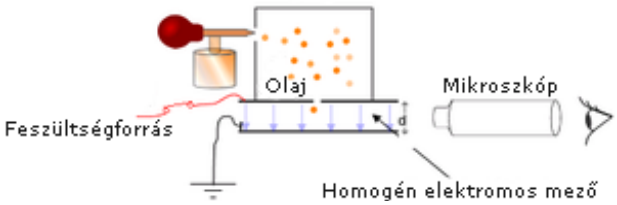
Millikan olajcseppkísérlete (1909)

A mérés célja:

A mérés elsődleges célja az egységnyi elektromos elemi töltés – tehát egy elektron elektromos töltésének – meghatározása volt.

Mérési eszközök:

Egy henger alakú kétszintes fémdoboz (egyik szint közepén egy kis méretű lyukkal); feszültségforrás; fényforrás; mikroszkóp; beosztásokkal ellátott lencse a mikroszkóphoz; olajjal töltött porlasztó; stoppe



A kísérlet sematikus rajza

Mérés menete:

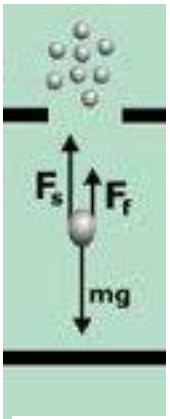
A kísérletet két szakaszra bonthatjuk. Az első rész során nem kapcsolunk feszültséget a fémdoboz két szintjére, melyek a későbbiekben egy kondenzátor fegyverzeteiként/lemezeiként is értelmezhetők.

A hengeres fémdoboz felső szintjére olajat spriccelünk a porlasztó segítségével, és az olajcseppek a kis lyukon keresztül az első részbe kerülhetnek. Az olajcseppek dörzsölés és porlasztás hatására negatív elektromos töltést vesznek fel. Az alsó részt egy fényforrás segítségével egy nyíláson át megvilágítjuk, és egy másik nyílásnál a korábban elhelyezett mikroszkóppal belenézhetünk a térrészbe.

Arra lehetünk figyelmesek, hogy az olajcseppek – a gravitációs erőnek köszönhető – gyorsulás után egyenes vonalú egyenletes mozgással hullanak tovább lefelé. Az egyenes vonalú egyenletes mozgást a gravitációs, a levegő viszkozitásából adódó közegellenállási (Stokes-törvény) és a felhajtóerő kiegyenlítődése okozza:

$$F_{gravitációs} = F_{közegellenállási} + F_{felhajtó}$$

$$F_{eredő} = 0$$



Erők kiegyenlítődése

Egy olajcseppet kiválasztva a stopperóránk segítségével meghatározhatjuk a mozgás sebességét:

$$v_1 = \frac{s}{t}$$

A levegő viszkozitásának ismeretében meghatározhatjuk egy olajcsepp sugarát:

$$F_{gravitációs} = F_{közegellenállási} + F_{felhajtó}$$

$$m \cdot g = 6 \cdot \eta \cdot r \cdot v_1 \cdot \pi + \rho_{levegő} \cdot V_{csepp} \cdot g$$

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{olaj} \cdot g = 6 \cdot \eta \cdot r \cdot v_1 \cdot \pi + \rho_{levegő} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g$$

Gravitációs erő és felhajtóerő összevonása:

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g \cdot \left(\rho_{olaj} - \rho_{levegő}\right) = 6 \cdot \eta \cdot r \cdot v_1 \cdot \pi$$

Így egy olajcsepp sugara kiszámítható:

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot v_1 \cdot}{2 \cdot g \cdot \left(\rho_{olaj} - \rho_{levegő}\right)}}$$

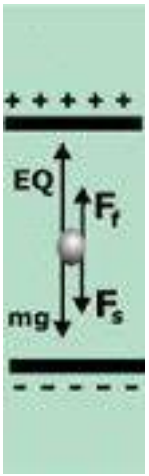
A második szakasz megkezdésekor feszültséget kapcsolunk a fegyverzetekre. A felső lemez fog a pozitív töltésű, míg a az alsó a negatív töltésű lenni, így a két lemez között egy homogén elektromos tér jön létre.

Az elektromos mező megjelenésének következtében egy negyedik (elektromos) erő is hatni fog az olajcseppekre.

$$F_{elektromos} = q \cdot E$$

Ez az erő az olajcseppet függőlegesen felfelé fogja tolni a csepp és az alsó lemez azonos elektromos töltéséből adódó taszítás következtében. Újra egyenes vonalú egyenletes mozgás lesz majd megfigyelhető, de az előzővel ellentétes irányú (a cseppek megállítása a levegőben szintén lehetséges lenne). Az ellentétes irány következtében a közegellenállási erő szintén az ellenkező irányba – az új mozgásiránnyal ellentétesen – fog hatni.

$$F_{gravitációs} + F_{közegellenállási} = F_{elektromos} + F_{felhajtó}$$



Erők kiegyenlítődése

A sebességet az előző út-idő összefüggés alapján ismét kiszámítjuk.

Az eddig mért és kiszámított adatok alapján az olajcsepp töltése kiszámítható:

$$F_{gravitációs} + F_{közegellenállási} = F_{elektromos} + F_{felhajtó}$$

$$m \cdot g + 6 \cdot \eta \cdot r \cdot v_2 \cdot \pi = q \cdot E + \rho_{levegő} \cdot V_{csepp} \cdot g$$

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g + 6 \cdot \eta \cdot r \cdot v_2 \cdot \pi = q \cdot \frac{U}{d} + \rho_{levegő} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g$$

$$q = \frac{d \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g + 6 \cdot \eta \cdot r \cdot v_2 \cdot \pi - \rho_{levegő} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g\right)}{U}$$

$$q = \frac{d \cdot r \cdot \pi \cdot \left(\rho_{olaj} \cdot \frac{4}{3} \cdot r^2 \cdot g + 6 \cdot \eta \cdot v_2 - \rho_{levegő} \cdot \frac{4}{3} \cdot r^2 \cdot g\right)}{U}$$

Használt mennyiségek:

gravitációs gyorsulás → $g = 9{,}81\ m/s^2$

levegő viszkozitása → $\eta = 18{,}26 \cdot 10^{-6}$ Pa s

levegő sűrűsége → $\rho_{levegő} = 1{,}18\ kg/m^3$

olaj sűrűsége → $\rho_{olaj} = 900\ kg/m^3$

lemezek közti távolság → $d = 5{,}7 \cdot 10^{-3}$ m

Mért és kiszámított értékek:

	v_1 (m/s)	r (m)	v_2 (m/s)	U (V)	q (C)
1. mérés	$2{,}70 \cdot 10^{-5}$	$5{,}01 \cdot 10^{-7}$	$4{,}60 \cdot 10^{-4}$	488	$9{,}8 \cdot 10^{-19}$
2. mérés	$8{,}03 \cdot 10^{-5}$	$8{,}65 \cdot 10^{-7}$	$1{,}09 \cdot 10^{-4}$	366	$8{,}8 \cdot 10^{-19}$

➔ a korábban levezetett képletekbe behelyettesítve

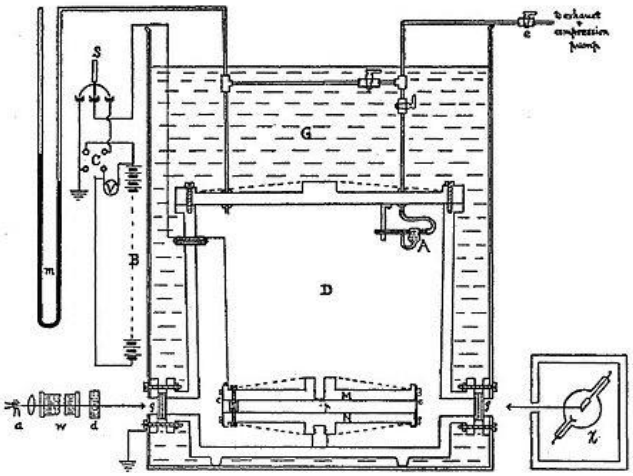
Mérési eredmények, következtetések:

Az olajcsepp töltésére kapott érték nagyságrendileg megegyezik az elemi elektromos töltés irodalmi értékével ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C). Millikan több éves kísérleti időszaka során több száz, de lehet több ezer mérést is végzett, és arra következtetésre jutott az olajcseppek töltéskülönbségeinek vizsgálata során, hogy mindig egy számérték ($1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C) többszöröseként kaphatók meg. Ezt a számértéket nevezte ki elemi töltésmennyiségnek – avagy egy elektron elektromos töltésének. Az általunk végzett mérésben az elemi töltésmennyiség közel 6-szorosát mértük.

Mérés pontosságát befolyásolható tényezők:

Mérési hibához vezethet a levegő viszkozitásának változása a hőmérséklet függvényében, mivel a mérés helyszínéül szolgáló tanterem hőmérséklete nem állandó, továbbá a megfigyelést segítő lámpa szintén hőt ad le környezetének. Stopperóra használatakor nem feledkezhetünk meg az emberi reakcióidőből eredő pontatlanságról sem. Az olaj és a levegő sűrűsége is eltérhet az irodalmi értéktől, valamint a beosztásokkal ellátott lencséhez képest az olajcsepp nem mozgott tökéletesen párhuzamosan.

Millikan maga is szembesült ezen problémákkal. Fontos volt, hogy a kondenzátor feszültségét állandó szinten tudja tartani, valamint az is, hogy ezen felül szabályozható legyen a nagysága is. Speciális optikai leképezőrendszert, valamint időmérőműszert alkalmazott. A Stokes-törvényt mérései közben tovább fejlesztette, kijavította, és az olajcseppek elektromos töltését röntgensugarak általi ionizációval növelhette. Munkáját 1923-ban fizikai Nobel-díjjal jutalmazták



Millikan végleges mérőműszere