Modern fizika laboratórium

2. mérés

Mérés időpontja: 2018.05.07. hétfő délután

Az elemi töltés meghatározása

Mérést végezte
Asztalos Bogdán Timót
Kántor Márk Bálint
Sebők Attila
(Fizika BSc)

1. Bevezetés:

Faraday elektrolízis témájú kísérleteiből többek között arra következtettünk, hogy az atomok töltött részecskékből állnak. Sőt az Avogadro törvény alapján léteznie kell egy elemi töltésnek is, amelynek csupán többszöröseit mérhetjük. Utólag beláttuk, hogy ez maga az elektron töltése.

Ezen kísérlet során pont ezt az elemi töltést szeretnénk meghatározni, a Millikan kísérlet reprodukciójának segítségével.

Porlasztott olajcseppeket homogén elektromos térbe juttatunk, majd dinamikus eljárással meghatározzuk az elemi töltést.

2. Elméleti háttér

Tekintsünk egy kis m tömegű olajcseppet!

Ha ezt most egy kondenzátor lemezei közé helyezük úgy, hogy még nem kapcsoljuk rá elektromos teret, a cseppre ható erők:

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_0-\rho_l)g = 6\pi\eta r v_0 \tag{2.1}$$

Az egyenlet jobb oldalán a cseppre ható felhajtó és nehézségi erő összege áll, míg a baloldalon a közegellenállási erő. Ebből kifejezhető a gömb alakúnak tekintett csepp sugara:

$$r = \sqrt{\frac{9}{2}\frac{\eta v_0}{(\rho_0-\rho_l)g}} \tag{2.2}$$

Kapcsoljunk most elektromos teret a cseppre! Ekkor a nehézségi erővel az elektromos tér részéről ható elektrosztatikus erő tart egyensúlyt, mivel nincs mozgás, ezért a közegellenállási erő itt nem jelenik meg.

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_0-\rho_l)g = \frac{qU}{d} \tag{2.3}$$

Ide behelyettesíve az előbb kiszámolt r sugarat és kifejezve a q töltést, megbecsülhetjük az elemi töltést. Ezt nevezzük *statikus módszernek.* Ezt a gyakorlatban nagyon nehéz megvalósítani(mérésünk során a mikroszkóp látóterében megjelent pár olyan csepp, amely első közelítésben statikusnak volt mondható, azonban észrevettük, hogy még ők is, lassan ugyan, de mozognak!), ezért alkalmazzák az ún. *dinamikus módszert*

Itt a teljesség igénye nélkül szemléltetem azt a két egyenletet, amely a folyamatot leírja:

$$q = \frac{1}{U}d\frac{4}{3}\pi(\frac{9}{2}\eta v_0)^{\frac{3}{2}}[(\rho_0-\rho_l)g]^{\frac{-1}{2}} + \frac{6\pi\eta d}{U}v_{fel}(\frac{9}{2}\frac{\eta v_0}{(\rho_0-\rho_l)g)})^{\frac{1}{2}} \tag{2.4}$$

$$q = -\frac{1}{U}d\frac{4}{3}\pi(\frac{9}{2}\eta v_0)^{\frac{3}{2}}[(\rho_0-\rho_l)g]^{\frac{-1}{2}} + \frac{6\pi\eta d}{U}v_{le}(\frac{9}{2}\frac{\eta v_0}{(\rho_0-\rho_l)g)})^{\frac{1}{2}} \tag{2.5}$$

Megjegyzés:

A Stokes-törvény fenti formája akkor használható, ha a csepp mérete jóval nagyobb mint a levegő molekulák átlagos úthossza. Ha ez nincs így, úgy az alkalmazandó korrekció:

$$F = 6\pi\eta r v\frac{1}{1+\frac{K}{pr}} \tag{2.6}$$

Ki kell térnünk még az elemi töltés meghatározásának tényleges módszerére! A fentebb részletezett módon meghatározzuk 25 olajcsepp töltését. Ha a mérési hiba 0 lenne, akkor az egymáshoz közeli töltések értékeit kivonva egymásból az elemi töltést kapnánk. Azonban mérési hiba van. Vezessük be az alábbi függvényt:

$$f(x) = \sum sin^2(\pi\frac{q_i}{x}) \tag{2.7}$$

Mivel nem tudjuk pontosan mérni a töltéseket(hiba nélkül), ezért $x = e$,$x = \frac{e}{2}$ stb helyeken minimumot tapasztalunk. Ezen minimumok közül a legnagyobb értéknél lévő minimum lesz az elemi töltés.

3. Mérőeszközök:

- számítógép
- olajpumpa

- feszültségszabályzó
- stopper
- kamera
- hőmérő
- barométer

4. Mért adatok:

A mérés során 25 csepp mozgását mértük. Általában a 20 beosztásnyi út megtételéhez szükséges időt mértük, de bizonyos esetekben (ha túl gyors, vagy lassú volt a csepp) ettől eltértünk. A mért értékeket a 4.1. táblázatban rögzítettük. A lemezekre kapcsolt feszültség a mérés során végig $U = 504\,\mathrm{V}$ volt.

csepp	tér nélkül		térrel	
	s[beosztás]	$t[s]$	s[beosztás]	$t[s]$
1	20	26,27	20	22,46
2	30	30,11	20	62,43
3	20	34,99	20	14,10
4	20	30,08	20	18,76
5	20	25,88	20	23,50
6	20	13,87	20	28,19
7	20	29,87	20	17,88
8	20	30,68	20	19,22
9	20	31,90	20	18,22
10	20	34,77	20	13,53
11	20	38,53	20	13,58
12	20	35,87	20	15,97
13	20	31,38	20	18,36
14	20	31,48	20	20,73
15	20	28,31	20	20,10
16	20	19,85	20	14,15
17	20	26,77	10	12,27
18	20	32,22	20	12,66
19	20	13,24	20	12,74
20	20	12,60	20	14,57
21	10	11,28	10	15,78
22	20	13,87	20	9,69
23	20	10,87	20	18,01
24	20	45,15	20	11,47
25	20	37,21	20	13,99

4.1. táblázat. Az olajcseppek által megtett út és a mérés alatt eltelt idő, az elektromos tér jelenlétében és anélkül.

A mérés végén megmértük a szoba levegőjének hőmérsékletét és nyomását. Ezek $T = 25,5°C$-nak és $p = 1012\,\mathrm{hPa}$-nak adódtak.

5. Kiértékelés:

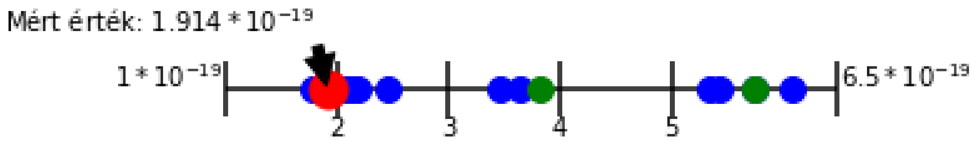
A 4.1. táblázat adatai alapján kiszámolhatjuk a cseppek v_0 tér nélküli, illetve v_fel tér melletti sebességét (mindig olyan cseppeket választottunk, amik térrel együtt már felfele mozogtak). Ezekből a 2. részben említett egyenletek segítségével kiszámolható a cseppek r sugara, majd erre alkalmazva a korrekciót, egy pontosabb r_{korr} értéket kapunk a sugárra. Végül a sugár ismeretében kiszámolhatjuk a cseppek q töltését. A kiszámolt adatokat az 5.1. táblázat tartalmazza.

csepp	$v_0\ [10^{-5}\ \frac{m}{s}]$	$v_{fel}\ [10^{-5}\ \frac{m}{s}]$	$r[10^{-7}\ m]$	$r_{korr}[10^{-7}\ m]$	$q[10^{-19}\ C]$
1	4.060	4.749	6.245	5.873	2.013
2	5.314	1.708	7.144	6.768	1.802
3	3.048	7.565	5.411	5.044	2.118
4	3.546	5.685	5.836	5.467	1.977
5	4.121	4.539	6.292	5.920	1.992
6	7.690	3.784	8.595	8.214	3.649
7	3.571	5.965	5.857	5.487	2.052
8	3.477	5.549	5.779	5.410	1.911
9	3.344	5.854	5.667	5.299	1.912
10	3.068	7.883	5.428	5.061	2.195
11	2.768	7.854	5.157	4.792	2.018
12	2.974	6.679	5.345	4.978	1.894
13	3.399	5.809	5.714	5.345	1.930
14	3.388	5.145	5.705	5.336	1.779
15	3.768	5.306	6.016	5.645	2.001
16	5.373	7.538	7.185	6.808	3.460
17	3.984	4.346	6.187	5.815	1.880
18	3.310	8.425	5.639	5.271	2.452
19	8.056	8.372	8.797	8.415	5.446
20	8.465	7.321	9.018	8.635	5.354
21	4.728	3.380	6.739	6.365	1.988
22	7.690	11.007	8.595	8.214	6.088
23	9.812	5.922	9.709	9.325	5.739
24	2.362	9.299	4.764	4.402	2.047
25	2.866	7.624	5.247	4.882	2.028

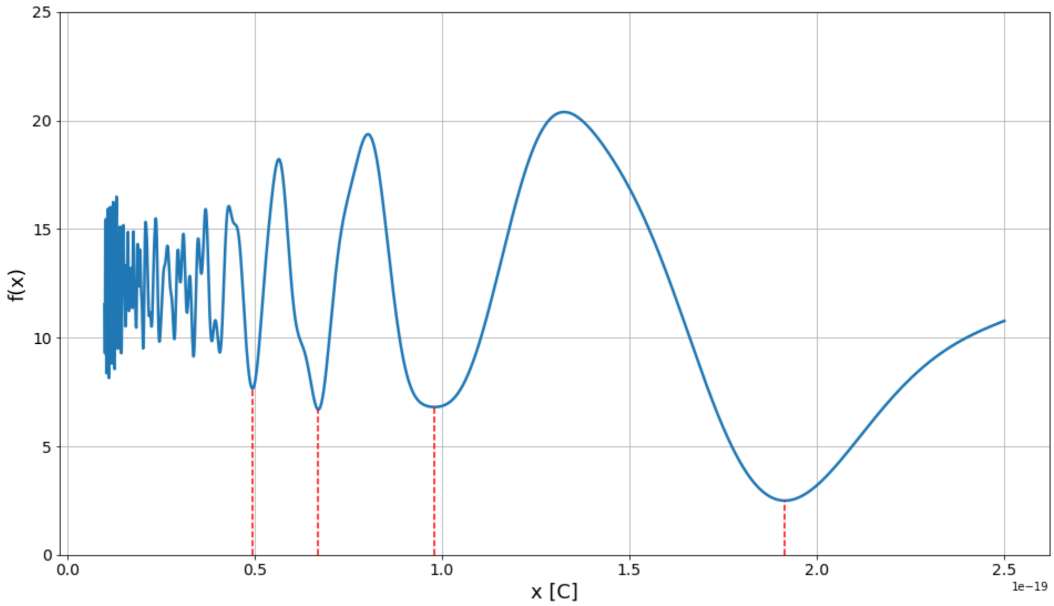
5.1. táblázat. A cseppek kiszámolt sebessége, sugara és töltése

A 5.1 táblázatban számolt értékeket a 5.1 ábrán jelenítettük meg. Láthatóan a diszkrét értékek egész számú többszörösei köré este a mérések. Az irodalmi értéknél ez kevésbé látszódott volna, ezért a kapott végeredménynek az egész számú többszöröseit vettük és ezeket zölddel jelöltük.

A fent leírt okok miatt, a cseppek q töltéséből még nem tudjuk egyértelműen meghatározni az elemi töltés nagyságát, de az $f(x)$ függvényt (2.7) ábrázolva, már egyszerűsödik a helyzet. A függvény az 5.2. ábrán látható. Jól láthatóak a minimumhelyek, melyek közül a legnagyobb $x = 1,914 \cdot 10^{-19}$ C-nál található, ez lesz az elemi töltés mért nagysága, a többi pedig ahogy vártuk, ennek felénél, harmadánál, negyedénél, stb...



5.1. ábra. A töltések számegyenesen ábrázolva, ahol a kékkel jelölt helyek a mért értékek, a zölddel a számított legkisebb érték egész számú többszörösei vannak jelölve és pirossal van jelölve a számított legkisebb érték.



5.2. ábra. Az bevezetett $f(x)$ függvény az elemi töltés várt tartományában ábrázolva.

6. Korrigált értékek kiszámítása

A jegyzetben leírt módon eljárva a a súrlódási erő elsőrendű korrekciója

$$F_{s_1} = 1.7422 * 10^{-9} N$$

Ebből a sugár elsőrendű korrekciója:

$$r_1 = 0.48 * 10^{-8} m$$

Ugyanígy a másodrendű korrekciók:

$$F_{s_2} = 2.43 * 10^{-9} N; r_2 = 1.76 * 10^{-8} m$$

A csepp méreték 1%-os hiba esetén hozzávetőlegesen:
az első korrekció esetén: $r > 5 * 10^{-6}$
a másidik korrekció esetén: $r > 10^{-5}$
A csepp méreték 0.1%-os hiba esetén hozzávetőlegesen:
az első korrekció esetén: $r > 5 * 10^{-5}$
a másidik korrekció esetén: $r > 10^{-4}$

7. Diszkusszió:

A mérés során megmértük az elemi töltés nagyságát, ez $e = 1,914 \cdot 10^{-19}$ C-nek adódott. Az irodalmi érték $1,602 \cdot 10^{-19}$ C, tehát sikerült nagyságrendileg meghatároznunk az elemi töltés nagyságát.

A sugár és a súrlódási erő korrigált értékét is kiszámoltuk a jegyzetben leírt módon, másodrendig.