

e M en Millikan

Wouter Room

5 Oktober 2023

Abstract

In dit verslag wordt de elementaire lading e bepaald aan de hand van het experiment van Millikan, ook wordt er aangetoond dat deze lading gekwantiseerd is

1 Inleiding

De elementaire lading e is een belangrijke constante in de natuurkunde, Millikan ontwierp een experiment om deze lading te bepalen gebruikmakende van vernevelde silicone olie in een elektrische veld. Nu is het aan ons om dit experiment zelf uit te voeren en de elementaire lading te bepalen en aantonen dat deze gekwantiseerd is.

2 Methode

2.1 Proefopstelling

Het vatje waar de olie in zit, zit rechtstreeks verbonden aan de condensator kamer, om de olie te vernevelen wordt een perspeer gebruikt. De condensator kamer is een kleine afgesloten kamer waar een condensator over staat zodat er in de kamer een elektrische veld zit. Deze condensator staat in parallel geschakeld met een DC spanningsbron, een multimeter en een schakelaar die de zin van de stroom omdraait. In de condensator kamer zit een klein raampje waar de microscoop door kijkt, op de microscoop zit een camera verbonden zodat er beelden van de vernevelde olie kunnen gemaakt worden. Voor de kalibratie van de microscoop wordt er een glaasje gebruikt waarvan de schaalverdeling gekend is.

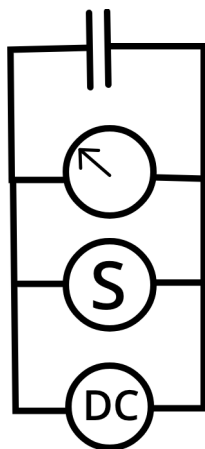


Figure 1: Elektrische schakeling, de multimeter staat voor de voor de condensator opgesteld zodat we geen rekening moeten houden met de weerstand in de schakelaar

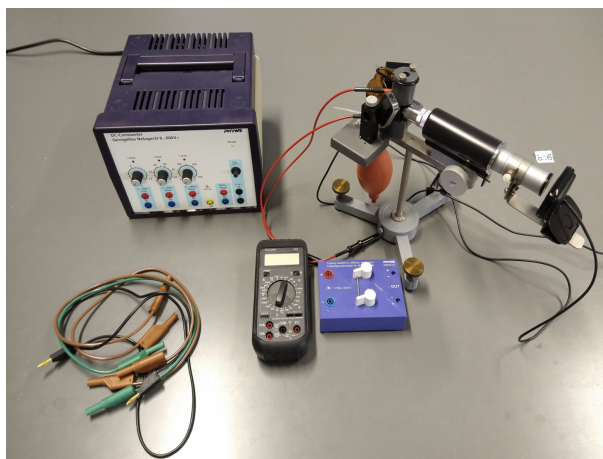


Figure 2: Proef opstelling, er is echter wel een andere voeding gebruikt

2.2 Uitvoering

Sluit de camera aan op een computer en zorg dat er foto's en video's gemaakt kunnen worden. Voor de kalibratie wordt het glaasje tussen de microscoop en de condensator kamer geplaatst in een voorziene spleet. Dan moet de microscoop en camera goed gezet worden zodat er een duidelijk beeld te zien is van beide schaalverdelingen en een foto genomen worden. Vernevel nu de olie in de kamer en zet de schakelaar zodanig dat er dalende olie druppels te zien zijn. Vernevel opnieuw olie en start met filmen als er een dalende druppel te zien is, wanneer deze druppel onderaan de schaalverdeling is moet de schakelaar worden omgedraaid zodat de druppel begint te stijgen, na enkele seconden zal er voldoende beeldmateriaal zijn en kan er gestopt worden met filmen. Schakel daarna de schakelaar terug om. Herhaal dit proces een 20-tal keer zodat er voldoende meetwaarde zijn. Open de foto van de kalibratie in Gimp (software waar afstanden op foto's kunnen gemeten worden) en meet de afstanden van beide schaalverdelingen om hieruit de nauwkeurigheid van de telescoop te berekenen. Open de video's in een software waar de tijd voldoende nauwkeurig bij staat vermeld, meet dan de tijd die nodig is voor een bepaalde daal en stijg afstand. Meet de afstand in aantal onderverdelingen en vermenigvuldig deze dan achteraf met de nauwkeurigheid berekend bij de kalibratie. In de onderstaande tabel staan alle nodige gegevens over de proefopstelling.

Potentiaal verschil	$397 \pm 4V$
Nauwkeurigheid kalibratie glaasje	$10\mu m$
Afstand tussen condensator platen	$2,50mm$

Table 1: Constante waarden van de proefopstelling

3 meetresultaten

Voor de kalibratie gebruiken we volgende formule.

$$nauwkeurigheid\ microscop = 1mm \frac{1}{30} \frac{pixels\ schaalverdeling\ microscop}{pixelsschaalverdeling\ kalibratie\ glaasje} = 30,1\mu m \tag{1}$$

In de onderstaande tabel staan de afstanden en tijden voor het dalen en stijgen.

Druppel	Daal afstand	Daal tijd (s)	Stijg afstand	Stijg tijd (s)
1	8	20,9	22	4,97
2	13	3,89	25	6,09
3	10	8,06	14	6,15
4	10	9,07	11	6,07
5	12	9,91	10	6,01
6	4	1,01	18	3,16
7	12	4	19	6,07
8	23	3,83	21	4,12
9	8	3,83	14	4,18
10	11	4,06	10	3,08
11	22	5,08	21	3,99
12	12	6,92	14	5,05
13	4	6,03	10	3
14	18	4,21	18	6,92
15	8	8,98	10	3,19
16	10	6,17	11	2,09
17	14	9,02	28	3,93
18	14	6,9	12	3,9
19	24	4,13	10	3,09
20	8	2,12	13	4,55
21	30	2,04	16	6,08
22	12	4,03	15	3,98
23	24	6,22	22	4,03
24	10	6,1	12	3,28
25	23	5,11	16	3,19

Table 2: Afstanden uitgedrukt in onderverdelingen van de microscoop en tijden gemeten in een software

4 verwerking

Door de ERB relaties tussen tijd, afstand en snelheid vinden we de daal en stijg snelheden van de druppels.

Druppel	v_D (m/s)	v_S (m/s)	Fout op v_D (m/s)	Fout op v_S (m/s)
1	1.2×10^{-5}	6.6×10^{-4}	7.20×10^{-8}	4.37×10^{-7}
2	1.0×10^{-4}	3.8×10^{-4}	3.87×10^{-7}	3.49×10^{-7}
3	3.7×10^{-5}	1.4×10^{-4}	1.87×10^{-7}	3.00×10^{-7}
4	3.3×10^{-5}	8.3×10^{-5}	1.66×10^{-7}	2.93×10^{-7}
5	3.6×10^{-5}	6.0×10^{-5}	1.52×10^{-7}	2.92×10^{-7}
6	1.2×10^{-4}	9.0×10^{-5}	1.49×10^{-6}	7.48×10^{-7}
7	9.0×10^{-5}	8.2×10^{-5}	3.76×10^{-7}	3.26×10^{-7}
8	1.8×10^{-4}	7.9×10^{-5}	3.93×10^{-7}	5.51×10^{-7}
9	6.3×10^{-5}	4.7×10^{-5}	3.93×10^{-7}	4.81×10^{-7}
10	8.2×10^{-5}	3.0×10^{-5}	3.71×10^{-7}	6.47×10^{-7}
11	1.3×10^{-4}	5.7×10^{-5}	2.96×10^{-7}	5.76×10^{-7}
12	5.2×10^{-5}	3.5×10^{-5}	2.17×10^{-7}	3.81×10^{-7}
13	2.0×10^{-5}	2.3×10^{-5}	2.50×10^{-7}	6.69×10^{-7}
14	1.3×10^{-4}	3.9×10^{-5}	3.57×10^{-7}	2.74×10^{-7}
15	2.7×10^{-5}	2.0×10^{-5}	1.68×10^{-7}	6.20×10^{-7}
16	4.9×10^{-5}	2.1×10^{-5}	2.44×10^{-7}	1.10×10^{-6}
17	4.7×10^{-5}	5.0×10^{-5}	1.67×10^{-7}	6.56×10^{-7}
18	6.1×10^{-5}	2.0×10^{-5}	2.18×10^{-7}	5.05×10^{-7}
19	1.7×10^{-4}	1.6×10^{-5}	3.64×10^{-7}	6.45×10^{-7}
20	1.1×10^{-4}	2.0×10^{-5}	7.10×10^{-7}	4.25×10^{-7}
21	4.4×10^{-4}	2.3×10^{-5}	7.38×10^{-7}	3.13×10^{-7}
22	9.0×10^{-5}	2.1×10^{-5}	3.73×10^{-7}	5.21×10^{-7}
23	1.2×10^{-4}	2.9×10^{-5}	2.42×10^{-7}	5.77×10^{-7}
24	4.9×10^{-5}	1.5×10^{-5}	2.47×10^{-7}	6.27×10^{-7}
25	1.4×10^{-4}	1.9×10^{-5}	2.95×10^{-7}	7.08×10^{-7}

Table 3: Daal- en stijg snelheden van de verschillende druppels met fout

4.1 Inwerkende krachten

Laat ons de conventie aannemen dat de zwaartekracht een positief gerichte kracht is. Door het gebruik van een microscoop is het beeld dat de camera maakt omgedraaid, dit heeft als gevolg dat daal snelheid in werkelijkheid de stijgsnelheid is en omgekeerd. Op zowel de stijgende als dalende deeltjes werken drie krachten, zwaartekracht (F_g), wrijvingskracht (F_w) met de lucht deeltjes en coulomb kracht (F_c) van de condensator. Voor deze krachten hebben we de volgende vergelijkingen.

$$F_g = mg \quad (2)$$

$$F_w = 6\pi R\eta_{eff}v \quad \text{met} \quad \eta_{eff} = \eta_{lucht}\left(1 + \frac{b}{pR}\right)^{-1} \quad (3)$$

Hierin is η_{lucht} de viscositeit van de lucht, is $b = 8,20 \times 10^{-3} Pa \cdot m$ een constante, is p de atmosfeer druk en R de straal van de druppel.

$$F_c = q \frac{V}{d} \quad (4)$$

Hierin is q de lading van de druppel, is V het potentiaal verschil over de condensator en d de afstand tussen de platen.

De wrijvingskracht is tegengesteld aan de bewegingsrichting van het deeltje, voor de stijgende zal de wrijvingskracht naar omhoog gericht zijn en dus negatief zijn, voor de dalende deeltjes zal deze kracht dus positief zijn. Het elektrisch veld, gevormd door de condensator, hangt uiteraard af hoe de condensator is aangesloten. Bij de ene stand van de schakelaar zullen bepaalde druppels opwaartse coulomb kracht ondervinden

$$\text{Dalende druppel : } F_g + F_w - F_c = ma = 0 \quad (5)$$

$$\text{Stijgend druppel : } F_g - F_w = ma = 0 \quad (6)$$

We maken de vereenvoudiging dat de druppels met een constante snelheid dalen en stijgen zodat we de som van de krachten aan nul gelijk kunnen stellen. Op de onderstaande figuur staan de krachten weergegeven voor verduidelijking.

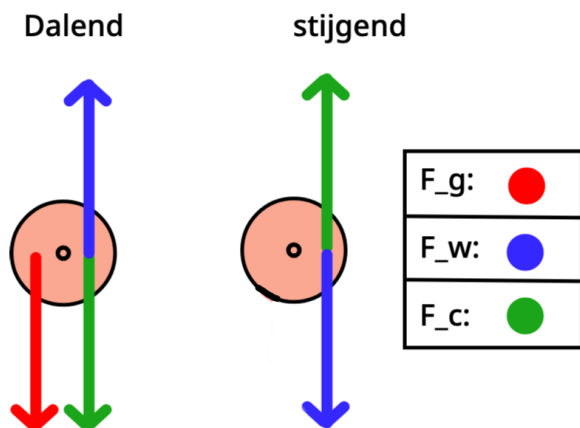


Figure 3: Weergave krachtvectoren op dalende en stijgende druppels

4.2 Bepaling straal en lading van de druppels

Uit verg. 6 kunnen we een uitdrukking voor de straal halen als we de druppels benaderen tot een bol met homogene massadichtheid en de massa herschrijven naar $\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_{olie}$.

$$R = \sqrt{\frac{9}{2} \frac{\eta_{lucht} v_s}{g \rho_{olie}}} \quad (7)$$

Met deze formule kunnen we dus de straal van alle onderzochte druppels berekenen.

Druppel	Straal R (m)
1	1.04×10^{-6}
2	1.00×10^{-6}
3	7.47×10^{-7}
4	6.66×10^{-7}
5	6.39×10^{-7}
6	1.18×10^{-6}
7	8.76×10^{-7}
8	1.12×10^{-6}
9	9.06×10^{-7}
10	8.92×10^{-7}
11	1.14×10^{-6}
12	8.24×10^{-7}
13	9.04×10^{-7}
14	7.98×10^{-7}
15	8.76×10^{-7}
16	1.14×10^{-6}
17	1.32×10^{-6}
18	8.68×10^{-7}
19	8.91×10^{-7}
20	8.37×10^{-7}
21	8.03×10^{-7}
22	9.61×10^{-7}
23	1.16×10^{-6}
24	9.47×10^{-7}
25	1.11×10^{-6}

Table 4: Stralen van de druppels

Voor het bepalen van de lading van elke druppel gebruiken we verg. 5 en verg. 7, daaruit vinden we:

$$q = \frac{18\pi d \eta^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{2\rho_{olie} g}} \frac{\sqrt{v_D}}{V} (v_S + v_D) \quad (8)$$

Alle gegevens in deze formule zijn gekend dus we kunnen de lading van elke druppel berekenen.

Table 5: Tabel met Druppel en q (c)

Druppel	q (C)
1	3.27×10^{-19}
2	4.88×10^{-19}
3	1.72×10^{-19}
4	1.27×10^{-19}
5	1.20×10^{-19}
6	7.45×10^{-19}
7	3.51×10^{-19}
8	8.10×10^{-19}
9	3.22×10^{-19}
10	3.47×10^{-19}
11	7.12×10^{-19}
12	2.43×10^{-19}
13	2.36×10^{-19}
14	3.59×10^{-19}
15	2.30×10^{-19}
16	5.11×10^{-19}
17	7.49×10^{-19}
18	2.90×10^{-19}
19	5.26×10^{-19}
20	3.62×10^{-19}
21	9.09×10^{-19}
22	4.23×10^{-19}
23	7.04×10^{-19}
24	3.28×10^{-19}
25	6.89×10^{-19}

Nu onderzoeken we het verband tussen de straal en de lading van de druppels aan de hand van lineaire regressie, hiervoor krijgen we:

$$q = 9.051 \times 10^{-13} R - 4.626 \times 10^{-19} \tag{9}$$

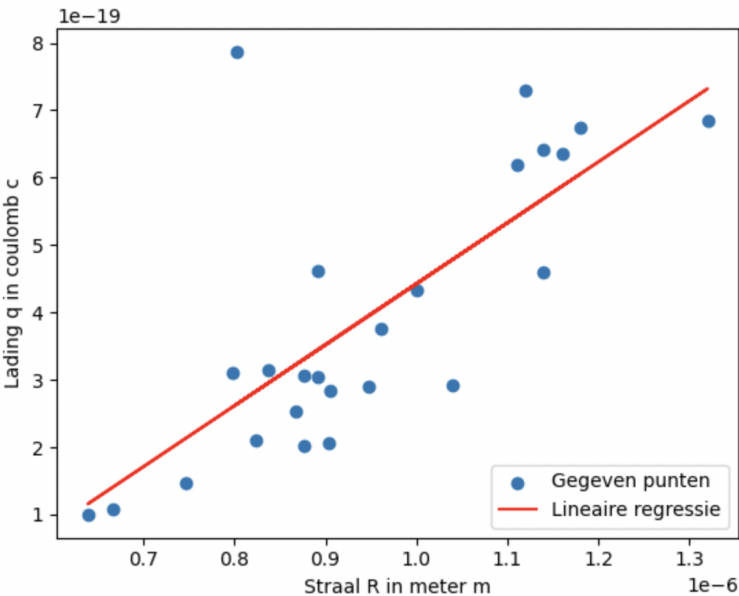


Figure 4: Lineaire regressie met de straal en lading van de druppels

5 Besluit

Bij het uitvoeren en het experiment is het cruciaal om de juiste druppels te kiezen, het grootste deel van de druppels is ongeladen en zal bij beide richtingen van het elektrisch veld omhoog bewegen. Er zijn slechts enkele druppels die omlaag kunnen bewegen, dit indiceert dat ze geladen zijn. Het is dus belangrijk om enkel met geladen druppels te werken. Alle druppels hebben een positieve lading. Uit de lineaire regressie halen we dat de gevonden lading $q = -4.626 \times 10^{-19}$, dit is ver van de literatuur waarden. Dit is te wijten aan de benaderingen dat we gemaakt hebben, zijnde de druppel benaderd als een bol en de beweging er van beschreven hebben met een eenvoudige ERB. Het zou ook kunnen dat er druppels zijn die meer dan één elektron bevatten en hiermee hebben we geen rekening gehouden. In theorie zou elke druppel dus een geheel veelvoud moeten zijn van de elementaire lading $e = 1,602 \times 10^{-19}$).

6 referenties

Bij het opstellen van tabellen is Chat gpt gebruikt