültségi állapota, a XIX. század végéig az elektromos jelenségek kizárólagos magyarázata maradt.

Az elektromosság azon természetes egységének megnevezésére, melynek hatására valamely elektródon egy atomnyi hidrogén vagy más egyértékű anyag szabadul fel, G. J. Stoney az "elektron" kifejezést javasolta 1891-ben.

Az egyszerűes iontöltés meghatározását Townsend kísérrelte meg először az 1890-es évek végén. Megfigyelte, hogy kénsav elektrolízise során pozitív töltésű hidrogén és oxigén szabadul fel. A felszabaduló ionizált gázt vízen átbuborékolgatva ködöt képzett. Feltételezte, hogy a telített vízgőzben minden ion nedvességet kondenzál maga körül, vagyis az ionok száma megegyezik a cseppekével. Townsend eredményei a 3×10^{-10} e.s.u. (e.s.u.: egykori elektrosztatikus egység) nagyságrendbe estek. J.J. Thomson 1900-ban egy a Townsendéhez hasonló módszerrel 6×10^{-10} e.s.u. értéket kapott. Minthogy a feltevés, hogy cseppek egy iont tartalmaznak, csak közelítőleg bizonyult helyesnek, ezek a módszerek nem voltak alkalmasak az elektrontöltés pontos meghatározására.

H.S. Wilson Townsend és Thomson kísérleteit úgy tökéletesítette, hogy a két lapos rézelektroda között állított elő ködöt. A töltetlen ill. 2000 V feszültségre kapcsolt lemezek között megfigyelve a ködcseppek esési sebességét, és kihasználva, hogy a két sebesség arányos a cseppekre ható erőkkel, Wilson meghatározta az elektron töltését, mely 3×10^{-10} e.s.u értékűnek adódott. Mivel Wilson mérései a köd felső részére ill. a legkisebb töltésű cseppekre vonatkoztak (a nagyobb töltésű cseppek az elektromos térben gyorsabban mozogtak lefelé), eredményei összhangban voltak a cseppekénti egy ion feltevésével.

Millikan tovább javította Wilson elrendezését azzal, hogy a lemezekre nagyobb feszültséget kapcsolt, aminek következtében a cseppek esési sebessége nemcsak csökkent, hanem esetenként meg is fordult. Egyes töltött cseppek felfelé mozogtak, mások gyorsan lefelé, míg a töltetlen cseppek változatlan sebességgel haladtak lefelé. Néhány csepp, amely akkora töltést hordozott, hogy a gravitációs erőt a cseppekre ható elektromos erő csaknem kiegyenlítette, a látómezőben maradt. A lemezekre kapcsolt

feszültség változtatásával Millikan kiegyensúlyozta ezen cseppeket, ami lehetővé tette, hogy egyetlen cseppen végezzen méréseket. Ezzel a módszerrel tanulmányozta az egyes ionok tulajdonságait, és vizsgálta, hogy a különböző ionok azonos a töltést hordoznak-e.

2. Az elektron töltésének meghatározása

A részecskék által hordozott elektromos töltés meghatározható, ha ismert nagyságú elektromos térben mérjük a részecskére ható erőt. Bár a megfelelő elektromos tér előállítása viszonylag egyszerű, az egy vagy néhány többlet-elektront hordozó részecskékre ható erő igen kicsi. Például, egy 1000 V/cm erősségű tér $1,6 \times 10^{-14}$ N erővel hat az egyetlen többlet elektronnal rendelkező részecskére, ami egy $\sim 10^{-12}$ g tömegű részecskére ható gravitációs erővel mérhető össze.

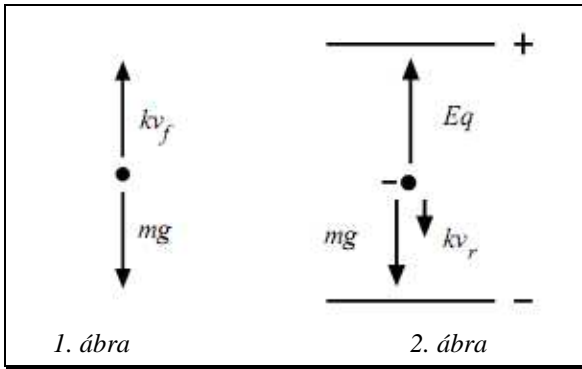
Millikan kísérletének sikere attól függött, hogy tudnak-e ilyen nagyságrendű erőt mérni. 10^{-12} g vagy kisebb tömegű olajcseppek viselkedését vizsgálták gravitációs és elektromos térben. A levegőben eső csepp sebességének mérése a Stokes-törvény alkalmazásával lehetővé teszi a csepp tömegének meghatározását, míg az elektromos térben emelkedő csepp sebességéből a cseppekre ható erőre, ill. a hordozott töltésre következtethetünk.

Bár ez a módszer lehetővé teszi egyetlen csepp töltésének vizsgálatát, csak a mért adatok elemzésével és némi kísérleti jártassággal lehetünk képesek egyetlen elektron töltésének meghatározására. A lassan eső vagy emelkedő cseppek csak kisszámú többlet elektront hordoznak. Mozgásuk megfigyelése alapján töltésük meghatározható, ami lehetővé teszi annak vizsgálatát, hogy a cseppek töltése egy elemi töltés egészszámú többszöröseként áll-e elő, ahogy azt az elektromos töltés kvantált természete alapján várjuk. Ha minden méréséhez más cseppeket használunk, felmerül a kérdés, hogy milyen hatással van a töltésre maga a csepp. Ez a bizonytalanság kiküszöbölhető, ha ionizáló forrás alkalmazásával egyazon csepp töltését változtatjuk a megfigyelés során. Ha az eredményül kapott töltések valamely érték egészszámú többszörösei, akkor az elemi elektromos töltés létezését egyértelműen bizonyítottuk.

Az elektron töltésének ismeretében lehetőség nyílik az Avogadro-szám meghatározására is. Elektrolízis során az egy mólnyi mennyiség leválasztásához szükséges töltés (Faraday) egyenlő az elektron töltés és az Avogadro-szám szorzatával. Az elektrolízis kísérletekből adódóan 1 Faraday = $2,895 \times 10^{14}$ e.s.u., mely értéket az elektron töltésével ($4,803 \times 10^{-10}$ e.s.u.) osztva megkapjuk az Avogadro-számot.

2.1 Egy csepp töltésének számítása

A csepp által hordozott töltés számításához vizsgáljuk meg, milyen erők hatnak egy olajcseppekre. Az 1. ábrán az állandósult sebességgel eső cseppekre ható erők láthatóak. (A kísérletben használt cseppek néhány μ s alatt elérik végsebességüket.) Az 1. ábrán v_f az esési sebesség, k a súrlódási együttható a levegő és a csepp között, m a csepp



tömege és g a nehézségi gyorsulás. Mivel az erők egyenlők és ellentétes irányúak:

$$mg = kv_f \quad (1)$$

A 2. ábra az elektromos tér hatására emelkedő cseppre ható erőket mutatja. E az elektromos térerősség, e_n a csepp által hordozott töltés és v_r az emelkedés sebessége. Az erőket vektoriálisan összegezzve:

$$Ee_n = mg + kv_r \quad (2)$$

Mivel a levegő sűrűsége csak mintegy ezredrésze az olajnak, a levegő felhajtóerejét elhanyagoltuk.

Az (1) és (2) egyenletekből k -t kiküszöbölve és e_n -re megoldva:

$$e_n = mg(v_f + v_r)/Ev_f \quad (3)$$

ahol

$$m = (4/3)\pi r^3 \sigma, \quad (4)$$

míg r a csepp sugara, σ pedig az olaj sűrűsége. A csepp sugarát az η viszkozitású folyadékban eső gömb alakú test sugara és sebessége közötti kapcsolatot megadó Stokes-törvény alapján a

$$r = [9\eta v_f / 2g(\sigma - \rho)]^{1/2}, \quad (5)$$

összefüggés szerint számítjuk, ahol ρ a közeg sűrűsége. A (4) és (5) egyenleteket (3)-ba helyettesítve és figyelembe véve, hogy az olaj sűrűsége sokkal nagyobb mint a levegőé ($\sigma \gg \rho$):

$$e_n = (4\pi/3)[(9\eta/2)^3/g\sigma]^{1/2}(v_f + v_r)(v_f)^{1/2}/E. \quad (6)$$

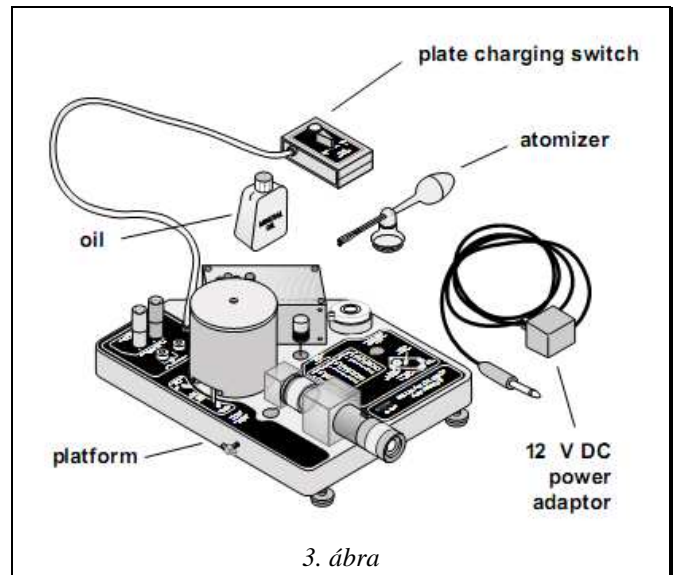
A Stokes-törvény azonban csak addig érvényes, míg a csepp sebessége nagyobb mint 0,1 cm/s. (Az ilyen és kisebb sebességű cseppek 2 μ m nagyságrendű átmérője összemérhető a levegő molekulák szabad úthosszával, amely esetben a Stokes-törvény érvényességének egyik alapfeltétele nem teljesül.) Mivel a cseppek tipikus sebessége kísérletünkben a 0,01 - 0,001 cm/s tartományba esik, egy

$$[1/(1 + b/pr)]^{3/2}, \quad (7)$$

alakú korrekciós tényező bevezetése szükséges, ahol b állandó, p a légköri nyomás, r pedig a Stokes-törvényből számolt csepp sugár.

Az elektromos térerősség $E = V/d$, ahol V a d távolságban lévő párhuzamos lemezek közötti potenciálkülönbség. Ezt és (7)-et a (6) egyenletbe helyettesítve:

$$e_n = \{(4\pi d/3)[(9\eta/2)^3/g\sigma]^{1/2}\} \times \{[1/(1 + b/pr)]^{3/2}\} \times \{(v_f + v_r) v_f^{1/2}/V\} \quad (8)$$



Az első szorzófaktorban lévő mennyiségek állandók, a másodikban a csepp sugara, míg a harmadikban a mérendő sebességek szerepelnek. A fenti egyenletekben előforduló mennyiségek és mértékegységeik a következők:

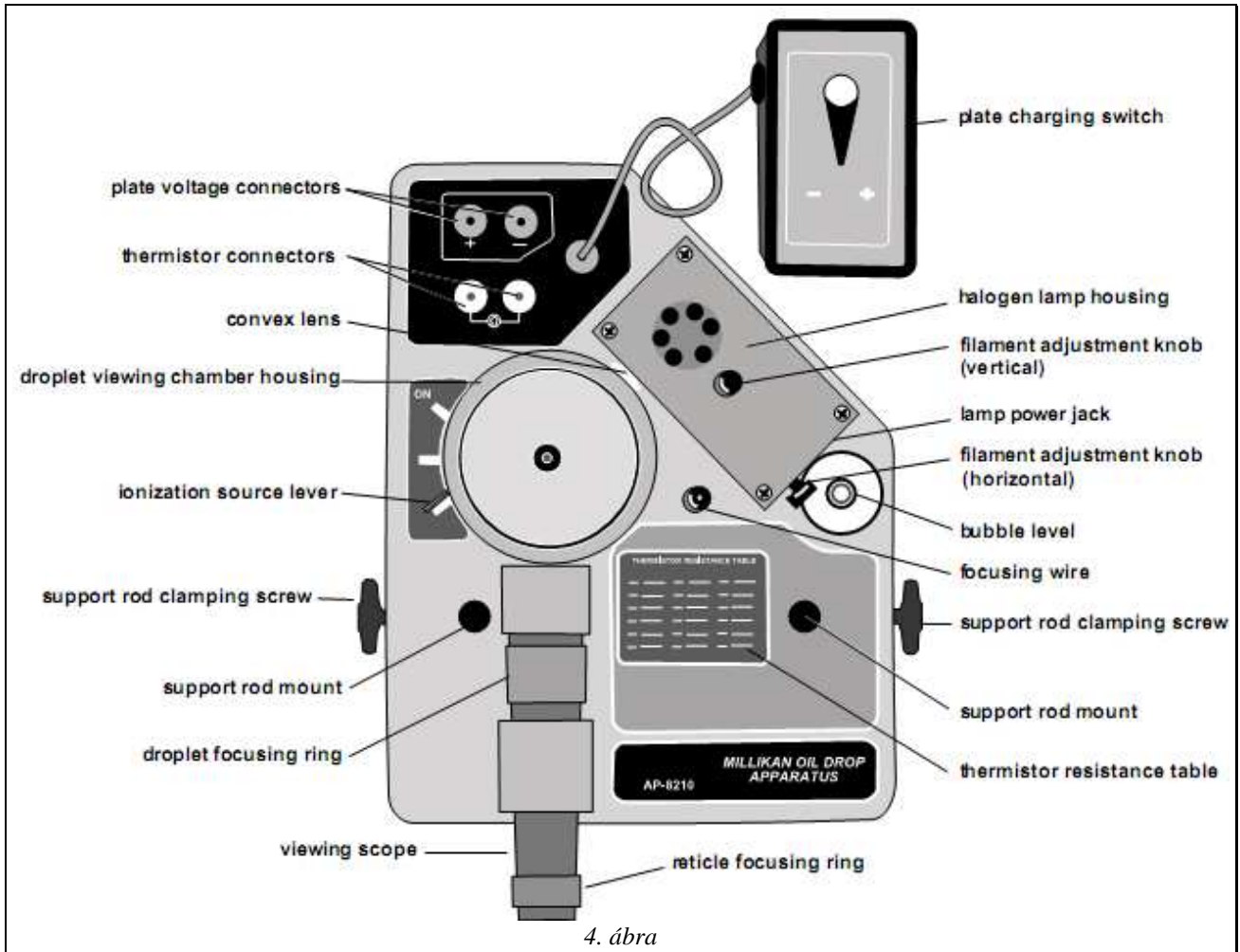
- e_n - a csepp által hordozott töltés Coulomb-ban,
- d - a kondenzátor lemezei közötti távolság m-ben,
- g - a nehézségi gyorsulás m/s²-ben,
- η - a levegő viszkozitása Pa.s-ban,
- ρ - a levegő sűrűsége kg/m³-ben,
- σ - az olaj sűrűsége kg/m³-ben,
- b - állandó, $8,20 \times 10^{-3}$ Pa.m,
- p - a légköri nyomás Pa-ban,
- r - a csepp sugara m-ben,
- v_f - az esési sebesség m/s-ban,
- v_r - az emelkedési sebesség m/s-ban,
- V - a potenciálkülönbség a lemezek között V-ban.

3. A mérőeszköz és előkészítése

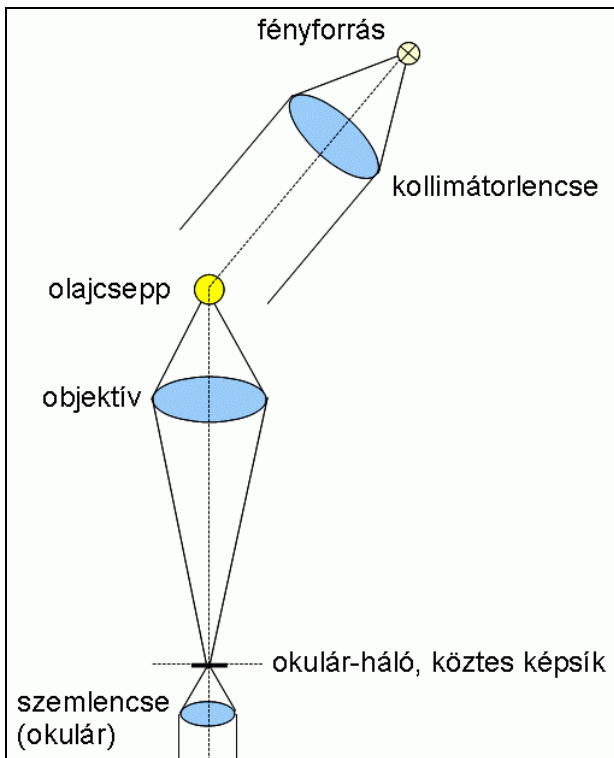
A méréshez használt készlet (3. ábra) a mérőberendezésből, a hozzá kapcsolt töltő kapcsolóból (*plate charging switch*), a halogén fényforráshoz való 12 V-os egyenáramú adapterből (*DC power adaptor*), egy flakon nem párolgó olajból (sűrűsége 886 kg/m³), és a porlasztóból (*atomizer*) áll.

3.1 A mérőberendezés részei (4. ábra):

- megfigyelő kamra (*droplet viewing chamber*),
- megfigyelő mikroszkóp (5. ábra, *viewing scope*; 30-szoros nagyítás, megvilágított képmező, egyenesállású kép) okulár-hálóval (vonaltávolságok: nagy osztás 0,5 mm, kis osztás 0,1 mm), okulár fókuszáló gyűrűvel és csepp fókuszáló gyűrűvel (*reticle & droplet focusing rings*),



4. ábra



5. ábra

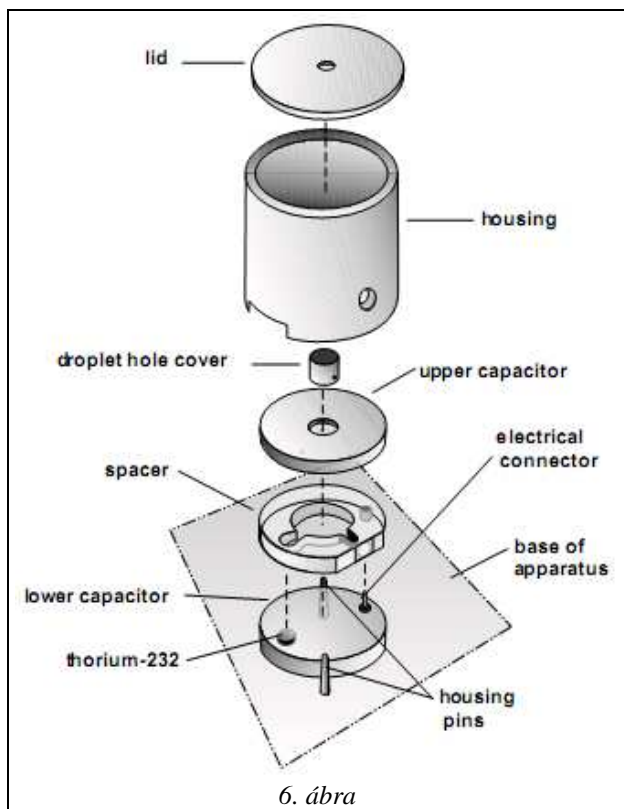
- halogén fényforrás (12 V, 5 W halogén izzó és dikroikus, infravörös-abszorbeáló ablak, vízszintes és függőleges izzószál beállító gombok),

- fókuszáló huzal (*focusing wire*; a megfigyelő mikroszkóp beállításához),
- lemez feszültség csatlakozók (*plate voltage connectors*),
- termisztor csatlakozók (*thermistor connectors*; a termisztorok az alaplemezbe vannak beépítve).
FIGYELEM: A termisztor csatlakozóira ne kapcsoljunk feszültséget !
- termisztor táblázat (*thermistor resistance table*; ellenállás a hőmérséklet függvényében)
- három állású ionizáló forrás kar (*ionization source lever*; BE, KI és Csepp porlasztás)
- szintező (*bubble level*)
- 3 szintező láb
- lemez töltő kapcsoló (*plate charging switch*; 1 m kábellel, hogy a kapcsoló működtetése ne zavarja a mérést)

3.2 A megfigyelő kamra részei (6. ábra)

- fedő (*lid*)
- ház (*housing*)
- csepp furat fedő (*drop hole cover*)
- felső kondenzátor lemez (*upper capacitor*)
- műanyag távtartó (kb. 7,6 mm vastag)

- alsó kondenzátor lemez (*lower capacitor*)
- tórium-232 alfa-forrás (0,008 μCi)
- elektromos csatlakozás a felső kondenzátor lemezhez
- konvex lencsék



6. ábra

Megjegyzés: A tórium-232 természetesen előforduló, $1,41 \times 10^{10}$ év felezési idejű, kis aktivitású alfa-részecske forrás. Használata nem jelent veszélyt a kísérletet végző személyre.

3.3 A mérés elvégzéséhez szükséges további eszközök:

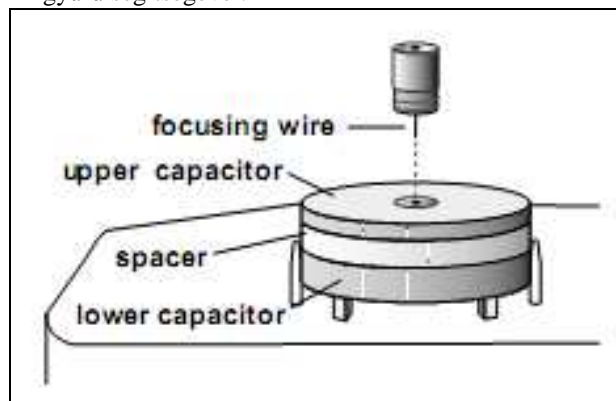
- nagyfeszültségű szabályozott tápegység (max. 500 V, min. 10 μA)
- digitális multiméter (feszültség- és ellenállás méréséhez)
- mérővezetékek banándugókkal (4 db)
- stopper

3.4 Az optikai rendszer beállítása:

3.4.1 A megfigyelő mikroszkóp fókuszálása:

1. Helyezzük vissza a műanyag távtartó lemezt és a felső kondenzátor lemezt az alsó kondenzátor lemezre. Helyezzük vissza a burkolatot, hogy az illesztő csapok az alap megfelelő furataiba illeszkedjenek (lásd 6. ábra).
2. Csavarjuk ki a fókuszáló huzalt a tárolási helyéről és gondosan illesszük a felső kondenzátor lemez közepén lévő nyílásba (7. ábra).
3. Csatlakoztassuk a 12 V-os transzformátor dugaszát a halogén-lámpa burkolatának csatlakozójába és dugaszoljuk az elosztó csatlakozóba.
4. A háló fókuszáló (okulár) gyűrű segítségével állítsuk élesre az okulár-hálót.

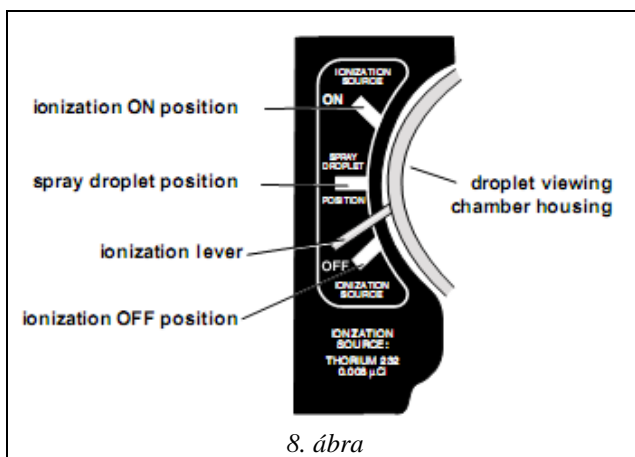
5. Figyeljük meg a fókuszáló huzalt a megfigyelő mikroszkópon keresztül, és állítsuk élesre a csepp fókuszáló gyűrű segítségével.



7. ábra

3.4.2 A halogén izzószál fókuszálása:

1. Forgassuk az izzószál vízszintes beállító gombját. A fény akkor a legjobban fókuszált, amikor a fókuszáló huzal jobb oldali éle a legfényesebb (a legnagyobb a kontraszt a huzal közepéhez képest).
2. A fókuszáló huzalt a mikroszkópon át figyelve addig forgassuk az izzószál függőleges beállító gombját, míg a fókuszáló huzalra eső fény a legerősebb nem lesz.
3. Helyezzük vissza a fókuszáló huzalt a tárolási helyére.



8. ábra

3.5 A kezelőszervek funkciói:

3.5.1 Ionizáló forrást szabályzó kar (8. ábra):

1. A kar KI (OFF) állása esetén, az ionizáló forrás minden oldalról árnyékolva van, s így nem kerülhetnek alfa-részecskék a cseppek környezetébe.
2. BE (ON) állásban nincs árnyékolás, a tórium-232 forrásból ionizáló alfa-részecskék jutnak a cseppek környezetébe.
3. A CSEPP PORLASZTÁS (SPRAY DROPLET) helyzetben a kamra egy levegőző furaton keresztül szellőzik. A porlasztásnál befújt levegő ezen keresztül távozik.

3.5.2 Lemez töltő kapcsoló:

A lemez töltő kapcsoló három állású:

1. TOP PLATE -: a feszültségforrás negatív csatlakozási pontja a felső lemezzel van összekötöttesben.

2. TOP PLATE +: a feszültségforrás negatív csatlakozási pontja az alsó lemezzel van összekötötésben.
3. PLATES GROUNDED: a lemezek le vannak kapcsolva a feszültségforrásról és össze vannak kötve egymással.

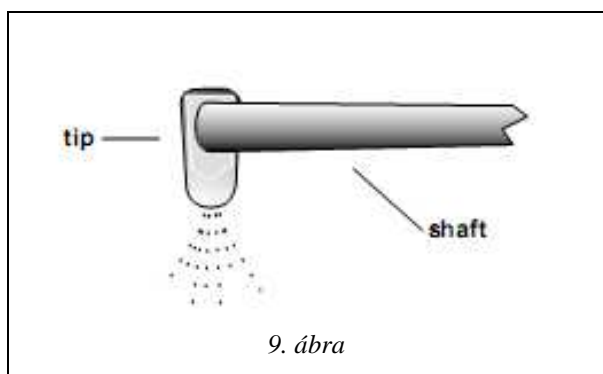
3.6 A feszültség beállítása és mérése:

1. Csatlakoztassuk a nagyfeszültségű DC tápegységet a lemez feszültség csatlakozókhoz banándugós vezetékkel és állítsunk be kb. 500 V -ot.
2. Digitális multiméterrel mérjük meg a kondenzátor lemezekre adott feszültséget a lemez feszültség csatlakozókon. A lemezekkel egy-egy 10 MΩ nagyságú ellenállás van sorba kapcsolva a véletlen áramütések megakadályozása céljából.

3.7 A kamra hőmérsékletének meghatározása:

Csatlakoztassuk a multimétert a termisztor csatlakozókhoz és mérjük meg a termisztor ellenállását, melyből az alapon elhelyezett Termisztor Ellenállás Táblázat segítségével az alsó kondenzátor-lemez hőmérséklete meghatározható. Ez az érték jól közelíti a megfigyelő kamrán belüli hőmérsékletet.

Bár a dikroikus ablakok a halogén izzó által keltett hő legnagyobb részét visszaverik, a megfigyelő kamrán belül a hőmérséklet hosszabb megvilágítás során emelkedhet. Ezért célszerű a kamra hőmérsékletét ~15 percenként ellenőrizni.



4. A kísérlet végrehajtása

1. Helyezzük vissza a csepp nyílás fedelét a felső kondenzátor lemezre, majd tegyük helyére a burkolat fedelét (lásd 6. ábra).
2. Mérjük meg a lemez feszültséget és a termisztor ellenállást (hőmérséklet).

Megjegyzés: A csepp-nyílás fedele megakadályozza, hogy további cseppek kerüljenek a megfigyelő kamrába.

Cseppek bevétele a megfigyelő kamrába

1. Töltsük meg a porlasztót nem párolgó olajjal (pl. Squibb #5597 Mineral Oil, sűrűség: 886 kg/m³.)
2. A porlasztó pumpa többszöri gyors megnyomásával, készítsük elő a porlasztót. Győződjünk meg arról, hogy a porlasztó csúcs lefelé mutat a tengelyre merőlegesen (lásd 9. ábra).

3. Helyezzük az ionizáló forrás karját a Csepp Porlasztás Helyzetbe (Spray Droplet Position), hogy a cseppeknek a kamrába bevétele során levegő távozhasson a kamrából.
4. Helyezzük a porlasztó csúcsát a megfigyelő kamra fedelén lévő nyílásba.
5. A mikroszkópon keresztül figyelve, egyszer gyorsan nyomjuk meg a porlasztó pumpát. Ezzel visszük be az apró olajcseppeket a felső kamrába. Ezután a porlasztó pumpa lassú megnyomásával kényszerítjük át a cseppeket a felső kondenzátor lemezben lévő csepp bevezető furaton keresztül a két kondenzátor lemez közötti térbe.
6. Amikor cseppek "zaporoznak" a megfigyelő mikroszkópon látóterében, állítsuk az ionizáló forrás karját KI (OFF) helyzetbe.

Megjegyzések:

- a) A cseppek bevezetésének pontos technikáját a kísérletezőnek kell kialakítania. A cél az, hogy ne ködöt hanem kis számú cseppet kapjunk, amelyek közül a megfelelő könnyen kiválasztható. A porlasztó túlzott működésével fölöslegesen sok csepp kerül a megfigyelési területre és, – ami még fontosabb –, a kamra fala és a megfigyelő mikroszkóp fókuszpontja közötti területre. Az utóbbiak gátolják a mikroszkóp fókuszpontjában lévő cseppek megfigyelését.
- b) Ha túl sok cseppet porlasztottunk be, várjunk három-négy percet, míg a többségük távozik a képmezőből, vagy szereljük szét a megfigyelő kamrát (a DC tápegység kikapcsolása után). Ha túl sok olaj halmozódott fel benne, a megfigyelő kamrát tisztítani kell. (Minél kevesebb olajat porlasztunk a kamrába, annál ritkábban kell tisztítani.)

A csepp kiválasztása

1. A képmezőben látható cseppek közül válasszunk ki egyet, mely elektromos tér nélkül lassan (kb. 0.02-0.05 mm/s sebességgel) esik, és legalább egy - vagy + töltést hordoz (sebességet vált, amikor a lemezek töltöttek).
2. Ha megtaláltuk a megfelelő méretű és töltésű olajcseppet, finoman állítsuk be a megfigyelő mikroszkóp fókuszát.

Megjegyzések:

- a) Egy csepp, amely elektromos tér nélkül ~15 s alatt teszi meg a két vastag rácsvonal közötti távolságot (0.5 mm), 1000 V/cm-es elektromos tér hatása alatt 1 többlet elektronnal 15 s, 2 elektronnal 7 s, ill. 3 elektronnal 3 s alatt emelkedik ugyanannyit. (Megjegyzés: ezek az arányok csak közelítőek.)
- b) Ha túl sok csepp van a képmezőben, a kondenzátorlemezek feszültség alá helyezésével ritkítható számuk.
- c) Ha túl kevés töltött cseppet találunk, a megfelelő méretű és töltésű csepp előállításához ~5 másodpercre állítsuk az ionizáló forrás karját BE (ON) helyzetbe.
- d) A mikroszkóp megfelelő fókuszálása mellett az olajcseppek fénylő apró pontoknak látszanak.

Adatgyűjtés a cseppek emelkedése és esése során

1. Mérjük meg a kiválasztott csepp emelkedési (a lemezek töltöttek) és esési (a lemezek nem töltöttek) sebes-

ségét kb. 10-20 esetben. A cseppek mozgatásához használjuk a lemez feszültség kapcsolót.

2. Számítsuk ki a csepp töltését. Ha a csepp töltése az első meghatározáskor nagyobb, mint 5 többlet elektron, a további mérések során lassabban mozgó cseppeket használjunk.
3. Vezessünk be további cseppeket a kamrába a korábban leírt eljárással és válasszunk ki egy másik cseppet.
4. Mérjük a kiválasztott csepp emelkedési és esési sebességét kb. 10-20 esetben. Mozgását addig kövessük, amíg töltése spontán módon meg nem változik, vagy a csepp ki nem lép a képmezőből.
5. Vigyük a cseppet a képmező tetejére és néhány másodpercre helyezzük az ionizáló forrás kart BE (ON) helyzetbe, miközben a csepp esik.
6. Ha a csepp emelkedési sebessége megváltozik, mérjük meg az emelkedési sebességet ahányszor csak tudjuk (legfeljebb 20 mérés).
7. Ha a csepp még a képmezőben van, próbáljuk megváltoztatni a csepp töltését még több alfa-részecske bevezetésével, az előbb leírt módon, és mérjük meg az új emelkedési sebességet 10-20 esetben, ha lehetséges.
8. Ismételjük meg a 7. lépést ahányszor csak lehetséges.
9. Jegyezzük fel a lemezek közötti feszültséget, az olaj sűrűségét, a levegő viszkozitását a megfigyelő kamra hőmérsékletét (lásd A. Függelék), és a légköri nyomást minden egyes sebességmérési sorozat esetében.

Megjegyzések:

- a) A legnagyobb mérési pontosságot akkor érhetjük el, ha az időt azon pillanatok között mérjük, amikor a fénylő csepp áthalad az első ill. a második vastag rácsvonal mögött. (Ezek a vonalak tárgysíkra vonatkoztatva 0,5mm vannak egymástól.)
- b) Célszerű minél több különböző sebességet megfigyelni egyetlen cseppel.

A csepp töltésének számítása

A (8) egyenlet alapján. Az elektron töltésének elfogadott értéke $1,60 \times 10^{-19}$ C.

Mérési feladatok:

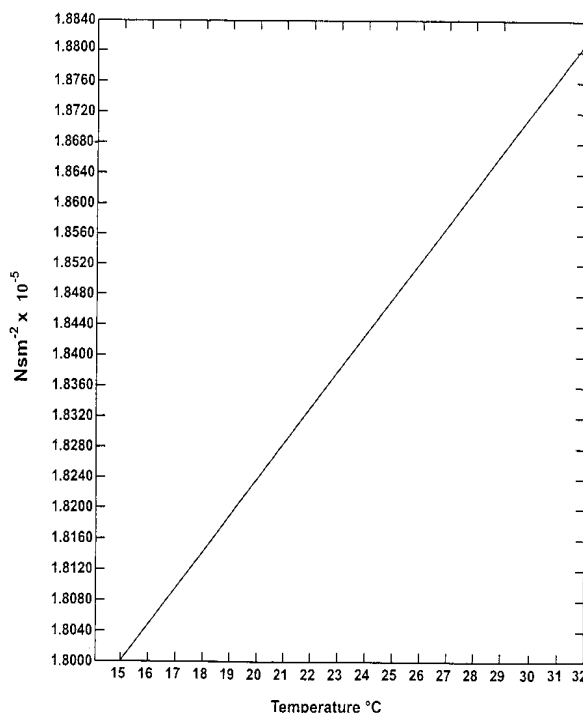
1. Határozza meg egy kiválasztott lassú és legalább egy - vagy + többlet elektron töltésű csepp emelkedési és esési sebességét kb. 10-20 esetben!
2. Az ionizáló forrás segítségével változtassa meg a csepp töltését és ismétlje meg az 1. feladatot!
3. Határozza meg több másik kiválasztott csepp emelkedési és esési sebességét kb. 10-20 esetben!
4. A mérési eredmények alapján állapítsa meg a cseppek által hordozott többlet elektronok számát és ábrázolja töltésük nagyságát a többlet elektronok számának függvényében! A legkisebb négyzetek módszerével határozza meg az elektron töltésének nagyságát!

A. Függelék:

A levegő sűrűsége $\rho = \rho_0 (p/760 \text{ Hgmm}) (273.15 \text{ K}/T)$, ahol $\rho_0 = 1,2929 \text{ kg/m}^3$ a levegő 0°C hőmérsékletre és 1 atm. nyomásra vonatkozó értéke.

B. Függelék:

A száraz levegő viszkozitása a hőmérséklet függvényében



C. Függelék:

A Millikan kísérletben használt termisztor ellenállása a hőmérséklet függvényében.

THERMISTOR RESISTANCE TABLE

°C	X 10 ⁶ Ω	°C	X 10 ⁶ Ω	°C	X 10 ⁶ Ω
10	3.239	20	2.300	30	1.774
11	3.118	21	2.233	31	1.736
12	3.004	22	2.169	32	1.700
13	2.897	23	2.110	33	1.666
14	2.795	24	2.053	34	1.634
15	2.700	25	2.000	35	1.603
16	2.610	26	1.950	36	1.574
17	2.526	27	1.902	37	1.547
18	2.446	28	1.857	38	1.521
19	2.371	29	1.815	39	1.496