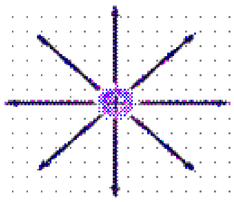
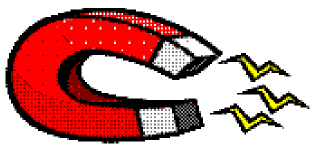
2009-v1

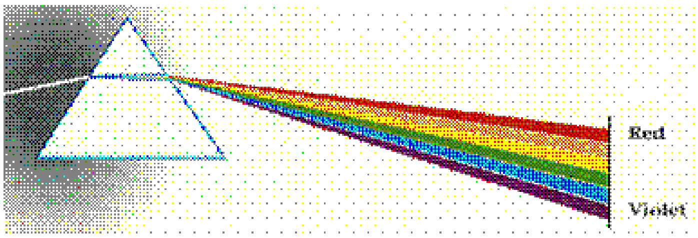
P R A K T I K U M

Electromagnetism and Light

Electrostatics 

Magnetostatics 

Electrodynamics $\Rightarrow$ Light



Auke-Pieter Colijn and Marcel Vreeswijk
University of Amsterdam

Inhoudsopgave

1 Praktikum Elektro-Statica

Tot nu toe hebben we de klassieke theorie over Elektrostatica besproken. Hoe weten we nu of hier ook maar iets van waar is? Die vraag kun je alleen beantwoorden met een experiment. Daarnaast heeft het praktikum tot doel praktische vaardigheden op te doen, enerzijds en de stof van het college in de praktijk toe te passen, anderzijds.

Hieronder volgt voor ieder experimentje een korte inleiding. Voor dit praktikum speel jij de rol van wetenschapper en je moet zelf uitzoeken hoe je de theorie het beste controleert. Ook de werking van de apparaten zul je zelf uit moeten zoeken door de gebruiksaanwijzing te lezen of door af en toe maar eens iets te proberen. Denk wel goed na bij wat je doet en als je twijfelt over de veiligheid: altijd vragen aan begeleiding. Het komt soms voor dat een meting totaal niet strookt met wat je verwacht. Bij dit praktikum hoef je de meting dan niet over te doen, maar probeer eens na te gaan (en op te schrijven) wat er mis zou kunnen zijn gegaan. Als je niets kunt vinden is de conclusie dat jouw metingen de theorie niet bevestigen, punt. Op de webpage vind je de technische details en suggesties voor de uitwerking.

Het is de bedoeling dat iedereen het Millikan experiment uitvoert. Daarnaast is er de keuzemogelijkheid:

- 2x een verkort labjournaal(pakweg 2 kantjes), zie ook sectie 1.1.2. van het plaatcondensator en van het cilindercondensator experiment
- 1x een verkort labjournaal van het spiegelladingsexperiment
- 1x een verkjort labjournaal van de nieuwe proeven, zie verder.

.

We werken in groepjes van twee, (indien noodzakelijk maximaal drie), personen. Het experiment van Millikan zal de meeste tijd in beslag nemen. De condensator en eventueel spiegellading opstellingen zullen roulerend bezet moeten worden (dus zodra een opstelling vrij is, dient deze zo gauw mogelijk weer bezet te worden). Dit betekent dat je hiervoor het Millikan experiment even (2 x 1 uur) zal moeten onderbreken.

Denk erom, de praktikum-tijd is beperkt: twee dagdelen. Zorg er derhalve voor dat je de metingen af krijgt. De uitwerking van de resultaten en vooral het schrijven van de verslagen dient in principe in je eigen tijd te gebeuren.

1.1 Toetsing

Tijdens het uitvoeren van de experimenten zullen de docenten (steekproefsgewijs) wat vragen stellen over de opstelling en de meting. Deze mondeling telt even zwaar mee als een labjournaal. In de praktijk zal je resultaat voor ongeveer 33% je cijfer voor het praktikum bepalen.

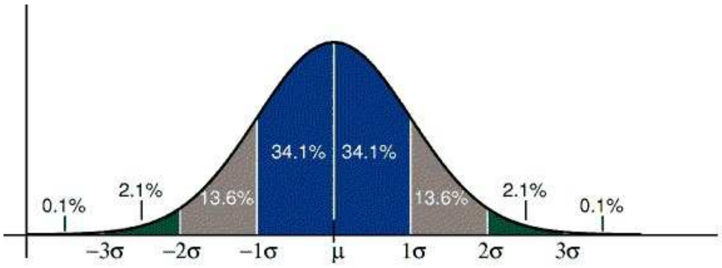
Het is de bedoeling dat iedereen een verslag inlevert van het Millikan experiment, dat in zijn geheel voor 75% meetelt. Meestal zijn deze verslagen zo'n tien kantjes lang, maar er zijn ook hele goede verslagen ingeleverd die korter of langer waren. Voor het maken van een verslag hebben jullie aanwijzingen gehad tijdens het praktikum in het eerste semester. Bij het nakijken van het ingeleverde werk zal er vooral op foutenschatting en foutenrekening worden gelet.

1.1.1 Foutenrekening

Als toekomstig natuurkundige zal het je ondertussen duidelijk zijn dat foutenrekening zeer belangrijk is. Wat betekent de uitkomst van een meting zonder dat je kunt aangeven hoe nauwkeurig dit getal is?

Er bestaan bibliotheken vol boeken over statistiek en foutenrekening en er zijn dan ook verschillende manieren om meetfouten te bepalen en te interpreteren. In deze paragraaf geven we de praktische zaken weer en gebruiken we de terminologie die experimenteel natuurkundigen daarvoor gebruiken en we gaan er in eerste instantie steeds uit van (statistisch onafhankelijke) meetresultaten van een fysische grootheid Gaussisch verdeeld zijn (zoals vaak het geval is). Het gevolg is dat niets alles uit in deze paragraaf beschreven staat altijd bruikbaar is, maar voor een 1eerstejaars praktikum is het zeker ruim voldoende!

De fout (of de nauwkeurigheid, of de onzekerheid, of de precisie) op een de uitkomst van een meting geeft de marge $\pm 1\sigma$ aan waarbinnen met 68% zekerheid de werkelijke waarde van de fysische grootheid ligt. De marge $\pm 2\sigma$ geeft al met 96% een interval aan van de werkelijke waarde. Zoals je weet, representeert die 68% en 96% het oppervlak van een Gaussische distributie (zie figuur 1) tussen $\pm 1\sigma$ en $\pm 2\sigma$ respectievelijk, t.o.v. van het gemiddelde μ. We noemen σ ook wel de standaard deviatie of breedte van de verdeling.



Figuur 1: *Een Gaussische distributie met gemiddelde μ en variantie σ^2.*

Soms zijn je metingen niet Gaussisch verdeeld en de verdeling hoeft ook niet symmetrisch rond een gemiddelde te liggen. In het meest simpele geval kunnen we dan volstaan met het bepalen van een aparte waarde voor $-\sigma$ en $+\sigma$ zodanig dat deze marge nog steeds 68% van de metingen zou omsluiten.

Maar hoe bepaal je de meetfout, σ? Dat is een moeilijke vraag en er is geen eenduidig antwoord op te geven. Je kunt bijvoorbeeld een schatting doen op basis van het gebruikte instrument of de meetmethode, maar dat blijkt vaak moeilijk. Soms kun je best wel schatten dat een meting bijvoorbeeld ongeveer 10% nauwkeurig is en geen 0.00001%; dat is dan al beter dan de meetfouten te negeren.

Wat we eigenlijk vaak doen is de meting een paar keer herhalen en kijken hoe de verdeling van resultaten eruit ziet en/of de zogenaamde Root Mean Square (RMS) bepalen. In dit geval heb je dus een hele set meetresultaten (data) die je eerst moet middelen om de beste schatting voor de werkelijke fysische grootheid te verkrijgen. Stel je laat een kogeltje van een vaste hoogte vallen en je doet N keer een tijdsmeting van de valtijd; de valtijd is de fysische grootheid die je wil weten in dit voorbeeld. We noemen de gemeten tijden t_i, waarbij i van 1 tot N 'loopt'. Voor de gemiddelde tijd $< t >$ geldt simpelweg:

$$< t >= \frac{1}{N}\sum_i t_i \tag{1}$$

Voor de RMS geldt:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_i (t_i - < t >)^2} \tag{2}$$

De *RMS* is een schatting (in feite ook een meting dus) voor σ, de meetfout van een enkele t_i. We merken op dat voor kleine waardes van N, je N beter kunt vervangen door $N-1$; dat voorkomt een onderschatting (*bias*) van de meetfout. Hoe dan ook, ondertussen hebben we $< t >$ berekend en dat is nu de beste schatting (meting) voor de werkelijke waarde. Wat is nu de onzekerheid op $< t >$? Zoals je misschien al vermoedde wordt deze kleiner met $\frac{1}{\sqrt{N}}$:

$$\sigma_{<t>} = \frac{RMS}{\sqrt{N}} \tag{3}$$

(Deze relatie kun je zelf afleiden uit vergelijking 1 als je weet dat bij optellen van grootheden de fout op het resultaat de wortel van alle individuele fouten kwadratisch opgeteld is.)

Maar hoe zit dat met afwijkingen in mijn meetinstrument of onbekende effecten door de omgeving? Dit noemen we systematische fouten (of onzekerheden). Voorbeelden van systematische effecten zijn:

1 Stel dat je meetklok mogelijkerwijs, zeg 1%, te langzaam of te snel loopt.

2 Stel dat je je meetklok of stopwatch altijd zo'n 1% te laat indrukt, afhankelijk van je reactiesnelheid, waardoor je systematisch steeds een te lange tijd meet.

3 Stel dat je opstelling heftig staat te trillen, zodat het kogeltje steeds significant van een andere hoogte valt dan je denkt. We weten ook niet wat de amplitude is van deze trillingen.

4 Stel dat de luchtdruk sterk varieert (binnen bekende grenzen) gedurende je metingen, maar je weet per meting niet hoeveel. Het kogeltje valt hierdoor iets sneller of langzamer.

Kortom, alle onvolkomenheden van de meting die van invloed kunnen zijn op de uitkomst vallen onder systematische fouten. Hoe ga je hier nu mee om? Dit is iets voor creatieve wetenschappers om te lossen, want een vast recept bestaat er niet: oefenen met dit soort problemen helpt in ieder geval. Voor effect 1 is het duidelijk dat al je gemeten tijden, en ook het gemiddelde, zal variëren met deze systematisch afwijkende klok. Dit is een extra meetfout van 1%. Voor effect nummer 2 spreken we van een bias in de metingen: het resultaat is altijd te lang. In dit geval geef je twee verschillende meetfouten: voor positieve effecten en apart voor negatieve (in dit voorbeeld 1% en 0% respectievelijk.). Voor effect nummer 3 is er iets bijzonders aan de hand. We kunnen redelijkerwijs aannemen dat dit systematische effect hetzelfde zal doen als een puur statistisch effect: iedere meting wordt onafhankelijk van andere metingen verstoord met een bepaalde grootte. Welnu, dit effect hebben we al geabsorbeerd in onze schatting van de statistische fout $\sigma_{<t>}$ hierboven. Immers, de fluctuaties van dit effect zullen de RMS vergrootten en die hebben we uit de metingen zelf berekend. Kortom, dit systematische effect brengen we niet apart in rekening. Voor effect 4 kun je ook be-argumenteren dat de RMS groter wordt als functie van de impact van effect de gemeten tijd. Kortom, ook dit effect zou ik niet apart in rekening brengen. Wie denkt nu nog steeds dat natuurkunde een exacte wetenschap is?

Hoe moet je verschillende fouten combineren? Alle on-gecorreleerde fouten tel je kwadratisch op. Hoewel de statistische en totale systematische fout vaak apart wordt gegeven in tal van wetenschappelijke publicaties is de totale fout de kwadratische som van de twee. (Correlaties tussen verschillende metingen gooien roet in het eten, maar daar gaan we nu verder niet op in.). Je kunt overigens ook direct inzien dat als je fouten kwadratisch optelt, de grootste individuele fout het resultaat zal domineren.

Hoe moet je verschillende fouten doorrekenen? Stel, we willen het soortelijk gewicht weten van water. We meten een volume een aantal keer en we bepalen het gemiddelde, v, en schatten de meetfout met de RMS methode en vinden σ_v. Vervolgens doen we hetzelfde voor het gewicht van deze hoeveelheid water en vinden gemiddeld gewicht g met meetfout σ_g. Wat is de fout σ_f op het soortelijk gewicht $f = g/v$.

In zo'n geval moet je de fouten door-rekenen (propageren) met de formule:

$$\sigma_f^2 = \sum_i \left(\frac{df}{dx_i}\right)^2 \sigma_i^2 \tag{4}$$

waarbij f je functie of formule is die afhangt van je meetwaarden voor de grootheid x_i. Overigens, deze relatie kun je alleen gebruiken als er geen correlaties tussen de grootheden x_i bestaan. Voor het soortelijk gewicht vullen we in $x_1 = g$ en $x_2 = v$ en verkrijgen:

$$\sigma_f^2 = (\frac{1}{v})^2 \sigma_g^2 + (\frac{-g}{v^2})^2 \sigma_v^2 \tag{5}$$

Uit het resultaat kun je afleiden dat als je de relatieve fout op f wilt weten, dat je de relatieve fouten kwadratisch op moet tellen.

In de praktijk is het soms heel veel werk om de fouten door te rekenen. Daarom is het soms is het handiger om je formules in bijvoorbeeld EXCEL te programmeren en vervolgens de meetwaarden binnen de foutenmarges te variëren. De variaties op het eind-antwoord, kwadratisch opgeteld, is dan een redelijke schatting van de fout.

Overigens, als we uitgaan van bovenstaand voorbeeld en we meten steeds de combinatie van het volume en het gewicht, kunnen we natuurlijk ook steeds f_i berekenen voor individuele meting. Na middelen vinden we dan f en de meetfout volgt dan uit de RMS methode. Daar komt waarschijnlijk een iets andere waarde uit voor het gemiddelde en ook voor de fout op f dan met de door-reken-methode hierboven. Tsja, ook de fouten bevatten meetfouten (die zijn overigens ook te schatten).

Als ik nu meetresultaten met verschillende meetfouten wil middelen? Stel je meet N keer een tijd t_i met afzonderlijke fout σ_i, met $i = 1, ..., N$. In dit voorbeeld zijn de individuele meetfouten σ_i niet gelijk voor iedere i. Dan is de gemiddelde tijd als volgt te berekenen:

$$w_i = 1/\sigma_i^2 \tag{6}$$

$$< t >= \frac{1}{w} \sum_i w_i t_i \tag{7}$$

waarbij $w = \sum_i w_i$. In feite krijgt iedere meting een gewicht w_i dat omgekeerd evenredig is met de meetfout in het kwadraat. Op deze manier tellen metingen met grote fouten minder zwaar mee. De fout op de gemiddelde tijd $< t >$ gegeven wordt door:

$$\sigma_{<t>} = 1/\sqrt{(w)} \tag{8}$$

Als alle σ_i gelijk zijn volgt voor de gemiddelde tijd de reeds besproken uitdrukkingen voor middelen van meetwaarden.

1.1.2 Verkort Labjournaal

Van de andere proefjes dien je een verkort labjournaal in te leveren. Het gaat dus echt om de relevante zaken die je zelf (als wetenschapper) in een logboek zou noteren; dus geen hele lappen tekst. Je verkorte labjournaal kan bijvoorbeeld bestaan uit de volgende onderdelen:

- Schets opstelling.
- Leid de relevante formule af.
- Geef meetwaarden in tabelvorm + meetfouten.
- Maak een grafiek waarin je de meetwaarden(+fouten) vergelijkt met een theoretische curve.
- Interpreteer het resultaat.

Uiteraard dienen specifieke vragen, die hieronder in de beschrijving van de verschillende proefjes gesteld worden, beantwoord te worden. Het (verkort) labjournaal dient altijd te worden ingeleverd als bewijs dat je het praktikum gedaan hebt, maar zal soms steekproefsgewijs worden nagekeken.

1.2 9 april: nieuwe praktika proeven

De nieuwe praktika proeven hebben we zelf nog niet gedaan, maar als je het aandurft mag je ze proberen. Je moet hiervan een verkort labjournaal inleveren en je hebt 1 dagdeel per proef. De enige documentatie die we hebben is van de leverancier, PHYWE, zie de college webpage (via Blackboard). Dit zijn de nieuwe proeven:

- Capacitance of metal spheres P2420300
- Electrical fields potentials P2420100
- Coulomb potential Coulomb field P2420500

Realiseer je wel dat de begeleiders van het praktikum eventuele specifieke vragen over deze proeven waarschijnlijk niet zonder meer kunnen beantwoorden.

1.3 Het experiment van Millikan (75%)

Dit experiment is een klassieker! Met een relatief eenvoudige opstelling wordt een ongelooflijke fundamentele meting verricht: de elementaire lading. Echter, de meting zelf is lastig [1] en tijdrovend. Als de tijd het toestaat zullen we alle metingen van alle opstellingen samenvoegen om zo tot een betere (statistische) meting te komen. Omdat de opstellingen nogal in (beeld)kwaliteit verschillen verwachten we ook dat je eens bij je buren gaat kijken om te zien of hun opstelling beter of slechter werkt en waarom (voor verslag).

Je opstelling bestaat uit een vlakke (horizontale) plaatcondensator met een afstand d van enkele millimeters (meten!). Hierover kan een spanning gezet worden van pakweg 300 Volt. Met een verstuiver worden olie-druppeltjes tussen de platen gespoten die met behulp van microscoop gezien kunnen worden. De valsnelheid (constant, waarom?) is een functie van de massa en diameter van de druppeltjes. Als we een elektrisch veld aanleggen zullen de geladen druppeltjes naar een van de

[1] net zoals meneer Millikan zelf, zo gaan de verhalen.

condensator platen worden aangetrokken. De snelheid van de druppeltjes in het elektrische veld is uiteraard een maat voor de elektrische lading.

Dus, als we ons steeds concentreren op een druppeltje en dat laten we op en neer dansen tussen de kruisdraden van de microscoop door elektrische spanning aan te leggen (uit/aan of +/-) en we meten de corresponderende looptijd dan hebben we de ingrediënten om (veelvouden van) de elementaire lading te bepalen.

Hieronder volgen enkele aanwijzingen:

- Zoek Millikan experiment op via de webpage en lees snel door.
- Meet de afstand tussen condensatorplaten met schuifmaat. Je mag zelf bedenken hoe je dat doet, maar je zal de opstelling in ieder geval uit elkaar moeten halen. (SPANNING UITZETTEN).
- Wat is de dichtheid van de olie?
- Voordat je de LAAG-spanning op een lampje aanzet: begin met een hele lage spanning en draai deze langzaam op. De lampjes branden door als ze te fel staan!
- Bekijk met de microscoop een ijk-glaasje om de kruisdraden-afstand(en) te ijken. (Meet de afstand tussen het ijkglaasje en de microscoop, bijvoorbeeld aan de voorkant van de lenshouder, want die afstand heb je straks nodig. Immers, op deze afstand is de microscoop scherp.)
- Voor het scherpstellen van de microscoop op ongeveer het midden van de condensator gebruik je de hierboven genoemde afstand. Bij sommige oudere modellen is het handig om een draadje of pinnetje in het midden van de condensator te houden en daarop scherp te stellen.
- Verstuif olie boven condensator en probeer deze te bekijken. Bij sommige opstellingen helpt het om met lamp-positie te 'spelen'.
- Zet de spanning op 100-300 Volt en probeer een druppel op en neer te laten bewegen over een bekende afstand. Sommige opstellingen hebben open aansluiten van 300 Volt (weliswaar zwevend en/of stroombegrensd, maar wees altijd voorzichtig!)
- meet voor een stuk of tien druppels de looptijd met en zonder spanning of met alternerende spanning.
- Een andere techniek is om een druppel stil te laten hangen door de juiste spanning te vinden.
- Vergeet de statistische fouten niet voor je verslag.

Voor je verslag volg je de standaard indeling: Samenvatting, Inhoud, Inleiding, Theory, Opstelling, Resultaat (+ uitwerking), Discussie, Conclusie.

1.4 De Plaat Condensator

Met een eenvoudige plaat condensator kunnen we heel wat relaties controleren die we tijdens het college hebben afgeleid.

Voordat we gaan meten dien je eerst de theorie van condensatoren goed te begrijpen. De condensator hebben we op het college behandeld. De effecten van elektrische velden op een isolator moet je zelf bestuderen (tip: begin met de transparanten 'Elektrische velden in materie'). Hieronder vind je een aantal vragen om te testen of je stof goed begrijpt, die je in je labjournaal dient te beantwoorden.

- a) Beschouw twee vlakke platen met oppervlakte A en tegengestelde lading Q. De afstand tussen de platen is d. Verwaarloos randeffecten. Wat is het potentiaal verschil over de platen? Wat is de capaciteit van deze condensator?
- b) Als we een 'plak' van een lineair di-electrikum in een uniform elektrisch veld plaatsen met sterkte E_0, hoe groot is dan het veld in deze isolator? (Verwaarloos randeffecten. De elektrische susceptibiliteit van dit materiaal is χ).
- c) Leg uit dat een gepolariseerde plak van dit lineair di-electrikum met dikte d, op te vatten is als parallelle platen op afstand d met ladingsdichtheid $\sigma = \varepsilon_0 \chi E$.
- d) Beschouw weer de twee vlakke platen met oppervlakte A en tegengestelde lading Q. De afstand tussen de platen is d. Nu is de ruimte tussen de platen opgevuld met de isolator. Verwaarloos randeffecten. Wat is het potentiaal verschil over de platen? Wat is de capaciteit van deze condensator?

Vervolgens gaan we meten! De opstelling bestaat naast de nauwkeurige (ronde) plaatcondensator uit een Hoogspanning bron van 0-5kV (wees altijd voorzichtig, maar spanning is relatief veilig door hoge weerstand). De lading en/of ladings-veranderingen op de condensator kunnen worden bepaald met een elektrometer. De elektrometer meet de spanning over een bekende condensator van 100 nF.

Aanwijzingen:

- Zoek experiment op via de webpage en lees door. Zorg ervoor dat je het principe van de capaciteitsmeting goed begrijpt.
- Tip: de ladings-meetversterker is een gevoelig apparaat. Als de afstand tussen de condensatorplaten klein is (¡5mm) gaat er door de lucht een stroompje lopen die je meting verprutst. Je ziet de meetspanning dan driften naar waarden boven de 10V. Gebruik eerst geen kleine afstanden en zorg dat er geen lading op de condensatorplaat aan de meetkant kan komen of ontsnappen (niet aanraken dus of dicht in de buurt komen tijdens het instellen).
- Bereken de capaciteit van de plaatcondensator voor d=5 mm en V=5kV. Meet voor deze instelling de capaciteit. En, klopt het? Herhaal deze meting voor een paar andere waarden van de spanning.
- Meet de verandering van de lading als functie van de afstand d en zet in grafiek. Schets ook de verwachte curve.
- Neem een meting met een isolator tussen de platen. Neemt de capaciteit toe of af? Vergelijk je bevindingen met de theorie.

1.5 Model van een Cilindercondensator

Het elektrische veld van ene cilindercondesator berekenen kunnen we ondertussen wel. Nu wordt het tijd om het veld eens te meten. Dat is in de praktijk echter niet zo gemakkelijk en daarvoor hebben we een model van een ideale cilindercondensator gemaakt, die overigens hetzelfde verband tussen de meetbare potentiaal en de afstand tot de binnenste cilinder oplevert. Leidt dat verband af, gebruikmakende van de wet van Gauss.

Onze 'cilindercondensator' heeft twee concentrische ringvormige platen waartussen een laagje (kraan)water staat, dat als geleidend medium gebruikt wordt. De ringen kunnen m.b.v. een spanningsbron (15 V) op een vast potentiaalverschil gezet worden. Het is het handigst om voor de buitenste geleider de vaste ring te gebruiken. De centrale pen is de kleinste binnengeleider, waarmee je zou kunnen beginnen. Meet de potentiaal tussen de platen als functie van de plaats en geef de resultaten in grafieken weer.

Meet ook de potentiaal op de binnenste ring en daar binnen in. Gebruik ook eens een ring met een andere straal. Trek conclusies omtrent de veldsterkte in de condensatorruimte. Vergelijk je bevindingen met de theorie.

1.6 Spiegel-Lading

Het is fascinerend dat het electrische veld van een geladen bol en een geaarde plaat gelijk is aan dat van een geladen bol en zijn spiegelbeeld. Op het college hebben we wel gerekend aan een dergelijke situatie, maar een 'keihard' wiskundig bewijs valt buiten onze stof. Met deze opstelling kunnen we jullie misschien alsnog overtuigen!

De opstelling bestaat uit een geladen bol die zich op vier tot acht cm van een ge-aarde plaat bevindt. De bol hangt aan een torsie-balans. De Hoogspanning (HV) bron van maximaal. 25kV (niet levensgevaarlijk door stroom begrenzing) is verbonden met een metalen bol om de bol aan torsie-balans op te laden. De metalen bol aan de elektrometer dient om de lading te meten op het moment dat de torsie balans 'door de nul' beweegt. (nooit de HV-bol direct aan elektro-meter bol laten raken)

- Zoek het Spiegel-Lading experiment op via de webpage en lees door. Let op: de formules bevatten veel type-fouten. (Gebruik Griffiths en/of college-aantekeningen).
- Draai de torsie balans precies tot mechanische aanslag richting plaat en laad vervolgens de bol op (20 kV). Draai voorzichtig de torsie balans op totdat de bol uit evenwicht raakt. Herhaal de metingen voor 10,15, en 25 kV.
- Meet op dat moment de lading.
- Herhaal de metingen een paar keer om zo de statistische fouten te bepalen.
- Herhaal alle metingen voor een andere bol-plaat afstand.
- Maak een grafiek tussen de kracht en de lading^2. Teken hierin ook de verwachte curves.

2 Praktikum Magnetostatica (onder voorbehoud)

Dit praktikum is niet geroosterd en zal alleen doorgang vinden als we tijd overhouden. Als het doorgaat, is het verplicht.

Tot nu toe hebben we de klassieke theorie over Magnetostatica besproken. Hoe weten we nu of hier ook maar iets van waar is? Die vraag kun je alleen beantwoorden met een experiment. Daarnaast heeft het praktikum tot doel arctische vaardigheden op te doen, enerzijds en de stof van het college in de praktijk toe te passen, anderzijds.

Hieronder volgt voor ieder experimentje een korte inleiding. Voor dit praktikum speel jij de rol van wetenschapper en je moet zelf uitzoeken hoe je de theorie het beste controleert. Als je de opstellingen ziet, vraag niet af wat je *moet* doen. Wees creatief en vraag jezelf af wat je *kunt* doen om de theorie te toetsen. Denk dus na over theorie en voorspel het resultaat van een meting en controleer dat door de meting ook daadwerkelijk uit te voeren.

Ook de werking van de apparaten zul je zelf uit moeten zoeken door de gebruiksaanwijzing te lezen of door af en toe maar eens iets te proberen. Denk wel goed na bij wat je doet en als je twijfelt over de veiligheid: altijd vragen aan begeleiding. Het komt soms voor dat een meting totaal niet strookt met wat je verwacht. Bij dit praktikum hoef je de meting dan niet over te doen, maar probeer eens na te gaan (en op te schrijven) wat er mis zou kunnen zijn gegaan. Als je niets kunt vinden is de conclusie dat jouw metingen de theorie niet bevestigen, punt.

Je kunt drie proefjes doen en daarvan de verkorte labjournaals inleveren. De beste twee labjournaals worden gemiddeld voor je cijfer.

Denk erom, de praktikum-tijd is beperkt: 1 dagdeel. Zorg er derhalve voor dat je de metingen af krijgt. De uitwerking van de resultaten en dient in principe in je eigen tijd te gebeuren.

2.1 het B-veld in een spleet in een toroïde.

Een elektromagneet wordt gemaakt van twee spoelen om een (gesloten) ijzeren juk. Een spleet van variabele breedte kan gemaakt worden door het sluitstuk van het juk enerzijds te laten rusten op plaatjes weekijzer, ter grootte van de doorsnee van het juk, en anderzijds even dikke kunststof plaatjes, die veel kleiner zijn dan de doorsnee van het juk. Naast de kunststof plaatjes is er ruimte om m.b.v. een hall-sensor het B-veld te meten in de gecreerde spleet. Op de spoelen staat aangegeven wat de maximale toelaatbare stroom is (i.v.m. warmteontwikkeling). Op het datasheet van de sensor staat o.a. de conversie-factor vermeld, zodat uit de gemeten hall-spanning de waarde van het B-veld kan worden berekend.

Stroombron

Door de hall-sensor moet een constante stroom lopen (maximaal 5 mA). We hebben dus een stroombron nodig. De meeste voedingsapparaten gedragen zich echter als een spanningsbron.

a) Wat is het verschil tussen een spanningsbron en een stroombron?

b) Hoe maak je een zo goed mogelijke stroombron als je een variabele spanningsbron gegeven hebt?

c) Dimensioneer en bouw een zo goed mogelijke stroombron voor de hall-sensor die 5 mA kan leveren.

Nul-waarde hall-sensor

De contacten waarover de hall-spanning gemeten wordt, liggen niet altijd precies tegenover elkaar. Hierdoor wordt altijd een ohms spanningsverschil gemeten. Eventuele storende externe magneetvelden kunnen ook aan de gemeten spanning bijdragen.

d) Is het, gezien de gevoeligheid van de hall-sensor mogelijk om het aardmagnetisch veld te meten?

e) Bepaal de eventuele nul-waarde van de sensor.

Toroïde met spleet

f) Schakel de spoelen in serie, zodanig dat er een magneetveld in de kern opgewekt wordt.

g) Onderzoek bij een vast gekozen waarde van de stroom door de spoel (overschrijd de maximumwaarde niet) de waarde van het B-veld in de spleet als functie van de spleetbreedte.

h) Vergelijk het meetresultaat met de theoretisch voorspelde afhankelijkheid voor het B-veld van de spleetbreedte.

i) Bepaal, bij een vast gekozen spleetbreedte, de waarde van het B-veld als functie van de stroom door de spoelen.

2.2 Het B-veld van een solenoïde.

De stroom door de spoel mag maximaal 1 A bedragen. (Bij een hogere waarde van de stroom wordt teveel warmte ontwikkeld, waardoor de kunststof week wordt en gaat doorbuigen). In de sleuven past een hall-sensor waarmee het B-veld kan worden gemeten. Op het datasheet van de sensor staat o.a. de conversiefactor vermeld, zodat uit de gemeten hall-spanning de waarde van het B-veld kan worden berekend.

Stroombron Door de hall-sensor moet een constante stroom lopen (maximaal 5 mA). We hebben dus een stroombron nodig. De meeste voedingsapparaten gedragen zich echter als een spanningsbron.

a) Wat is het verschil tussen een spanningsbron en een stroombron?

b) Hoe maak je een zo goed mogelijke stroombron als je een variabele spanningsbron gegeven hebt?

c) Dimensioneer en bouw een zo goed mogelijke stroombron voor de hall-sensor die 5 mA kan leveren.

Nul-waarde hall-sensor

De contacten waarover de hall-spanning gemeten wordt, liggen niet altijd precies tegenover elkaar. Hierdoor wordt altijd een ohms spanningsverschil gemeten. Eventuele storende externe magneetvelden kunnen ook aan de gemeten spanning bijdragen.

d) Is het, gezien de gevoeligheid van de hall-sensor mogelijk om het aardmagnetisch veld te meten?

e) Bepaal de eventuele nul-waarde van de sensor.

Solenoïde

f) Onderzoek bij een vast gekozen waarde van de stroom door de spoel (maximaal 1 A) de homogeniteit van het B-veld in de spoel langs de as.

g) Meet ook het B-veld buiten de spoel, direct tegen de opening van de spoel. Be-discussieer het resultaat.

h) Meet ook het B-veld op andere plaatsen buiten de spoel en bespreek de resultaten.

i) Toon experimenteel aan of het B-veld in de spoel ook een radiele component heeft.

j) Bepaal de afhankelijkheid van het B-veld in het midden van de spoel als functie van de stroom door de spoel.

k) Vergelijk het meetresultaat met de theoretisch voorspelde waarden voor het B-veld.

Weekijzeren kern

Het B-veld in een spoel wordt enorm vergroot door het aanbrengen van een weekijzeren kern in de spoel. In deze kern zijn ook sleuven aangebracht om de hall-sensor in te steken. Echter, de sleuven zijn geen volledige onderbrekingen van de kern. Er resten nog verbindingsstukken van ijzer. l) Meet het veld in de sleuven van de kern en bespreek de meetresultaten.

2.3 het meten van het B-veld m.b.v. een stroombalans.

Er zijn diverse methodes om B-velden te meten. Een zeer directe manier van meten is gebruik te maken van de Lorentzkracht bij een stroombalans. Plaats de stroomvoerende draad van de stroombalans tussen de poolschoenen van de te onderzoeken magneet. Door middel van een loep is de ruststand van de balans vast te leggen. Kies de stroomrichting door de stroombalans zodanig dat de draad een omhoog gerichte kracht ondervindt. Door gewichtjes op de balans te leggen, is de stroom zo te kiezen dat de evenwichtsstand weer ingenomen wordt. Voordat je gaat meten zorg je ervoor dat je de opstelling begrijpt en wat de richting en grootte van de Lorentz kracht zal zijn.

a) Meet de waarde van het B-veld tussen de poolschoenen van de magneet.

b) Herhaal de metingen met diverse gewichtjes en bepaal een gemiddelde, met een foutenschatting.

c) Onderzoek de homogeniteit van het veld tussen de poolschoenen.

3 Praktikum Elektrodynamica

3.1 Praktikum Hysterese

Denk bij de metingen aan je veiligheid: gebruik altijd een scheidingstrafo tussen een variac en de netspanning!

Excuses voor de layout van de volgende bladzijden, die komen namelijk uit een wat oudere handleiding, maar zijn nog steeds heel relevant. Hier volgen enkele zeer bruikbare tips bij dit praktikum om op gang te komen:

- lees de text eerst eens vluchtig door. Kijk goed naar formule 9.20a en 9.20b.
- Begin experiment 9.4.
- Let op: meet bij dit praktikum niet met een voltmeter. Meet alleen met de scoop, want het gaat vooral om de faseverschillen!
- Stroom door een draad meet je door een kleine vermogensweerstand in serie op te nemen en de spanning ($V = IR$) op de scoop te bekijken.
- Bedenk dat maar 1 punt in de schakeling mag aarden. Ofwel, vanaf de scoop loopt maar 1 aard-kabeltje naar je schakeling.
- Maak I_1 en V_1 zichtbaar op de scoop.
- Bedenk dat $I_2 = 0$ en stel $V_1 = A_1 cos(\omega t)$ en je weet (netspanning) ω. Schrijf formules 9.20a,b nu eens uit en kom tot de conclusie dat I_1 een 'sinus' moet zijn (want we gingen er van uit dat V_1 een 'cosinus' is). Klopt dat met je waarneming?
- Het is toch fantastisch dat je formules 9.20a,b nu begrijpt! Faseverschillen in schakelingen spelen altijd een rol als we condensatoren en spoelen toevoegen. Dit praktikum is een illustratie hiervan. Vaak wordt in deze context met complexe impedantie Z gerekend. Een weerstand heeft een reeële impedantie $Z = R$ en een condensator $Z = \frac{1}{i\omega C}$ en een spoel $Z = i\omega L$ en er geldt $V = IZ$ met V en I complex.

3.2 Praktikum Michelson

Van het praktikum Michelson dient naar keuze een verkort labjournaal of een poster te worden gemaakt; van het volgende praktikum, Polaristatie, dient dan respectievelijk een poster of een verkort labjournaal te worden gemaakt. Dus in totaal 1 poster en 1 verkort labjournaal.

De posters zullen we tijdens een aparte bijeenkomst presenteren en be-oordelen. Voor aanwijzingen voor het maken van een poster kun je paragraaf 3.4 raadplegen.

.

3.3 Praktikum Polarisatie

Van het praktikum Polaristie dient naar keuze een verkort labjournaal of een poster te worden gemaakt; van het vorige praktikum, Michelson, dient dan respectievelijk een poster of een verkort labjournaal te worden gemaakt. Dus in totaal 1 poster en 1 verkort labjournaal.

De posters zullen we tijdens een aparte bijeenkomst presenteren en be-oordelen. Voor aanwijzingen voor het maken van een poster kun je paragraaf 3.4 raadplegen.

3.4 Een poster maken

Reclame affiches of billboards langs de kant van de weg. Ze zijn vaak zo gemaakt, dat je aandacht erdoor wordt getrokken. Ze zijn er niet alleen om mooi te zijn, ze moeten een boodschap overbrengen. Dat geldt ook voor de affiches die gericht zijn op het overbrengen van informatie of een mening. Met zon (reclame)affiche in je achterhoofd kun je op weg naar je eigen poster-presentatie. Via een poster moet je verslag doen van een eigen onderzoek. Onderweg naar je poster helpen de onderstaande tips en suggesties.

3.4.1 Vragen die je kunt stellen.

- Wat is het doel? (experiment uitleggen)
- Wat wil je overbrengen? (medestudenten enthousiast maken voor praktikum)
- Wie bekijkt de poster ofwel: wie is je doelgroep? (medestudenten)
- Wat weten de toeschouwers al?
- Wat voor informatie heb ik nodig?
- Hoe groot mag de poster zijn? (A4 moet leesbaar zijn ; we proberen groter)
- Mag je tekst gebruiken of gaat het om een beeldverhaal? (beide)
- Kun je kleur gebruiken of juist niet? (in zwart/wit moet de poster ook leesbaar zijn)

3.4.2 de poster

- Maak een lijstje met wat je erin gaat zetten. Pas op: overdaad schaadt!
- Zorg dat je ontwerp en vormgeving bij je onderwerp passen.
- Pas je idee aan bij je doelgroep. Het verschilt of je een poster maakt voor bijv. basisschoolleerlingen of medestudenten.
- Zorg voor een aandachtstrekker in je poster.
- Let op de ordening, selecteer op hoofd en bijzaken.

3.4.3 indeling poster

- Kijk naar hoofdzaak en bijzaak.
- Let op dat er verband tussen de onderdelen is, zorg dat het geheel geen los zand wordt.
- Groepeer zaken.
- Kijk naar voorgrond en achtergrond, de achtergrond dient de voorgrond te ondersteunen, niet te overheersen.
- Ondersteun met kleuren, sfeer, idee en/of vorm. Let op de bladvulling. Let op groot en klein.
- Bij teksten: werk zoals in de krant met kolommen.
- Gebruik niet te veel tekst. Maak de kop niet te groot(maximaal. 10 woorden).