

Lading/massa-verhouding elektron

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Theorie	1
3	Verkennen opstelling	2
4	Onderzoeksvragen en werkplan	5
5	Metingen	5
6	Rapportage	5

1 Inleiding

Het onderzoek naar verschijnselen in kathodestraalbuizen in de tweede helft van de negentiende eeuw heeft geleid tot de ontdekking van het elektron. Een kathodestraalbuis is een vacuüm buis met twee elektroden: de anode en de kathode. Bij een hoge spanning over deze elektroden bleek de kathode deeltjes uit te zenden: kathodestraaldeeltjes – al was het in die tijd helemaal nog niet duidelijk dat het hier om deeltjes ging, en niet om golven. De loop van de kathodestrallen bleek te beïnvloeden met elektrische en magnetische velden. Daaruit werd duidelijk dat – als het om deeltjes zou gaan – deze deeltjes elektrisch geladen zouden moeten zijn. En dus gingen mensen als Joseph John Thomson en Jean-Baptiste Perrin op zoek naar de eigenschappen zoals lading en massa van deze nieuwe deeltjes. Bij dat onderzoek speelde het manipuleren van de baan van deze deeltjes met elektrische en magnetische velden een belangrijke rol. Daarbij kwam men echter voorlopig niet verder dan het bepalen van de lading/massa-verhouding e/m van deze deeltjes. Pas toen Robert Millikan jaren later erin slaagde om langs een andere weg de lading e van deze deeltjes te bepalen, was ook hun massa m bekend.

2 Theorie

Om je goed voor te bereiden op het experiment wordt eerst de theorie bestudeerd.

Opdracht 1: Deeltjes in velden

De baan van een bewegend elektrisch geladen deeltje is te beïnvloeden met elektrische en magnetische velden.

- Beschrijf hoe een elektron met een elektrisch veld wordt versneld.
- Beschrijf hoe een bewegend elektron met een elektrisch veld wordt afgebogen. Welke vorm heeft deze baan in een homogeen elektrisch veld bij een beginsnelheid loodrecht op de elektrische veldsterkte?
- Beschrijf hoe een bewegend elektron met een magnetisch veld wordt afgebogen. Welke vorm heeft deze baan in een homogeen magnetisch veld bij een beginsnelheid loodrecht op de magnetische inductie?

Opdracht 2: Lading/massa-verhouding

In het onderzoek naar de eigenschappen van het elektron kwam men in eerste instantie niet verder dan het bepalen van de lading/massa-verhouding e/m . De vraag is dan: waarom niet meer dan dat?

- a) Een elektronenbundel uit een elektronenkanon met een versneldspanning U_v beweegt in een homogeen magnetisch veld met een magnetische inductie B in een cirkelbaan met een straal r . Laat zien dat uit deze drie gegevens (U_v , B en r) niet meer dan de lading/massa-verhouding e/m van het elektron te bepalen is.
- b) Een elektronenbundel uit een elektronenkanon met een versneldspanning U_v beweegt in een combinatie van een homogeen elektrisch veld en een homogeen magnetisch veld in een rechte lijn. Laat in een tekening zien welke voorwaarde er in dat geval geldt voor de richtingen van de elektrische veldsterkte E en de magnetische inductie B bij een gegeven bewegingsrichting van de elektronen. Laat zien dat uit deze drie gegevens (U_v , E en B) niet meer dan de lading/massa-verhouding e/m van het elektron te bepalen is.

3 Verkennen opstelling

Je gaat nu aan de slag met de opstelling waarbij je eerst zal lezen over hoe de opstelling werkt en daarna een aantal proefmetingen zal uitvoeren. Op deze manier begrijp je goed hoe de opstelling werkt. Daarna ga je, op basis van deze kennis, het werkplan opstellen.

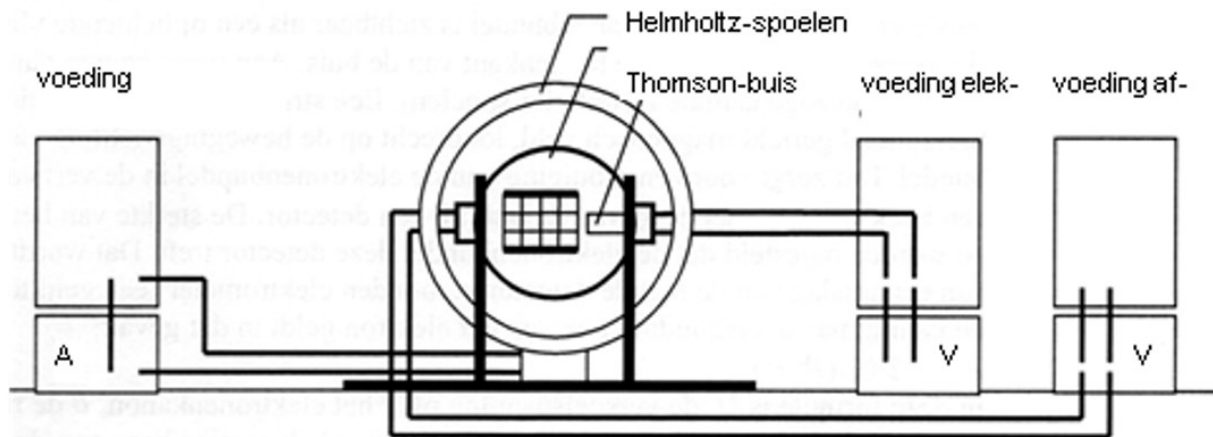
3.1 De opstelling

Thomson-buis

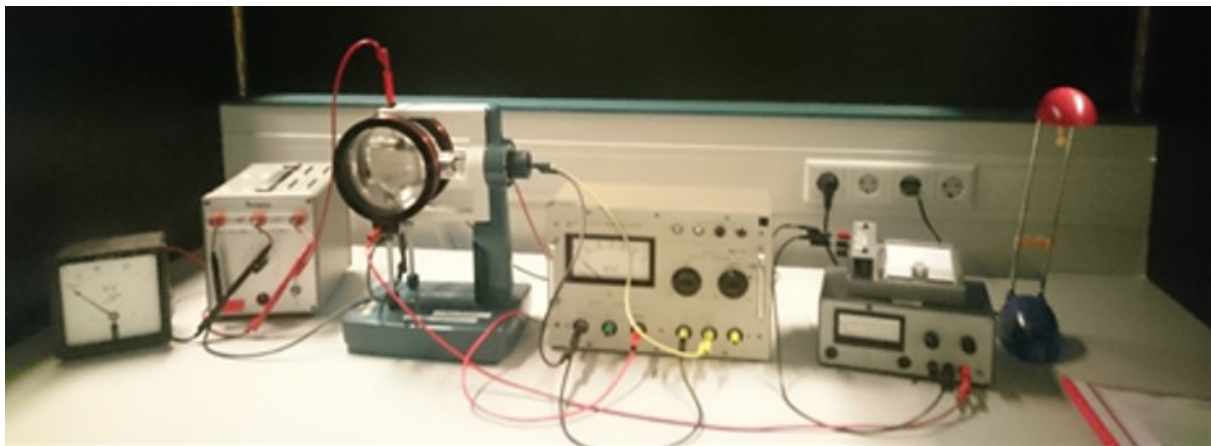
De Thomson-buis is een bolvormige vacuümbuis met een elektronenkanon, twee horizontale afbuigplaten en daartussen een verticaal fluorescerend scherm.

Meetopstelling – De meetopstelling met de Thomson-buis is weergegeven in figuur 1. In het elektronenkanon in de buis worden elektronen versneld met een versneldspanning U_v over de anode en kathode. De elektronenbundel loopt daarna tussen twee evenwijdige horizontale platen. Tussen die platen zit een verticaal fluorescerend scherm, waardoor de elektronenbundel zichtbaar wordt. Door een spanning U_p over de platen ontstaat daartussen een verticaal gericht elektrisch veld. Dat zorgt voor een afbuiging van de elektronenbundel in de verticale richting. Aan weerskanten van de buis staan twee spoelen (de zogenaamde Helmholtz-spoelen). Een stroom door deze spoelen zorgt voor een horizontaal gericht magnetisch veld, loodrecht op de bewegingsrichting van de elektronen in de bundel. Dat zorgt eveneens voor een afbuiging van de elektronenbundel in de verticale richting. De sterkte en de richting van het elektrisch en het magnetisch veld kunnen zo worden ingesteld dat de elektronenbundel langs een rechte lijn beweegt. In dat geval compenseren de afbuigingen van de elektronenbundel als gevolg van het elektrisch en het magnetisch veld elkaar. Voor de lading/massa-verhouding e/m van het elektron geldt in dat geval:

$$e/m = \frac{U_p^2 k}{2U_v B^2 d^2}$$



Figuur 1: Schematische meetopstelling voor bepaling van de lading/massa-verhouding van het elektron met de Thomson-buis.



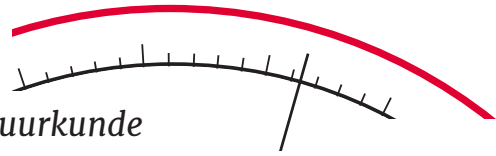
Figuur 2: Meetopstelling voor bepaling van de lading/massa-verhouding van het elektron met de Thomson-buis.

In deze formule is U_p de afbuigspanning (de spanning over de horizontale platen), U_v de versnelspanning over het elektronenkanon, B de magnetische inductie van de Helmholtz-spoelen en d de afstand tussen de horizontale platen. De correctiefactor k in de formule geeft aan dat de horizontale platen in de praktijk geen perfecte condensator vormen. Bij een perfecte condensator zou de elektrische veldsterkte E tussen de platen worden gegeven door $E = U_p/d$. In de praktijk blijkt dat dus $E = kU_p/d$ te zijn. De waarde van deze correctiefactor staat op de sticker op de buishouder: $k = 0,58$.

De magnetische inductie B hangt af van de stroomsterkte I in de Helmholtz-spoelen. Het verband tussen I en B is weergegeven in het ijkdiagram van figuur 3. De afstand d tussen de horizontale platen is $50 \cdot 10^{-3} m$.

3.2 Proefmeting

Helemaal links in de opstelling van de Thomson-buis in de zaal staat de voeding van de twee horizontale afbuigplaten in de buis. Deze reguleert de afbuigspanning U_p . Daarnaast staat Thomsonbuis. Rechts daarvan staat de voeding van het elektronenkanon in de buis. Deze reguleert de versnelspanning U_v die met de knop waarboven Coarse staat te regelen is. Helemaal rechts staat de voeding van de Helmholtz-spoelen. Op de meter bovenop



deze voeding is de stroomsterkte door de spoelen op een schaal tot 100 mA af te lezen. Dit is een stuk nauwkeuriger dan op de meter op de voeding zelf. Deze stroomsterkte is te regelen met de knoop waarboven 0-1 A staat. Alle overige **draai- en drukknoppen correct staan ingesteld dus zit hier niet aan.**

De spanning door de voeding van de twee horizontale afbuigplaten is af te lezen op de meter naast deze voeding. Als de spanning via de regulatieknop naar beneden wordt bijgesteld, loopt deze maar langzaam terug over de weerstanden. Dit is ook zichtbaar op de meter. Reguleer deze spanning dus in kleine stapjes en heb wacht met het aflezen totdat de meter stil staat.

Opdracht 3: Verkenning

Stel de versnelspanning U_v in op 3,0 kV. Schakel de afbuigspanning U_p over de platen in. Ga na hoe de elektronenbundel wordt afgebogen, afhankelijk van de waarde van de afbuigspanning U_p . Schakel deze spanning uit, en schakel de veldstroom I door de Helmholtz-spoelen in. Ga na hoe de elektronenbundel wordt afgebogen, afhankelijk van de waarde van de stroomsterkte I . Verklaar in beide gevallen de baan van de elektronenbundel.

Afbuigspanning en veldstroom

Maak de afbuigspanning U_p over de platen niet groter dan 1 kV. Maak de stroomsterkte I in de Helmholtz-spoelen niet groter dan 100 mA.

Opdracht 4: Meetmethode

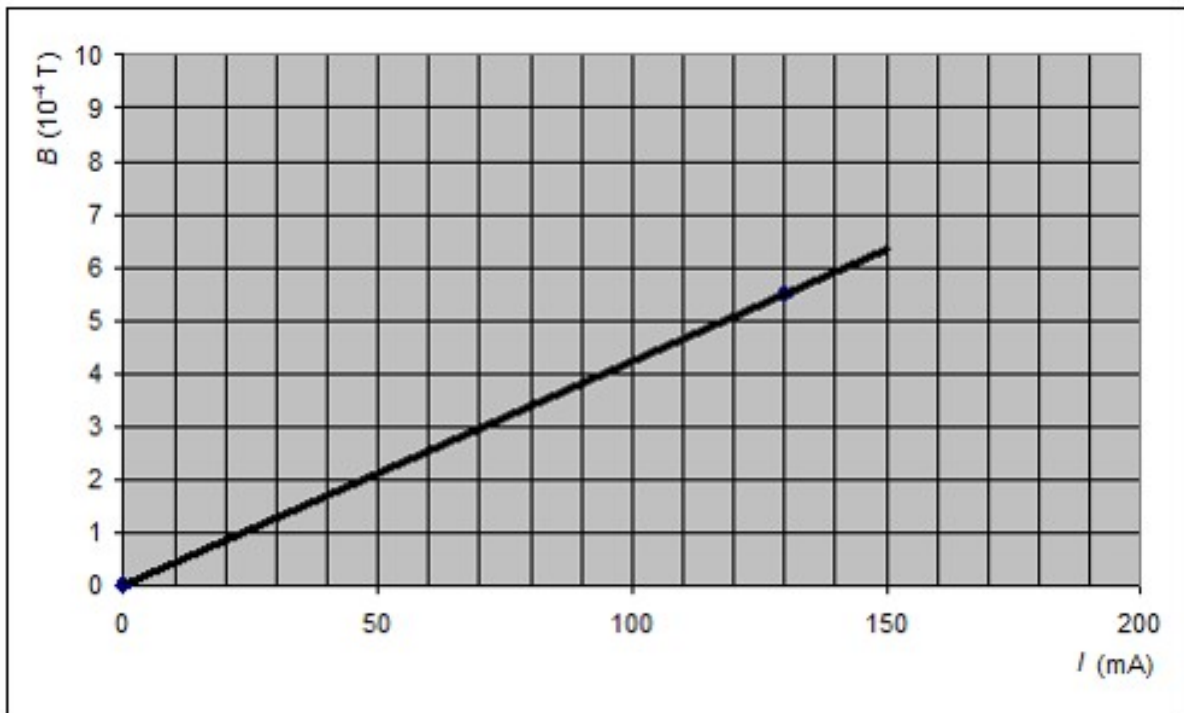
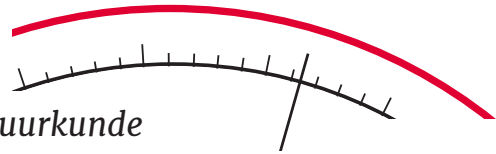
Stel de versnelspanning U_v in op 3,0 kV. Schakel zowel de afbuigspanning U_p als de veldstroom I in. Regel de waarden van U_p en I zo dat de elektronenbundel de afbuigplaten zonder afbuiging passeert. Uit de metingen van bij elkaar horende waarden van U_p en I is nu de lading/massa-verhouding van het elektron te bepalen.

4 Onderzoeksvragen en werkplan

Na de theoretische voorbereiding en het verkennen van de opstelling kun je nu de onderzoeksvraag en een werkplan op te stellen.

Opdracht 5: Onderzoeksvragen

Formuleer de onderzoeksvraag die je met deze opstelling wilt beantwoorden. Gebruik hiervoor de kennis die je hebt opgedaan in de voorbereiding. Je moet de onderzoeksvraag kunnen beantwoorden met deze opstelling. Stel voor de onderzoeksvraag een hypothese op. De hypothese is wat je verwacht dat het antwoord zal zijn op de onderzoeksvraag.



Figuur 3: Het ijkdiagram van de Helmholtz-spoelen bij de Thomson-buis.

Opdracht 6: Werkplan

Stel nu het werkplan op waarin in ieder geval de volgende punten behandeld worden:

- De onderzoeksvraag en hypothese.
- De grootheden die gevarieerd worden.
- De grootheden die gemeten worden en hoe deze metingen gedaan worden.
- Het aantal metingen.
- Hoe de data weergegeven wordt.

Laat het werkplan controleren voordat je verder gaat.

5 Metingen

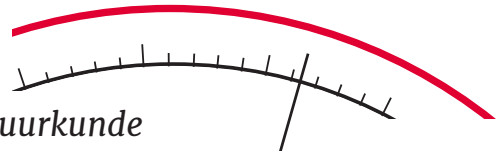
Nadat je de voorbereiding hebt uitgevoerd en het werkplan is goedgekeurd door de docent of assistent, kan je het experiment gaan uitvoeren.

Opdracht 7: Metingen

Zoek met behulp van de meetopstelling volgens je werkplan een antwoord op de onderzoeksvraag en controleer de opgestelde hypothese.

6 Rapportage

Afhankelijk van wat je docent van je verwacht rapporteer je met een schriftelijk verslag of een presentatie over het onderzoek. Zorg ervoor dat in dit verslag of deze presentatie



de volgende onderdelen duidelijk naar voren komen:

- De onderzoeksvraag en hypothese.
- Een beschrijving en een uitleg van de werking van de meetopstelling.
- Grafische weergave van de meetresultaten.
- Verwerking en interpretatie van de meetresultaten.
- Het antwoord op de onderzoeksvraag verkregen door de meetresultaten.