

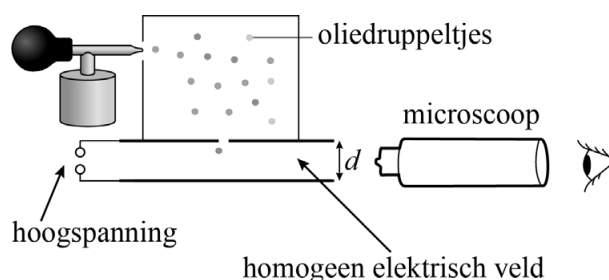
Experiment van Millikan

In 1909 voerden Robert Millikan en Harvey Fletcher een experiment uit waarmee ze de lading van het elektron bepaalden. In figuur 1 staat een opstelling voor dit experiment afgebeeld. In figuur 2 is de opstelling schematisch weergegeven. In het bovenste gedeelte wordt olie verneveld tot kleine druppeltjes. De druppeltjes krijgen met behulp van ioniserende straling een lading. Door een kleine opening in de bovenste van twee platen kunnen enkele druppels omlaag vallen in het onderste gedeelte. Tussen deze platen kan een homogeen elektrisch veld gecreëerd worden door een spanningsbron aan te sluiten op de platen. Wanneer daar geen spanning over staat, vallen de druppels naar beneden. Als er wel een spanning staat kunnen de druppels ook omhoog bewegen. Tijdens het experiment lieten Millikan en Fletcher een druppel een aantal keren op en neer bewegen.

figuur 1



figuur 2



Om de lading van één zo'n druppel te bepalen moet eerst de straal van die druppel bepaald worden. Deze kan bepaald worden door de valsnelheid van de druppel te meten op het moment dat er geen spanning over de platen staat. Tijdens het vallen werken er dan twee krachten op de druppel, de zwaartekracht F_z en de wrijvingskracht F_w .

Voor de wrijvingskracht geldt:

$$F_w = 6\pi\eta r v \quad (1)$$

Hierin is:

- η de viscositeit van de lucht, ook wel stroperigheid genoemd
- r de straal van de druppel
- v de snelheid van de druppel

De grootte van de viscositeit is $1,828 \cdot 10^{-5}$, uitgedrukt in SI-eenheden.

3p 12 Leid met behulp van formule (1) de eenheid van de viscositeit η af in (grond)eenheden van het SI, zoals ze staan in Binas-tabel 3A en ScienceData-tabel 1.3a.

De bolvormige druppel valt met een constante valsnelheid. Door deze snelheid te meten kan de straal van een druppel bepaald worden. Voor de straal geldt dan:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2g\rho_{\text{olie}}}} \quad (2)$$

Hierin is:

- g de valversnelling
- ρ_{olie} de dichtheid van de olie

De overige grootheden zijn dezelfde als in formule (1).

- 4p **13** Leid formule (2) af met behulp van formule (1) en formules uit het informatieboek.

Tijdens het vallen werkt er eigenlijk nog een tweede omhoog gerichte kracht op de druppel. Dit is de opwaartse kracht. De grootte van deze kracht is gelijk aan de zwaartekracht op de hoeveelheid lucht die door de druppel wordt verplaatst. Het volume van de verplaatste lucht is dus gelijk aan het volume van de oliedruppel.

De opwaartse kracht is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de zwaartekracht op de druppel.

Millikan vond voor de druppel een valsnelheid van $0,084 \text{ cm s}^{-1}$. De straal van de druppel is dan gelijk aan $2,7 \mu\text{m}$.

- 4p **14** Voer de volgende opdrachten uit:
- Toon aan dat de dichtheid van de olie, die Millikan gebruikte, gelijk is aan $9,7 \cdot 10^2 \text{ kg m}^{-3}$.
 - Leg uit dat de opwaartse kracht verwaarloosbaar is ten opzichte van de zwaartekracht op de druppel.

Door de ioniserende-stralingsbron ontstaan er in het bovenste gedeelte van de opstelling vrije elektronen in de lucht. Deze elektronen hechten aan de oliedruppel, waardoor de druppel een lading krijgt.

Om het homogene elektrisch veld te maken wordt een spanning aangesloten tussen de platen. Zie figuur 2.

Voor de elektrische veldsterkte tussen de platen geldt:

$$E = \frac{U}{d} \quad (3)$$

Hierin is:

- E de sterkte van het elektrisch veld
- U de spanning
- d de afstand tussen de platen

De gebruikte spanning is 5,1 kV. De afstand tussen de platen is 16 mm. De richting van het elektrisch veld is zodanig dat de druppel uiteindelijk met een constante snelheid omhoog beweegt.

Een deel van figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

3p **15** Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage het elektrisch veld tussen de platen. Gebruik daarbij minimaal vijf veldlijnen.
- Toon aan dat de grootte van het elektrisch veld tussen de platen gelijk is aan $3,2 \cdot 10^5 \text{ NC}^{-1}$.

Op de uitwerkbijlage staat de druppel weergegeven. In de figuur zijn de zwaartekracht en de wrijvingskracht op de druppel op schaal weergegeven.

5p **16** Voer de volgende opdrachten uit:

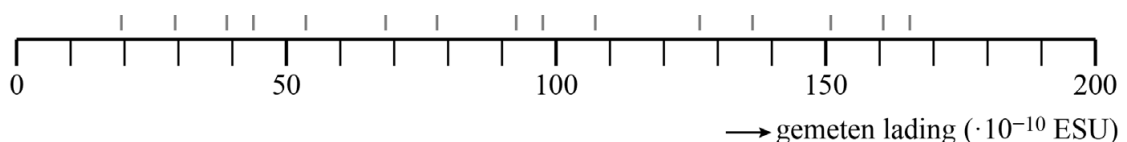
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de elektrische kracht op de druppel.
- Bepaal de lading van de druppel. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Millikan heeft op deze manier de lading voor veel verschillende druppels bepaald. Hij kwam erachter dat de lading elke keer een veelvoud van hetzelfde getal was. Dit getal is het elementair ladingsquantum. In figuur 3 staat de lading van 15 verschillende druppels op een horizontale as. De streepjes boven de as geven de verschillende metingen aan. Je mag aannemen dat het elementair ladingsquantum uit deze metingen te bepalen is.

In 1909 drukte men de lading standaard uit in ESU. Er geldt:

$$1 \text{ ESU} = 3,34 \cdot 10^{-10} \text{ C}.$$

figuur 3



3p **17** Bepaal met behulp van figuur 3 het elementair ladingsquantum in coulomb. Noteer je antwoord in drie significante cijfers.