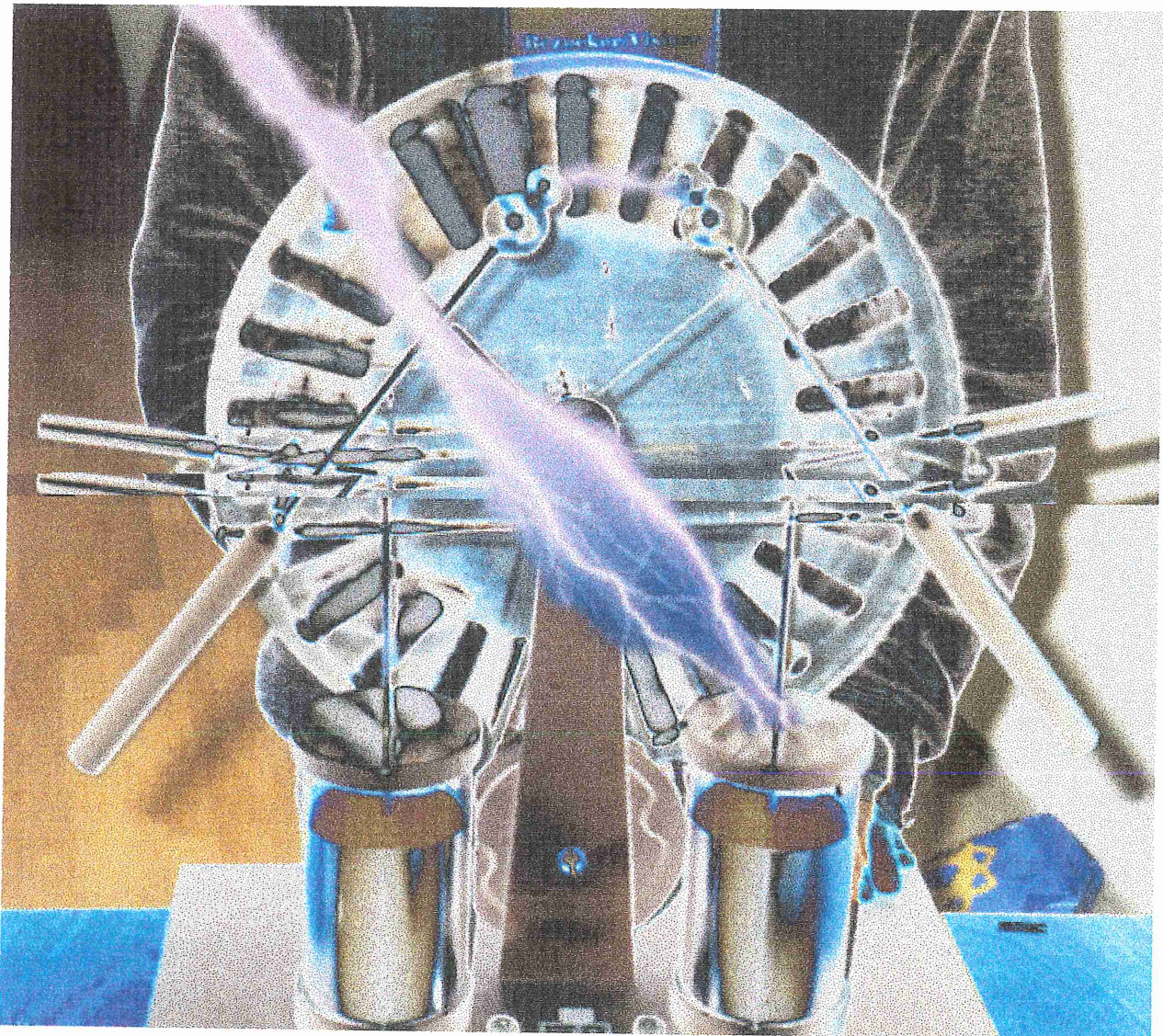


De inductie-elektriseermachine van Wimshurst



Caroline van Breukelen
Sandra Smit
Natuurkunde 6.3
16-1-1998

Inhoudsopgave:

Inhoudsopgave:	1
Inleiding:	2
Algemene theorie:	3
<i>Elektrische velden:</i>	3
<i>Influentie:</i>	3
<i>Het ontstaan van vonken:</i>	4
<i>Doorslagspanning:</i>	4
De werking van de elektriseermachine:.....	5
Onderzoeksvraag:	8
Gidsexperiment:	9
Hypothese:	10
Werkwijze:	12
<i>Benodigheden:</i>	12
<i>Opstelling:</i>	12
<i>Methode:</i>	13
Resultaten:.....	15
<i>Toelichting bij de tabellen en grafieken:</i>	15
<i>Tabellen:</i>	16
<i>Grafieken:</i>	17
Conclusie:.....	20
Verschijselen:	21
<i>Wat gebeurt er met een balletje met aluminiumfolie tussen de bollen?</i>	21
<i>Wat gebeurt er met een balletje zonder aluminiumfolie tussen de bollen?</i>	22
<i>Wat is de invloed van hout tussen de bollen op het aantal vonken per minuut?</i>	23
<i>Wat is het effect als de bollen zich in water bevinden?</i>	25
<i>Wat is de invloed van een magnetisch veld op een overspringende vonk?</i>	26
<i>Wat is de invloed van een föhn, gericht op de bollen, op het aantal vonken per minuut? ...</i>	27
Evaluatie:	29
Dankwoord:.....	29
Literatuurlijst:.....	30

Inleiding:

Aanvankelijk waren wij van plan om een onderzoek te doen dat te maken had met elektriciteit of magnetisme. Na het raadplegen van enkele boeken kwamen wij op het idee om iets te doen met hoogspanning en vonkoverslag. Zodra wij hoorden van de expositie in het Teylers Museum over elektriseermachines, besloten wij onderzoek te verrichten aan de elektriseermachine.

Er zijn verschillende soorten elektriseermachines: wrijvings- en inductie-elektriseermachines. Deze machines berusten op een verschillend principe, maar aangezien wij voor de inductie-elektriseermachine van Wimshurst hebben gekozen, zullen wij het in ons verslag alleen over deze hebben. De reden van onze keuze was dat deze machine op school aanwezig was en wij uiteindelijk een goed exemplaar van het Teylers Museum konden gebruiken voor ons onderzoek.

Nadat uit het gidsexperiment was gebleken dat ons experiment niet op school uitvoerbaar was, hebben wij ons hele onderzoek uitgevoerd in het Teylers Museum. We hebben echter wel met materiaal van school gewerkt, met uitzondering van de elektriseermachine.

Het boek "Beschrijving eener ongemeen groote electrizeer-machine, geplaatst in Teyler's museum te Haarlem en van de proefneemingen met dezelve in 't werk gesteld" door Martinus van Marum hebben wij geraadpleegd voor ideeën voor ons onderzoek. Hiernaast hebben wij verscheidene boeken doorgenomen over de algemene theorie en de werking van de elektriseermachine, om vervolgens onze eigen tekst samen te stellen. Hierdoor zij wij niet in staat bij een bepaald tekstelement een bronvermelding te geven. Wij hebben dit opgelost door bij een kop naar de boeken te verwijzen, die wij voor dit deel hebben doorgenomen.

In ons verslag zullen wij eerst enige algemene begrippen uitleggen die van belang zijn in ons onderzoek en vervolgens de werking van de elektriseermachine uitleggen, alvorens wij ons echte experiment beschrijven. Hiervoor hebben wij lange tijd boeken geraadpleegd in de bibliotheek van het Teylers Museum, aangezien wij boeken over dit onderwerp nergens anders konden vinden.

Na het beschrijven van ons experiment naar aanleiding van onze onderzoeksvraag, zullen wij verslag doen van enkele "verschijnselen", die wij ook onderzocht hebben.

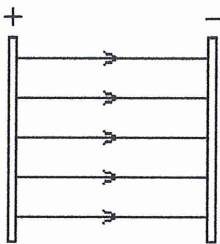
Algemene theorie:

Elektrische velden¹:

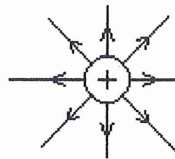
Een elektrisch veld is een ruimte waarin een (in rust zijnd) geladen deeltje een kracht ondervindt. Het bevindt zich rondom een geladen voorwerp en is sterker naarmate de lading van het voorwerp groter is.

Men kan het veld weergeven door middel van veldlijnen, deze lopen altijd van plus naar min en staan loodrecht op het oppervlak van het geladen voorwerp, ze kunnen elkaar dus niet snijden. Hoe dichter de veldlijnen bij elkaar liggen, hoe sterker het veld, dus hoe groter de kracht op het geladen deeltje. De richting van deze kracht is de raaklijn aan zo'n veldlijn.

Er bestaan onder andere homogene velden (bijvoorbeeld in een condensator) en radiale velden (bijvoorbeeld rond een puntlading). In een homogeen veld heeft de veldsterkte in elk punt dezelfde grootte en richting. In een radiaal veld is de richting in alle punten op gelijke afstand van het centrum verschillend en neemt de grootte kwadratisch af met de straal tot het middelpunt van het geladen voorwerp. Bij een bol kan men een puntlading in het centrum van de bol veronderstellen.

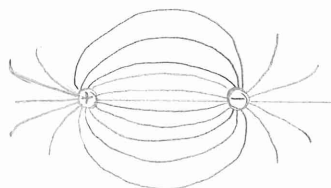


Homogeen



Radiaal

Bij de elektriseermachine is sprake van twee tegengesteld geladen bollen, de grootte van de lading is gelijk. Het elektrisch veld ziet er dan als volgt uit:



Zoals men in de tekening kan zien, is de veldsterkte tussen de bollen het grootst. De lading concentreert zich altijd in de spitse punten van een geleider. Hierdoor is het elektrisch veld rond de spitse velden van een geleider zeer sterk. Dit vindt men bij de elektriseermachine van Wimshurst terug bij de kammen die de lading als het ware "afvangen" van de sectoren (zie *Werking van de elektriseermachine*).

Influentie²:

Dit begrip wordt ook wel aangeduid met inductie of polarisatie.

Hieronder wordt het verschijnsel verstaan dat een geladen voorwerp in een ander nabij

¹ "Natuurkunde op corpusculaire grondslag" deel 4 pagina 5-12, Schweers en Vianen

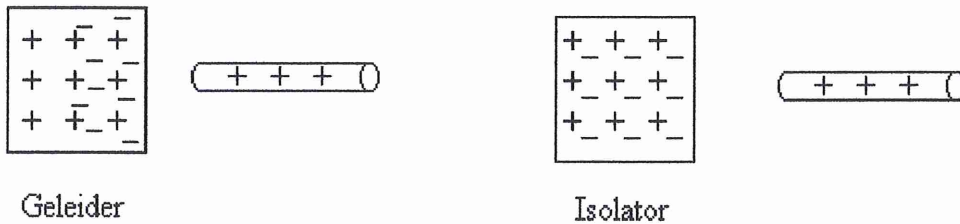
"Scoop" pagina 164,166-167, Biezeveld en Mathot

² "Natuurkunde op corpusculaire grondslag" deel 2 pagina 127-130, Schweers en Vianen

"Scoop" pagina 163-164, Biezeveld en Mathot

gelegen voorwerp een ladingsscheiding teweegbrengt doordat het de gelijk geladen deeltjes binnen het voorwerp aantrekt en de tegengesteld geladen deeltjes afstoot. Dit gebeurt zonder dat de voorwerpen elkaar raken.

Als bijvoorbeeld een positief geladen staaf een neutrale geleider rechts nadert, worden de elektronen naar de rechterkant van de geleider getrokken. Hierdoor wordt de rechterkant van



de geleider negatief en de linkerkant positief; het geheel is echter nog steeds neutraal.

Als een neutrale isolator wordt genaderd, zullen de positieve en de negatieve deeltjes ten opzichte van elkaar slechts verschuiven, omdat de elektronen niet vrij door het voorwerp kunnen bewegen; hierdoor zijn de randen van de isolator positief en negatief "geladen". Het geheel is nog steeds neutraal.

Het ontstaan van vonken³:

Er ontstaat bij de bollen een elektrisch veld door de aanwezige lading, waardoor positieve deeltjes uit de lucht versneld worden richting de negatieve bol en de negatieve deeltjes richting de positieve bol. Naarmate de ladingen in de bollen groter worden, wordt het elektrische veld sterker en krijgen de deeltjes een grotere versnelling. Deze deeltjes botsen tegen andere geladen of ongeladen deeltjes in de lucht.

Als de snelheid tijdens deze botsingen groot genoeg is, kunnen ongeladen deeltjes geïoniseerd of ionen met elektronen gerecombineerd worden tot een ongeladen deeltje. Ook kan het gebeuren dat een elektron door zo'n botsing in een hogere baan rond het atoom terecht komt. Als deze botsingen eenmaal beginnen, wordt er een "lawine-effekt" veroorzaakt (dus steeds meer ionisatie en recombinitie). Wanneer een ion recombineert met een elektron of een elektron in zijn oude baan terugvalt, komt er energie vrij die waargenomen kan worden in de vorm van licht. Deze botsingen vinden vooral plaats in een "kanaaltje" tussen de twee bollen, omdat hier het elektrische veld het sterkst is en de deeltjes de grootste versnelling krijgen. Hier wordt dus de vonk waargenomen.

Door de hoge snelheid van de deeltjes wordt de temperatuur van de lucht hoger. Deze zet hierdoor snel uit; dit is de knal die men bij de vonk kan horen.

Als positieve ionen tegen de negatieve bol botsen, nemen deze elektronen op waardoor de bol zijn lading verliest. Door de positieve bol worden de botsende elektronen uit de lucht opgenomen. Vanwege de neutralisering van de bollen verdwijnt het elektrische veld, waardoor de deeltjes geen versnelling meer krijgen. Hierdoor stopt het "lawine-effekt" en moet het proces opnieuw beginnen.

Doorslagspanning:

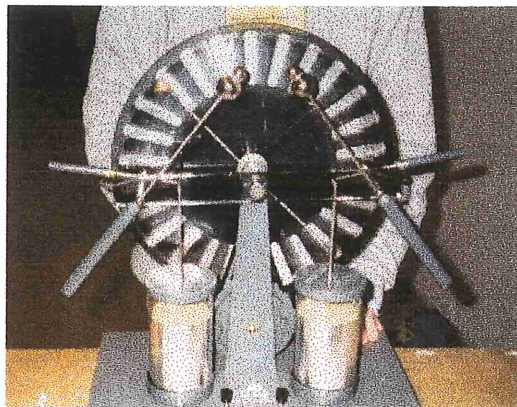
Het begrip doorslagspanning is een aanduiding voor de spanning per centimeter die nodig is om een vonk over te laten slaan in een bepaald medium. Voor lucht is deze ongeveer 10.000 V/cm.

³ "Tot de vonken eraf vliegen" pagina 40, TNO

De werking van de elektriseermachine⁴:

De inductie-elektriseermachine van Wimshurst bestaat uit twee schijven van perspex (of een andere isolator) met tegengestelde draairichting. Deze worden aangedreven door een zwengel, verbonden met een wieltje en een rubberen aandrijfband. Op de schijven zijn op gelijke onderlinge afstand dunne plaatjes bladtin bevestigd, die wij sectoren zullen noemen. Aan weerszijden van de schijven bevinden zich twee ijzeren staafjes (de dwarsconductors) met een onderlinge hoek van 90 graden. Aan hun uiteinden zitten metalen borsteltjes, die in contact staan met de schijf.

Aan de linker- en rechterkant van de schijven zijn aan weerszijden de kammen bevestigd om de elektrische lading "af te vangen". Deze bestaan uit een U-vormige staaf met aan de binnenzijde een metalen borsteltje dat de schijf niet raakt. De kammen zijn verbonden door middel van metalen staven met de Leidsche flessen en de metalen bollen waartussen een vonk zal overspringen.



Wanneer wij aan de zwengel draaien, komen de schijven in beweging. Als één sector toevallig een lading ontvangt, veroorzaakt deze steeds d.m.v. influentie een ladingsscheiding in de tegenoverliggende sector op de andere schijf, die bij doordraaien weer verdwijnt. Als een sector zich *juist* bij een dwarsconductor bevindt, op het moment dat hij geïnduceerd wordt, gebeurt het volgende: als gevolg van de ladingsscheiding neemt de sector elektronen op of staat elektronen af aan het borsteltje, al naar gelang de kant, gericht naar het borsteltje, respectievelijk positief of negatief is.

Deze nu *geladen* sector gedraagt zich hetzelfde als de eerste geladen sector. Dus wanneer deze bij het punt komt waar de dwarsconductor van de andere schijf zich bevindt, zal hij weer een inductie uitvoeren met hetzelfde effect als hierboven beschreven.

Doordat de dwarsconductor elektronen afgeeft of opneemt, ontstaat hierin een tekort respectievelijk overschot aan elektronen. Hierdoor zal deze dwarsconductor aan zijn andere uiteinde elektronen opnemen respectievelijk afgeven aan de daar aanwezige sector, die hierdoor tegengesteld geladen wordt ten opzichte van de sector aan de andere kant van de schijf.

Door de specifieke draaiing van de schijven komen zowel de positieve als de negatieve ladingen elk bij één kam terecht. Een positief geladen sector induceert een negatieve lading bij het uiteinde van de kam, waardoor elektronen uit het uiteinde van de staaf en de bol weggetrokken worden. Bij het scherpe uiteinde van de kam ontstaat een sterk elektrisch veld. Positieve deeltjes uit de lucht worden naar de kam togetrokken en negatieve deeltjes afgestoten. De positieve deeltjes botsen tegen de kam aan en nemen een elektron op; het

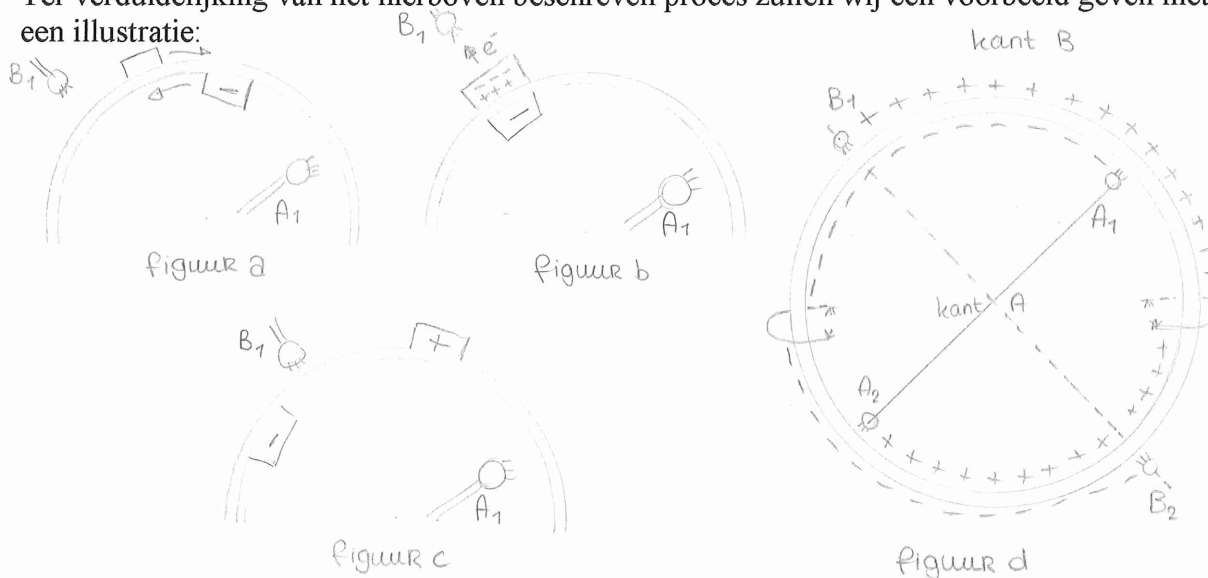
⁴ "Leerboek der natuurkunde en van hare voornaamste toepassingen" pagina 177-180, Bosscha

geheel van bol, staaf en kam is nu positief geladen. De afgestoten negatieve deeltjes botsen tegen de positief geladen sector; deze neemt hiervan elektronen op en is dus weer neutraal. Een negatief geladen sector bewerkstelligt natuurlijk het tegenovergestelde effect bij de andere kam.

De geneutraliseerde sectoren draaien door naar het eerstvolgende borsteltje, vanaf waar het gehele proces zich herhaalt.

Zo ontstaat er in de ene bol een steeds groter tekort aan elektronen en in de andere bol een steeds groter overschot. Hierdoor ontwikkelt zich een zeer groot potentiaalverschil tussen deze twee bollen. Wanneer dit verschil groot genoeg is, slaat er een vonk over (zie *Algemene theorie*).

Ter verduidelijking van het hierboven beschreven proces zullen wij een voorbeeld geven met een illustratie:



Stel een sector van kant A ontvangt toevallig uit de lucht een negatieve lading (zie figuur a). Hij induceert in de sectoren van kant B waar hij langs draait een ladingsscheiding, waarbij de kant van de sector gericht naar de schijf positief is en de kant naar buiten negatief (zie figuur b). Als de sector van kant B zich bij het borsteltje B1 bevindt wanneer hij geïnduceerd wordt, staat de sector wegens zijn ladingsscheiding elektronen af aan het borsteltje. Hierdoor wordt hijzelf positief geladen (zie figuur b en c).

Deze positieve sector van kant B heeft het tegenovergestelde effect op de sectoren van kant A als de eerste negatieve sector van kant A op de sectoren van kant B.

Op het moment dat het borsteltje B1 elektronen opnam ontstond in de dwarsconductor van kant B een overschot van elektronen en gaf borsteltje B2 elektronen af aan de daar aanwezige sector. Deze is nu dus negatief.

Omdat onder invloed van de positieve sector van kant B A1 elektronen heeft afgegeven aan een sector van kant A, is er in de dwarsconductor van kant A een tekort aan elektronen ontstaan. Hierdoor én door het feit dat de door B2 negatief geladen sector van kant B een ladingsscheiding induceert in de sector van kant A bij borsteltje A2, neemt A2 elektronen op.

Door dit doorgaande effect van influentie zijn uiteindelijk de sectoren van kant A tussen borsteltje A1 en kam D negatief geladen, evenals de sectoren van kant B tussen borsteltje B2 en kam D. De sectoren van kant A tussen borsteltje A2 en kam C zijn positief geladen, net zoals de sectoren van kant B tussen borsteltje B1 en kam C. (Zie figuur d)

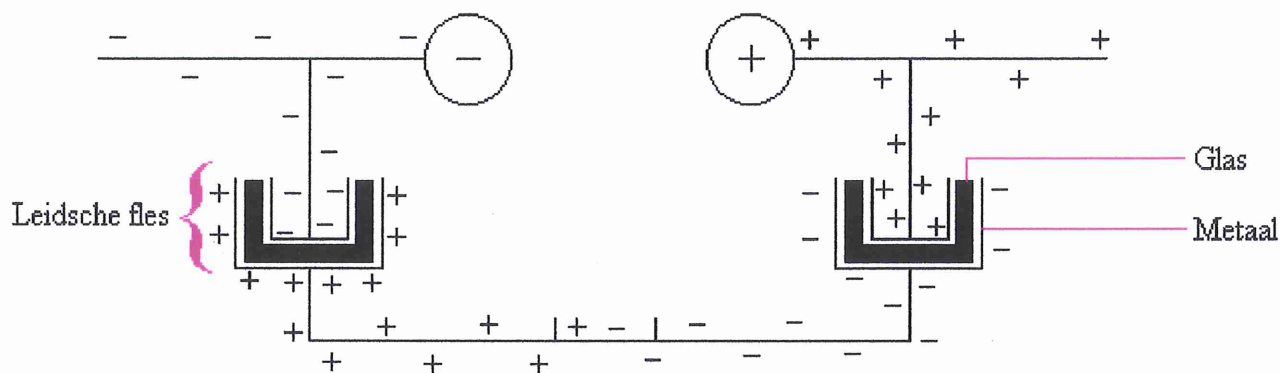
Bij de kammen wordt zoals eerder beschreven hun lading "afgevangen", waardoor ze weer neutraal zijn, om vervolgens bij het eerstvolgende borsteltje weer geladen te worden.

Bij dit voorbeeld zou de bol, verbonden met kam C, positief worden en de bol, verbonden met kam D, negatief.

Hieronder zullen we de werking van de Leidsche flessen beschrijven⁵.

Een Leidsche fles bestaat uit een aan de onderkant gesloten glazen cilinder. Zowel aan de binnen- als aan de buitenkant is hij bekleed met metaal. Er loopt een metalen verbindingsstuk vanaf de kam naar en in de Leidsche fles, deze raakt de metalen bekleding op de bodem van de cilinder. Aan de bovenkant van de cilinder, rondom de metalen “toevoerstaaf”, bevindt zich een schijf van kurk. Deze dient om verlies van lading door de lucht te voorkomen. Het deksel op de Leidsche fles zorgt slechts voor het tegenhouden van vuil.

De twee Leidsche flessen van de elektriseermachine zijn niet alleen door geleidend materiaal met de bollen en de kammen verbonden, maar ook met elkaar.



Tijdens het werken van de elektriseermachine stromen in onze tekening vanaf de rechterkant de elektronen weg uit de kam de lucht in. Als gevolg worden de rechterbol, de “toevoerstaaf” en de binnenkant van die Leidsche fles positief. De lading in de bol en de Leidsche fles is even groot. Door de *positieve* lading van de binnenkant van deze Leidsche fles, worden de *negatieve* elektronen aangetrokken vanuit het verbindingsstuk tussen de twee Leidsche flessen en dus ook de buitenkant van de Leidsche fles aan de linkerkant. Deze elektronen komen terecht in de buitenkant van de Leidsche fles aan de rechterkant.

Tegelijkertijd is er aan de linkerkant een toevoer van elektronen via de kam. Doordat de binnenkant van deze Leidsche fles negatief geladen wordt, worden de elektronen aan de buitenkant afgestoten. Deze gaan via het verbindingsstuk tussen de twee Leidsche flessen naar de Leidsche fles aan de rechterkant. De werkingen van de beide Leidsche flessen versterken elkaar dus.

Doordat de Leidsche flessen en de bollen als condensatoren werken, duurt het langer voordat er een vonk overslaat en zijn de vonken groter. De aangevoerde lading uit de kammen verdeelt zich namelijk over de bollen en de Leidsche flessen, waardoor het langer duurt voordat de spanning over de bollen die nodig is om een vonk over te laten slaan, bereikt is. De bollen zijn parallel geschakeld met de Leidsche flessen; de Leidsche flessen zelf zijn in serie geschakeld. De capaciteit van de vervangingscondensator bij seriegeschakelde condensatoren valt te berekenen met de formule: $1/C_v = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots$. De capaciteit van de vervangingscondensator bij parallelgeschakelde condensatoren is: $C_v = C_1 + C_2 + \dots$. Het blijkt dus dat als men condensatoren parallel schakelt, de vervangingscapaciteit groter wordt dan de capaciteiten van elk van de condensatoren. Hierdoor moet er over het geheel meer lading worden verplaatst naar de condensatoren voordat zij beide ontladen. Op het moment dat de vonk overspringt en de bollen hun lading afgeven, geven ook de Leidsche flessen hun lading af, waardoor er meer lading verplaatst en de vonk dikker wordt.

⁵ “Jongen en electriciteit” pagina 40-42, Morgan en Sims

“Tot de vonken eraf vliegen” pagina 21-22, TNO

“Leerboek der natuurkunde en van hare voornaamste toepassingen” pagina 189-190,195, Bosscha

“Inleiding in de natuurkunde” pagina 21-24, Van Alphen, Dorsman en Oosthuizen

Onderzoeksvraag:

- ❖ Wat is het verband tussen de frequentie van de schijven van de inductie-elektriseermachine van Wimshurst en het aantal vonken per minuut dat overspringt tussen de bollen van deze elektriseermachine, die ingesteld zijn op een bepaalde afstand?
- ❖ Wat is het verband tussen de afstand tussen de bollen van de elektriseermachine en het aantal vonken per minuut dat overspringt tussen de bollen bij verschillende frequenties?



Gidsexperiment:

Vragen:

1. Is het mogelijk om het experiment met de elektriseermachine van school op school uit te voeren?
2. Is het mogelijk om de draaisnelheid te controleren met een stopwatch?
3. Is het mogelijk om de draaisnelheid constant te houden?

Werkwijze:

1. We hebben een aantal dagen geprobeerd de schoolelektriseermachine op school in werking te stellen in de ruimte achter lokaal 2 en in lokaal 2. Ook keken we of de omstandigheden hier enigszins constant waren.
2. Terwijl één de schijven van de elektriseermachine draaide en op de stopwatch keek, probeerde zij te bepalen hoe vaak de zwengel rondging in één minuut. Hiermee kon de draaisnelheid bepaald worden. Dit mocht slechts een persoon uitvoeren, aangezien de ander het aantal vonken per minuut moest bepalen.
3. Eén persoon probeerde door op de stopwatch te kijken en tegelijk te draaien, de tijd van één rondje van de zwengel constant te houden.

Antwoorden:

1. Het bleek dat de elektriseermachine het de ene keer wel deed en de andere keer niet; de vochtigheidsgraad en temperatuur waren zeer variabel. De sectoren waren ook versleten en de rubberen aandrijfband liep steeds van het wielje van de zwengel af. Het was onmogelijk om met de schoolelektriseermachine op school ons experiment uit te voeren.
2. Het was onmogelijk om met een stopwatch precies het aantal rondjes per minuut te bepalen; er waren teveel factoren om op te letten.
3. Aangezien punt 2 al onuitvoerbaar bleek, was het totaal onmogelijk om met behulp van een stopwatch de draaisnelheid constant te houden.

Oplossingen:

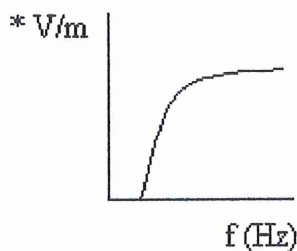
1. We hebben contact opgenomen met het Teylers Museum, omdat we wisten dat er op dat moment een tentoonstelling over elektriseermachines was. Het bleek dat wij hier onder redelijk constante omstandigheden met een goede geleende elektriseermachine ons experiment konden uitvoeren.
2. We besloten in plaats van een stopwatch een stroboscoop te gebruiken. Hiermee bleek het mogelijk te zijn de draaisnelheid te bepalen door deze op de elektriseermachine te richten en de hoogste stroboscoopfrequentie op te zoeken waarbij de sectoren stil leken te staan.
3. Met behulp van de stroboscoop konden we ook de draaisnelheid constant houden. Degene die draaide probeerde zo goed mogelijk de sectoren stil te laten staan (zij kon de sectoren van de achterkant waarnemen als “schaduwen”)

Extra opmerking:

Toen we ontdekten dat we de draaisnelheid met behulp van een stroboscoop constant konden houden, hebben we geprobeerd wat de hoogst en laagst mogelijke stroboscoopfrequenties waren die we constant konden houden; dit bleken 50 Hz en 200 Hz te zijn.

Hypothese:

❖ We verwachten dat als we met een hogere frequentie gaan draaien, het aantal vonken per minuut zal toenemen. Wij denken dit omdat de sectoren sneller lading transporteren van de dwarsconductors naar de kammen, waardoor de doorslagspanning tussen de bollen eerder wordt bereikt. We verwachten dat dit verband aanvankelijk rechtevenredig is (want als er twee keer zo hard gedraaid wordt, wordt de lading ook twee keer zo snel getransporteerd), maar dat het aantal vonken bij het stijgen boven een bepaalde frequentie steeds minder zal toenemen en uiteindelijk een maximum zal bereiken. De grafiek zal dus eerst een stijgende rechte lijn zijn, die begint in een punt op de x-as iets rechts van de oorsprong. Later denken we dat hij afvlakt en uiteindelijk horizontaal gaat lopen.



* Het aantal vonken per minuut

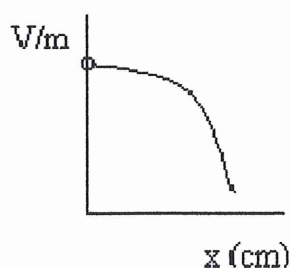
Waarschijnlijk kunnen we het beginpunt van de grafiek niet meten, aangezien uit het gidsexperiment is gebleken dat we niet langere tijd betrouwbaar kunnen draaien met een lagere stroboscoopfrequentie dan 50 Hz. Hetzelfde geldt voor het maximum aantal vonken per minuut, aangezien de hoogst betrouwbare frequentie 200 Hz bleek te zijn.

De oorzaak van het niet in de oorsprong liggen van het beginpunt van de grafiek, is volgens ons het feit dat lading altijd langzaam uit een geladen voorwerp in de lucht wegvloeit. Doordat de schijf zo langzaam draait, duurt het langer voordat de sectoren bij de kammen zijn of tussen de bollen een zodanige spanning is opgebouwd dat er een vonk kan overslaan. In deze tijd kunnen bijvoorbeeld de sectoren of de bollen relatief veel lading verliezen aan de lucht, zodat de doorslagspanning nooit wordt bereikt.

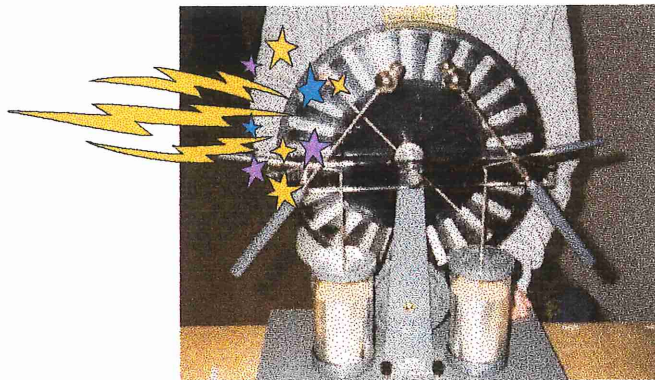
De afvlakking van de grafiek is volgens ons te wijten aan het feit dat de kammen een soort maximale capaciteit hebben om elektronen op te nemen of af te geven. De sectoren zijn dan na het passeren van de kam nog geladen, waardoor het gehele proces van influentie iets verstoord wordt. Hierdoor wordt door sneller draaien dus niet *meer* lading naar de bollen getransporteerd.

❖ We denken dat als de afstand tussen de bollen toeneemt, het aantal vonken per minuut afneemt. De spanning die nodig is om een vonk over te laten slaan, neemt namelijk rechtevenredig toe met de afstand tussen de bollen (de doorslagspanning is namelijk gedefinieerd als spanning/afstand).

We denken echter niet dat het verband tussen de afstand tussen de bollen en het aantal vonken per minuut omgekeerd rechtevenredig is. Immers, wanneer de afstand toeneemt, moet de spanning om een vonk over te laten slaan hoger zijn, dus het duurt langer voordat deze bereikt is. Hierdoor kan er meer verlies van lading optreden, waardoor het weer langer duurt voordat de vereiste spanning bereikt is. De grafiek zal er dus volgens ons als volgt uit zien:



(Bij $x=0$ cm springen er geen vonken over, maar loopt de lading gelijk van de ene naar de andere bol; dit punt geven wij dus met een open rondje weer.)
Bij een hogere frequentie zal de grafiek hoger lopen. Met dezelfde toename van frequentie zal de y-waarde van het beginpunt van de grafiek steeds met dezelfde waarde toenemen, aangezien dan, naar onze verwachting, het verschil in ladingverlies ook even groot zal zijn.

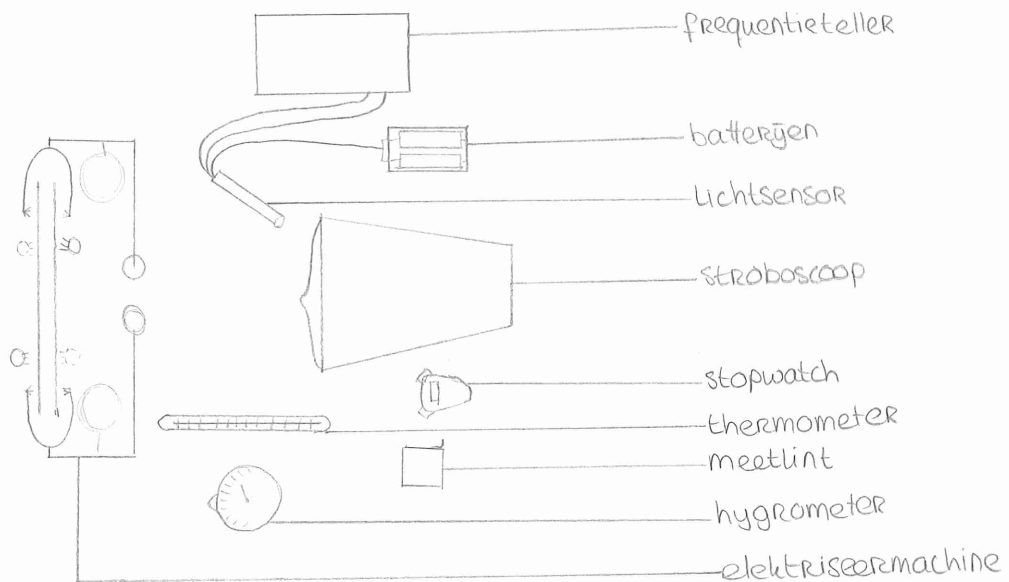


Werkwijze:

Benodigdheden:

- ◆ elektriseermachine
- ◆ stroboscoop
- ◆ stopwatch
- ◆ meetlint
- ◆ frequentieteller
- ◆ lichtsensor
- ◆ batterijen van 1,5 V type R20
- ◆ thermometer
- ◆ hygrometer

Opstelling:



Methode:

Gedurende alle proeven waren de Leidsche flessen ingeschakeld om minder en grotere vonken te krijgen, zodat ze goed te tellen waren.

❖ Eerst stelden we met het meetlint de afstand tussen de bollen op de plaats waar de vonk overslaat in op 2,5 cm, omdat dit een afstand was waarbij het aantal vonken, dat in een minuut oversloeg, redelijk te tellen was. We registreerden de vochtigheidsgraad en de temperatuur. Vervolgens stelden wij de stroboscoop in op 25 Hz. Bij deze proef hadden wij nog geen idee van het bestaan van een frequentieteller, dus wij vertrouwden op de schaal van de stroboscoop. Later bleek dat deze aardig klopte.

Eén persoon draaide aan de zwengel van de elektriseermachine met die snelheid dat de sectoren voor het eerst stil leken te staan; alle frequenties waarbij wij maten waren namelijk veelvoud van 25 Hz. Voor 50 Hz draaiden we sneller tot de sectoren voor de tweede maal stil leken te staan, voor 75 Hz tot de sectoren voor de derde maal stil leken te staan, enz.

Als we de juiste frequentie bereikt hadden, stelden we de stroboscoop ook op deze frequentie in. Dan wisten we zeker dat we de juiste frequentie hadden.

Daarna turfde de ander één minuut lang het aantal vonken dat oversloeg. Aangezien de laatste vonk vaak niet precies in de zestigste seconde oversloeg, noteerde zij de seconde waarin dit wel gebeurde.

Deze meting werd vier keer uitgevoerd bij de frequenties: {50 Hz, 75 Hz, ..., 200 Hz}.

❖ Bij de tweede proef hebben we gemeten bij verschillende afstanden tussen de bollen, beginnend bij 0,5 cm, met steeds een tussenstap van 0,5 cm en olopend tot er bij geen van onze frequenties nog vonken oversprongen.

Bij deze proef stelden we de frequentie op een andere manier in dan bij de eerste proef. Hier maakten wij namelijk wel gebruik van een frequentieteller. We sloten de lichtsensor aan op de batterijen en de frequentieteller en richtten de lichtsensor op de stroboscoop. Vervolgens stelden wij de gewenste frequentie op de stroboscoop in door deze af te lezen op de frequentieteller. Toen begon degene die draaide vanaf stilstand de snelheid van de schijven op te voeren totdat de sectoren voor het eerst stil leken te staan; dit duidde op de gewenste frequentie. De frequenties waarbij wij maten, waren 50, 100, 150 en 200 Hz.

We maten op dezelfde manier het aantal vonken per minuut als hierboven beschreven.

Bij elke afstand maten wij vier keer het aantal vonken per minuut bij alle vier de frequenties; pas daarna veranderden wij de afstand tussen de bollen weer. Hierdoor spaarden wij tijd en was het zeker dat de afstanden waarbij wij maten bij elke frequentie gelijk bleef.

De frequentie van de stroboscoop (f_{stro}) kan op de volgende manier omgerekend worden naar de frequentie van de schijven (f_{schijf}) van de elektriseermachine: we hebben het aantal sectoren op een schijf geteld; dit waren er 26.

De tijd die een sector er over doet om op de plaats van de volgende sector te komen, is $1/\text{aantal sectoren}$ keer zo klein als de tijd die de schijf nodig heeft om één rondje te draaien.

In ons geval is dus de f_{schijf} 26 keer zo klein als de f_{stro} .

De formule die wij hieruit hebben afgeleid is $f_{\text{schijf}} = f_{\text{stro}}/\text{aantal sectoren}$

Een rekenvoorbeeld:

$$f_{\text{stro}} = 100 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{schijf}} = f_{\text{stro}}/\text{aantal sectoren} = 100/26 = 3,85 \text{ Hz}$$

Wij vermelden echter in ons gehele verslag de frequentie van de stroboscoop, aangezien dit de grootte is waarmee wij hebben gemeten, dit mooiere getallen zijn dan de frequentie van de schijven en de frequentie van de schijven de verbanden die wij onderzocht hebben niet verduidelijken t.o.v. de frequentie van de stroboscoop.

Voor de tabellen hebben wij het aantal vonken in de gemeten tijdsduur omgerekend naar het precieze aantal vonken per minuut om eerlijk te kunnen vergelijken. Wij hebben dus het aantal geturfde vonken gedeeld door de gemeten tijd en dat getal vervolgens vermenigvuldigd met 60 (seconden).

Resultaten:

Toelichting bij de tabellen en grafieken:

In de bijlage hebben we de tabel van het aantal vonken per minuut bij verschillende frequenties en de tabellen van het aantal vonken per minuut bij verschillende afstanden en frequenties opgenomen. In ons verslag hebben we de waarden van het gemiddelde aantal vonken per minuut, uitgerekend in de bijlage, in tabellen weergegeven.

We hebben de volgende symbolen gebruikt:

H = vochtigheidsgraad

T = temperatuur

x = afstand tussen de bollen

In de bijlage bedoelen we met “Tellingen” het aantal vonken dat oversprong in de tijdsduur, vermeld onder het kopje “Tijd”.

In de grafieken van het aantal vonken per minuut bij verschillende afstanden en frequenties hebben we de meetpunten bij 3,0 cm genegeerd, omdat we hier waarschijnlijk zijn vergeten de afstand tussen de bollen te veranderen.

We hebben geprobeerd de grafieken van het aantal vonken per minuut bij verschillende afstanden en frequenties “recht te trekken”, door $\log x$, x^{-1} , x^2 , x^3 tegen het aantal vonken per minuut uit te zetten. Hier kwamen echter geen zinnige resultaten uit en wij hebben deze dus niet in ons verslag verwerkt.

Tabellen:

Tabel van het gemiddelde aantal vonken per minuut bij verschillende frequenties

Voor deze tabel geldt: H = 65%
 T = 17° C
 x = 2,5 cm

Frequentie (Hz)	Gem. vonken/min.
50,0	7,8
75,0	13,8
100,0	22,5
125,0	34,3
150,0	39,1
175,0	47,6
200,0	54,0

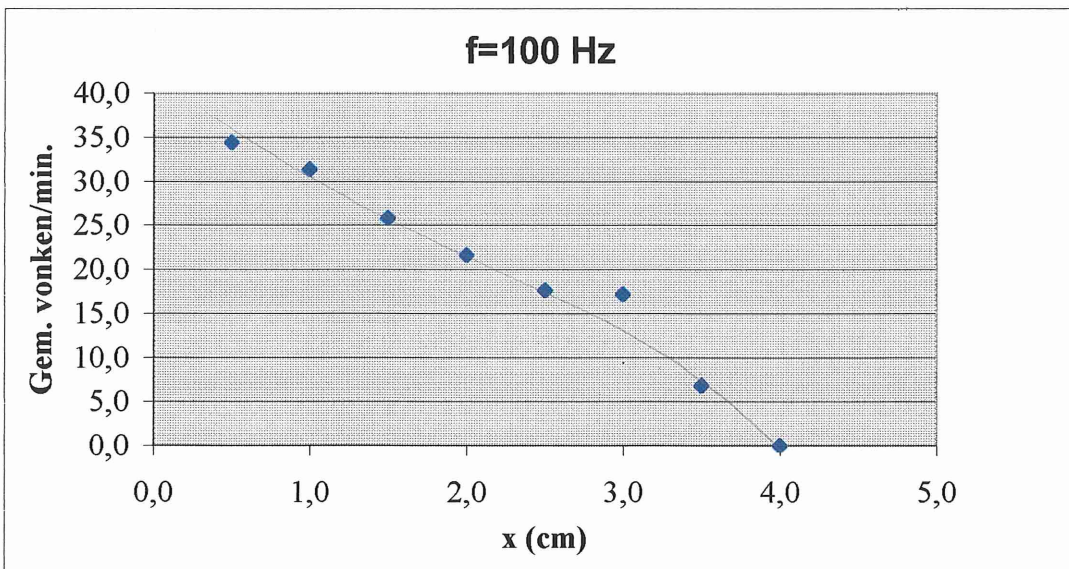
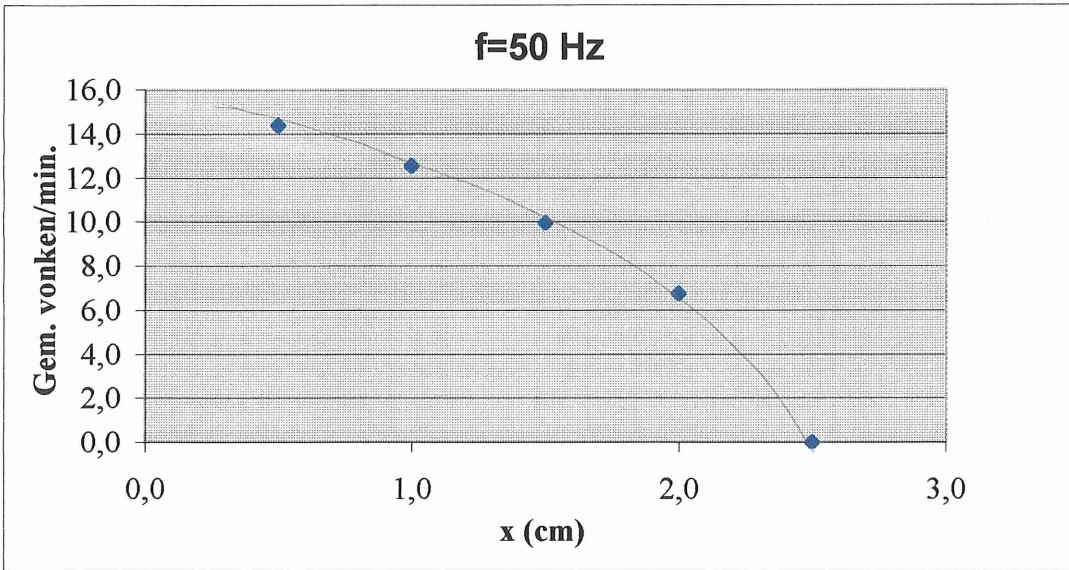
Tabel van het gemiddelde aantal vonken per minuut bij verschillende afstanden en frequenties

Voor deze tabel geldt: H = 62%
 T = 15° C

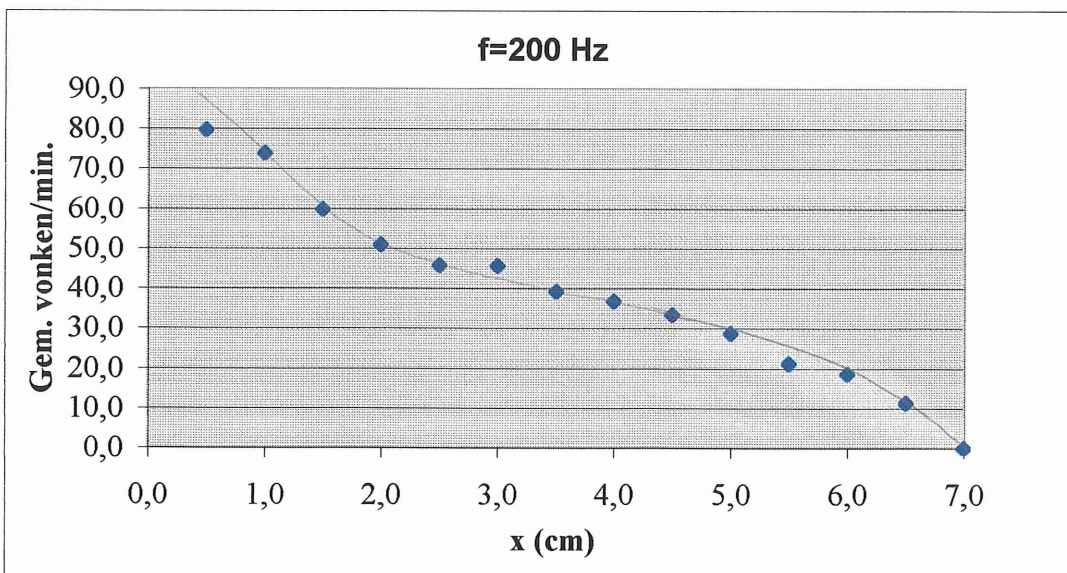
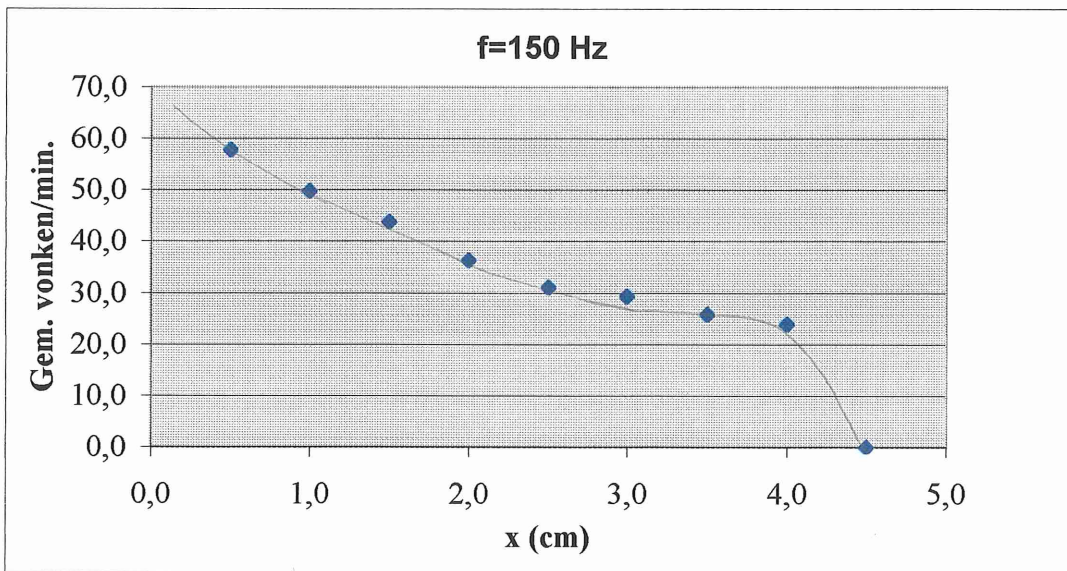
Afstand (cm)	Gem. aantal vonken per minuut bij deze frequenties			
	50 Hz	100 Hz	150 Hz	200 Hz
0,5	14,4	34,4	57,8	79,8
1,0	12,5	31,4	49,8	74,0
1,5	10,0	25,8	43,8	59,8
2,0	6,7	21,6	36,3	51,0
2,5	0,0	17,6	31,1	45,8
3,0	xxx	17,1	29,4	45,6
3,5	xxx	6,8	25,8	39,2
4,0	xxx	0,0	23,9	36,8
4,5	xxx	xxx	0,0	33,4
5,0	xxx	xxx	xxx	28,7
5,5	xxx	xxx	xxx	21,2
6,0	xxx	xxx	xxx	18,7
6,5	xxx	xxx	xxx	11,5
7,0	xxx	xxx	xxx	0,0

Grafieken:

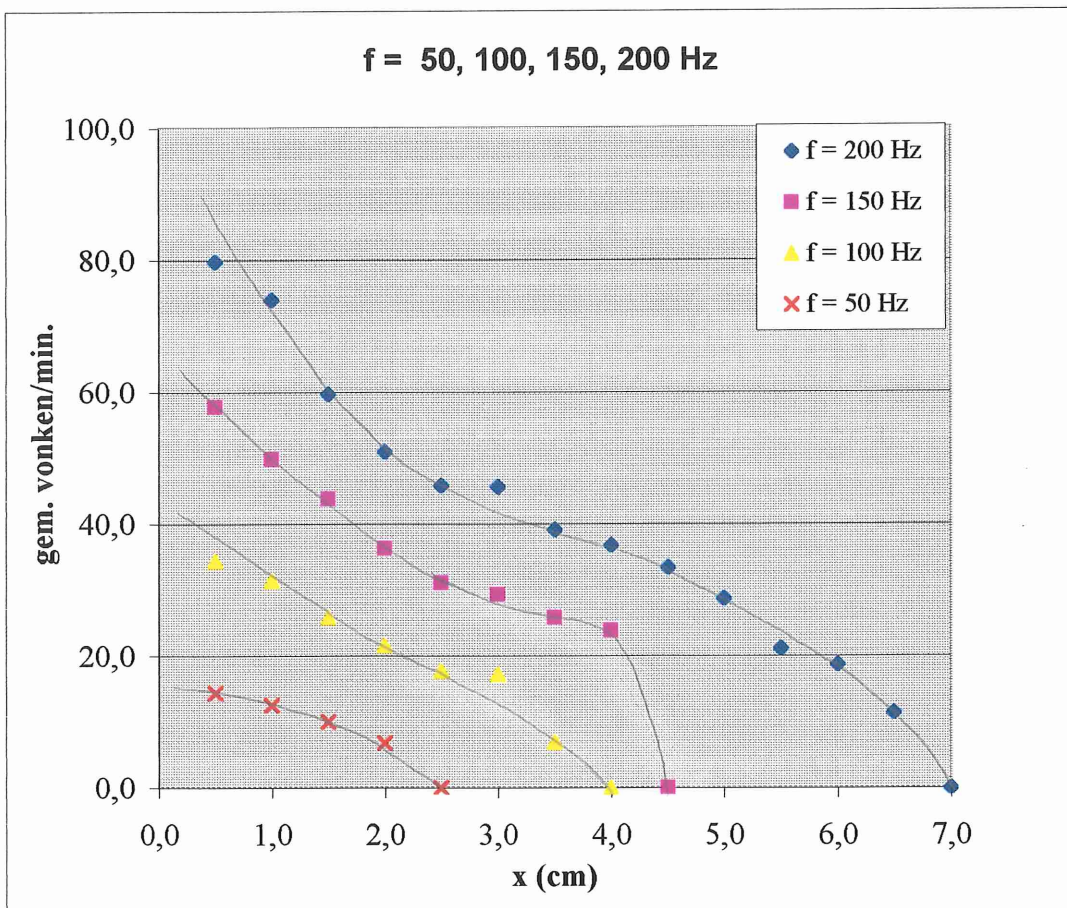
Grafieken van het aantal vonken per minuut bij verschillende afstanden (x) en frequenties (f)



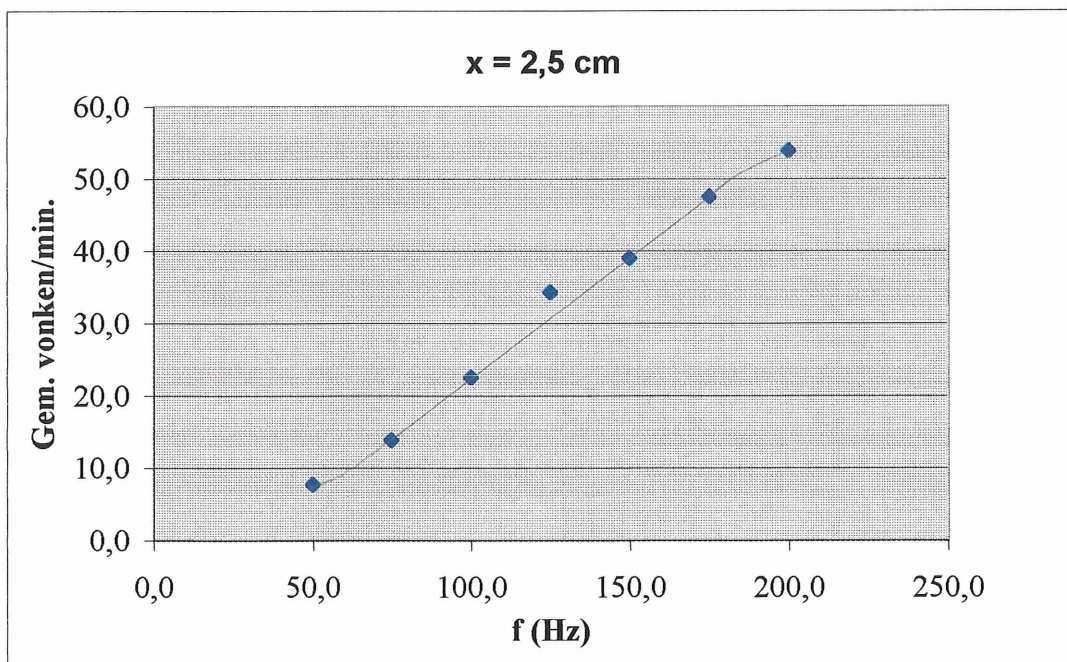
Grafieken van het aantal vonken per minuut bij verschillende afstanden (x) en frequenties (f)



Overzichtsgrafiek van het aantal vonken per minuut bij verschillende afstanden en frequenties



Grafiek van het aantal vonken per minuut bij verschillende frequenties en een constante afstand



Conclusie:

❖ Het begin van de grafiek van het aantal vonken per minuut bij verschillende frequenties en een afstand tussen de bollen van 2,5 cm lijkt een toenemende helling te hebben. Dit zou kunnen komen doordat het ladingsverlies aan de lucht (zie *Hypothese*) in het begin een grote rol speelt, maar later een kleinere. Hierdoor zou de grafiek wel in de oorsprong kunnen beginnen, in tegenstelling tot wat wij in de hypothese veronderstelden.

Het onderzochte verband blijkt inderdaad tussen de stroboscoopfrequenties 75 Hz en 175 Hz rechtevenredig te zijn. Dit komt doordat de doorslagspanning uitgedrukt wordt door de spanning over de bollen voor een vonkoverslag gedeeld door de afstand tussen de bollen. Hier spelen noch ladingsverlies aan de lucht, noch maximale capaciteit van ladingsovername van de kammen een waarneembare rol.

De grafiek lijkt tussen 175 Hz en 200 Hz (stroboscoopfrequentie) iets af te vlakken, maar aangezien wij niet bij hogere frequenties konden meten, kunnen wij niet met zekerheid vaststellen of dit punt bij 200 Hz niet slechts enigszins afwijkt van de rechte lijn. Als de grafiek wel afvlakt, valt dit, overeenkomstig onze hypothese, te verklaren door het feit dat er een maximale snelheid van "ladingsopname" door de kammen wordt bereikt.

❖ Op het moment dat het ladingsverlies aan de lucht even groot is als de ladingstoevoer, verhoogt de spanning niet meer en slaan er geen vonken over. Bij 50 Hz slaan er bij 2,5 cm tussen de bollen al geen vonken meer over, bij 100 Hz bij 3,5 cm, bij 150 Hz bij 4,5 cm en bij 200 Hz pas bij 6,5 cm. Bij hogere frequenties is het ladingsverlies aan de lucht namelijk kleiner (zie *Hypothese*) en kan er over een grotere afstand een vonk overslaan.

De grafieken van het aantal vonken per minuut bij verschillende afstanden en bij de stroboscoopfrequenties van 50 en 100 Hz lopen zoals wij hadden verwacht. Ze vertonen een kromming naar beneden, die waarschijnlijk veroorzaakt wordt doordat bij een grotere afstand tussen de bollen het ladingsverlies aan de lucht groter is, omdat de tussentijd tussen twee vonken groter is.

De grafieken bij 150 en 200 Hz vertonen echter een afwijkende vorm.

De grafiek bij 200 Hz is een soort S-curve. Dit zou verklaard kunnen worden doordat er bij kleine afstanden tussen de bollen de vonken zo snel achter elkaar overslaan dat de bollen en de Leidsche flessen zich niet geheel kunnen ontladen. Daardoor is het aantal vonken per minuut nog hoger dan men zou verwachten. Naarmate de afstand tussen de bollen groter wordt, wordt dit effect minder, dus de grafiek gaat minder steil lopen. Hierna krijgt de grafiek een soort buigpunt, aangezien de kromming bij grotere afstanden andersom is. Dit wordt weer net als bij de grafieken bij 50 en 100 Hz veroorzaakt door ladingsverlies aan de lucht.

We zouden verwachten dat de grafiek bij 150 Hz zich hetzelfde gedraagt. Deze lijkt echter geen S-curve te zijn. Maar naar ons oordeel liggen de laatste twee of drie punten te hoog, ook omdat anders dan bij de andere grafieken het laatste meetpunt bij ongeveer 25 vonken ligt. Dit zou wel op een S-curve wijzen, dit hebben wij echter niet meer kunnen controleren.

Men kan veronderstellen dat over het algemeen de grafiek van het aantal vonken per minuut bij verschillende afstanden bij elke frequentie een S-curve is. De reden hiervoor is dat bij zeer kleine afstand tussen de bollen de grafieken naar oneindig lopen en bij grote afstanden snel dalen naar nul; bij zeer kleine afstanden kan de lading namelijk direct "doorstromen" en bij grote afstanden treedt er ladingsverlies op.

Bij lage frequenties loopt de grafiek slechts bij *zeer* kleine afstand naar oneindig, want daarna is het aantal vonken per minuut al zo klein dat de bollen wel geheel kunnen ontladen in de tussentijd. De S-curve is dus niet zichtbaar.

Verschijnselen:

Wat gebeurt er met een balletje met aluminiumfolie tussen de bollen?

Hypothese:

We denken dat als het balletje niet precies midden tussen de twee bollen hangt wanneer deze geladen zijn, het door influentie (zie *Algemene theorie*) door één van beide bollen wordt aangetrokken; op het moment dat het deze raakt, wordt het geladen doordat de al geladen bol van de elektriseermachine elektronen afgeeft aan of opneemt van het geleidende balletje.

Hierna stoten de bol en het balletje elkaar af, waardoor het balletje naar de andere bol beweegt, door welke het wordt aangetrokken.

Zodra het deze raakt, wordt het weer tegengesteld geladen aan de lading die het hiervoor had en beweegt het andermaal naar de andere bol, enzovoorts. Het resultaat zal dan zijn dat het balletje snel heen en weer beweegt tussen de twee geladen bollen.

Als het balletje precies in het midden van de bollen hangt, zal het niet gaan bewegen, omdat het naar beide kanten even sterk wordt aangetrokken. Tussen de bollen heerst namelijk geen homogeen veld, behalve misschien precies op het kortste verbindingslijnstuk tussen de twee bollen. Dit is echter zo smal dat het balletje zich voornamelijk in het heterogene gedeelte van het veld bevindt. (zie voor tekening *Algemene theorie*)

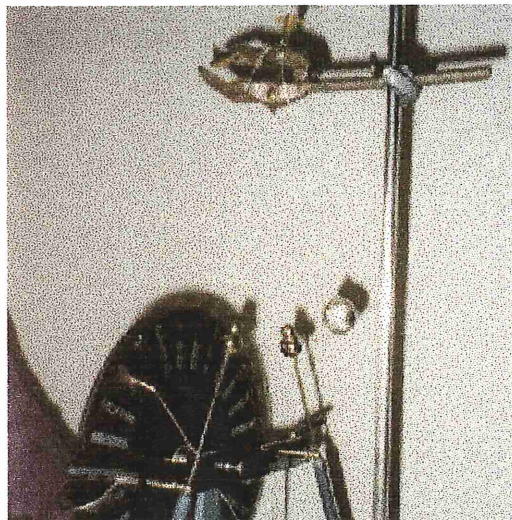
Werkwijze:

Benodigdheden:

- ◆ elektriseermachine
- ◆ statief
- ◆ touwtje
- ◆ pingpongballetje in aluminiumfolie gewikkeld
- ◆ plakband

Methode:

Het balletje is in aluminiumfolie gewikkeld en aan het touwtje bevestigd door een plakbandje. Het statief was zodanig opgesteld dat als we het touwtje er aan vast maakten het balletje tussen de twee bollen hing. Vervolgens werden de schijven van de elektriseermachine in beweging gebracht en toen hebben wij het balletje geobserveerd.



Resultaten:

Het bleek praktisch onmogelijk om het balletje precies in het midden tussen de bollen te hangen. Voordat we begonnen met draaien, ging het balletje al snel heen en weer tussen de bollen. Toen we eenmaal gingen draaien, ging het balletje steeds heftiger heen en weer en op een gegeven moment schoot het uit zijn baan en ging heel hard grillige rondjes draaien om de bollen heen en tussen hen door.

Als het balletje in de buurt van de bollen kwam, schoot er geregeld een vonk over naar het balletje van één of beide bollen. Als het balletje niet in de nabijheid van de bollen was, schoot er soms een “normale” vonk over tussen de bollen. Deze vonken sprongen dus niet met een regelmatige tussentijd over.

Eén keer kregen we het voor elkaar om het balletje behoorlijk goed in het midden van de twee bollen te hangen; toen ging het pas bewegen zodra de bollen een grote lading hadden.

Conclusie:

Het balletje bleek inderdaad aangetrokken te worden door influentie als het niet precies in het midden tussen de twee bollen hing. Dit bleek praktisch altijd het geval te zijn, omdat het balletje altijd nog enigszins bewoog en het midden niet *precies* te bepalen is.

Het feit dat het balletje al heen en weer bewoog, voordat we de schijven in beweging hadden gebracht, is te verklaren doordat de bollen waarschijnlijk niet geheel ontladen waren.

Door de schijven te draaien werden de bollen steeds meer geladen, waardoor de elektrische kracht op het balletje steeds groter werd, resulterend in een grotere versnelling. Doordat het balletje steeds harder tegen de bollen botste, vloog het op een gegeven moment uit zijn baan (doordat de botsing niet helemaal loodrecht was). Door zijn grote snelheid raakt het de andere bol niet, maar maakt een cirkelbeweging waarna het weer bij de eerste bol uitkomt en ook daar, doordat het nog afgestoten wordt vanwege zijn gelijke lading, zijn cirkelbeweging volgt. Deze cirkelbeweging is zeer afhankelijk van verschillende factoren, zoals de richting van de botsing, snelheid en lading. Hierdoor is hij erg onvoorspelbaar en schiet het balletje soms tussen de bollen door.

Doordat de bollen steeds meer geladen werden, werd het potentiaalverschil tussen de bollen en het balletje steeds groter. Als gevolg hiervan kon er een vonk overslaan als de afstand tussen het balletje en de bollen kleiner was dan die tussen de bollen zelf. Als de eerstgenoemde afstand groter was, was het elektrisch veld tussen de twee bollen sterker dan tussen de bollen en het balletje en sprong er gewoon een vonk over tussen de bollen.

Wat gebeurt er met een balletje zonder aluminiumfolie tussen de bollen?

Hypothese:

Wij verwachten dat het balletje weer aangetrokken zal worden als gevolg van influentie als het niet precies midden tussen de bollen hangt. Aangezien het balletje van isolerend materiaal gemaakt is, zal er niet of nauwelijks ladingsoverdracht plaatsvinden. Het balletje zal dus niet zo hard op en neer bewegen als het balletje met aluminiumfolie.

Werkwijze:

Benodigdheden:

- ◆ elektriseermachine
- ◆ statief
- ◆ touwtje
- ◆ pingpongballetje
- ◆ plakband

Methode:

De opstelling was hetzelfde als hierboven, het enige verschil was dat het balletje deze keer niet in aluminiumfolie was gewikkeld.

Resultaten:

Als we het balletje in het midden tussen de bollen stil hingen, wat opnieuw praktisch onmogelijk bleek, ging het op een gegeven moment naar een van de twee bollen toe; dit duurde echter langer dan bij het balletje met aluminiumfolie. Het balletje ging af en toe snel om zijn as draaien en stuiterde heen en weer tussen de twee bollen. Het ging niet ronddraaien om de twee bollen zoals het balletje met aluminiumfolie deed. De vonken sloegen gewoon tussen de bollen over en als het balletje “in de weg zat”, leek het alsof de vonk in het balletje sloeg.

Conclusie:

Toen de bollen geladen werden, ontstond in het balletje een “ladingsverschuiving” (zie *Algemene theorie*) als gevolg van influentie. Deze “ladingsverschuiving” was echter minder groot dan de ladingsscheiding bij het met aluminiumfolie omwikkelde balletje, want aluminiumfolie is een geleider; hierin kan een sterkere ladingsscheiding teweeg worden gebracht doordat de elektronen vrij door de stof kunnen bewegen, wat bij een isolator niet het geval is. Als gevolg hiervan wordt het balletje door de dichtstbijzijnde bol aangetrokken. Doordat het een isolator is neemt het balletje geen of weinig (plaatselijk) lading over van de bol. Het wordt waarschijnlijk dus niet zo hard afgestoten door de bol. Het feit dat het balletje toch hard terug beweegt, verklaren wij met een proefje dat uitwijst dat een pingpongballetje goed stuitert. Dit proefje hield in dat wij een ongeladen pingpongballetje tegen de ongeladen bollen lieten botsen. Toen bleek dat het balletje ongeladen ook al vrij hard terug stuiterde. Geladen gaat het balletje natuurlijk wel harder heen en weer, omdat het balletje ook weer d.m.v. influentie op een gegeven moment door de andere bol wordt aangetrokken. Doordat het balletje maar zeer plaatselijk is geladen, wordt alleen dat puntje afgestoten of aangetrokken, waardoor het balletje een draaibeweging om zijn as krijgt. Omdat het ongeladen balletje geen elektrisch veld heeft, beïnvloedt het de snelheid van de ionen in de lucht niet en springen de vonken gewoon tussen de bollen over. Als het balletje zich toevallig op dat moment tussen de bollen bevond, werden er op de plaats van het balletje geen ionen gerecombineerd met elektronen en kan daar geen vonk worden waargenomen. Het lijkt dus alsof de vonk in het balletje slaat, maar in werkelijkheid wordt hij gewoon plaatselijk onderbroken door het balletje.

Wat is de invloed van hout tussen de bollen op het aantal vonken per minuut?

Hypothese:

Volgens ons zullen de vonken sneller gaan overspringen, omdat op de plaats waar het hout zich bevindt geen ionisatie en recombinate hoeft plaats te vinden. Hierdoor zal er eerder een “pad” door de lucht geïoniseerd worden. Wij verwachten dat dit “pad” wel dezelfde route als zonder hout tussen de bollen zal volgen, omdat het elektrisch veld hier nog steeds het sterkst is.

Als het hout weggehaald en de afstand tussen de bollen verkleind zou worden met de dikte van dat stukje hout, zou dit zelfde stukje lucht ook niet geïoniseerd hoeven worden. Maar toch denken wij dat de tussentijd tussen de overspringende vonken in dit geval nog kleiner wordt, omdat de deeltjes in de lucht nu niet geremd of gehinderd worden.

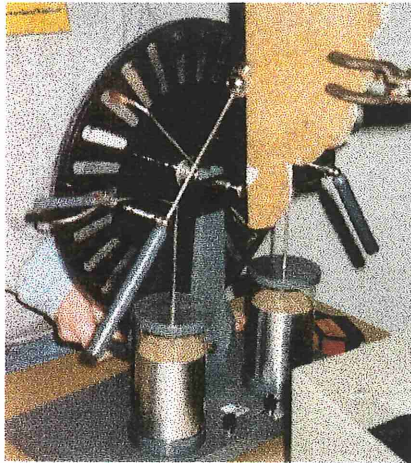
Werkwijze:

Benodigdheden:

- ◆ elektriseermachine
- ◆ stroboscoop
- ◆ stopwatch
- ◆ meetlint
- ◆ statief + klem
- ◆ 2x hout met dikte 0,9 cm

Method:

Om te beginnen maten we twee keer het aantal vonken per minuut zonder dat het hout tussen de bollen aanwezig was. De afstand tussen de bollen was 4,0 cm, de frequentie van de stroboscoop was 125 Hz, de vochtigheidsgraad was 69% en de temperatuur was 17° C. Vervolgens klemden we één plankje hout van 0,9 cm in de statiefklem en zetten deze zodanig neer dat het plankje zich precies in het midden van de twee bollen bevond. We maten opnieuw twee keer het aantal vonken per minuut onder verder dezelfde omstandigheden. Hierna klemden we allebei de plankjes tegen elkaar in de klem en herhaalden de metingen. Daarna verminderden we de afstand tussen de bollen met de dikte van eerst één plankje hout (waardoor de afstand 3,1 cm werd) en vervolgens met de dikte van twee plankjes (afstand: 2,2 cm). Wederom voerden wij dezelfde metingen uit.



Resultaten:

Tabel van het gemiddelde aantal vonken per minuut bij verschillende omstandigheden:

Afstand (cm)	Gem. aantal vonken per minuut		
	zonder hout	met 1 hout	met 2 hout
4,0	16,5	19,4	23,0
3,1	19,4	xxx	xxx
2,2	22,5	xxx	xxx

Ter vergroting van de duidelijkheid hebben we in de tabel de gemiddelden van de metingen weergegeven.

Hoe meer hout tussen de bollen aanwezig is, hoe sneller de vonken overspringen. Als de afstand gereduceerd wordt met de dikte van het hout, is het aantal overspringende vonken hetzelfde als met het hout.

Conclusie:

Onze hypothese klopt deels; het is inderdaad waar dat de vonken sneller overspringen als er hout tussen de bollen aanwezig is, doordat het “pad” dat geïoniseerd moet worden korter is en de vonken dus eerder over kunnen springen.

Het aantal vonken per minuut is echter *gelijk* als de afstand tussen de bollen gereduceerd wordt met de dikte van het hout. Waarschijnlijk is de remming van de deeltjes door het hout zo gering dat dit geen invloed heeft op de snelheid waarmee het “pad” geïoniseerd wordt.

Wat is het effect als de bollen zich in water bevinden?

Hypothese:

We verwachten dat er kleine vonkjes door het water zullen gaan, omdat de doorslagspanning van water volgens ons kleiner is dan die van lucht. Hierdoor hoeft de spanning minder hoog te worden om een vonk over te laten slaan. Aangezien de lading die opgeslagen is in de Leidsche flessen even groot is als die in de bollen, zal bij de ontlading van de bollen een kleinere “stroom” uit de Leidsche flessen komen en dus zal de vonk kleiner zijn.

Werkwijze:

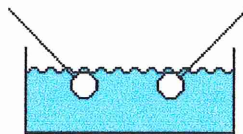
Benodigdheden:

- ◆ elektriseermachine
- ◆ plastic bakje
- ◆ kraanwater

Methodes:

We hebben de bollen van de elektriseermachine naar beneden gericht, zodat we ze in het bakje water konden dompelen. Terwijl we het bakje water op de juiste hoogte vasthielden, brachten we de schijven in beweging en bekeken wat er gebeurde.

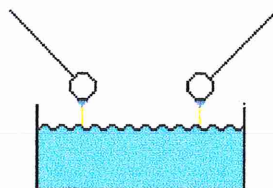
Vervolgens hielden we de bollen (nat) boven het water om de effecten te observeren.



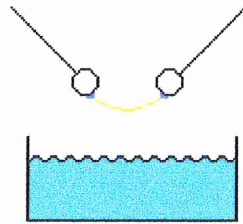
Resultaten:

Toen we de bollen in het water hielden, gebeurde er niets waarneembaars.

Als we de bollen (nat) boven het water hielden, sprongen er hele kleine vonkjes over naar het water. Deze sprongen echter niet gewoon vanaf de bollen, maar vanaf een druppel, die onder aan de bol hing en puntvormig werd.



Als de afstand tussen de bollen en het water groter werd dan de afstand tussen de bollen onderling, sprongen er hele kleine vonkjes over via dezelfde druppeltjes tussen de bollen.



Conclusie:

Er waren geen vonkjes zichtbaar door het water, omdat kraanwater veel beter geleidt dan lucht. Daarom kan de lading direct van de ene bol naar de andere vloeien. Er wordt dus geen hoge spanning opgebouwd waarvan men de ontlading d.m.v. een vonk kan waarnemen. De watermolekulen zijn dipoolmolekulen, doordat het zuurstofatoom de bindingselektronen meer naar zich toe trekt. Hierdoor is de ene kant van het molekuul enigszins positief en de andere kant enigszins negatief. Doordat tussen de bollen een elektrisch veld heerst, worden de negatieve kanten van de watermolekulen door de positieve bol aangetrokken en de positieve kanten door de negatieve bol. Het resultaat is dat de druppels puntvormig worden en naar de veldlijnen gaan staan. Aangezien water beter geleidt dan lucht en er door de puntvormigheid van de druppels een sterk elektrisch veld heerst bij de druppels, slaan de vonken over tussen de druppels in plaats van tussen de bollen. Als de afstand tussen de druppels groter is dan tussen een druppel en het water, slaan de vonkjes over naar het water, omdat ook daar de molekulen zo zijn gedraaid dat er een sterk elektrisch veld ontstaat tussen de bollen en het water. Omdat de vonken langs een veldlijn gaan, zijn ze niet recht als ze tussen de druppels overslaan, maar gaan via een “boogje” van de ene naar de andere druppel.

Wat is de invloed van een magnetisch veld op een overspringende vonk?

Hypothese:

We denken dat de vonk naar boven of naar beneden afgebogen zal worden onder invloed van de Lorentzkracht, die ontstaat doordat geladen deeltjes bewegen in een magnetisch veld. Of de vonk naar beneden of boven afgebogen wordt, hangt af van de richting van enerzijds het magnetisch veld en anderzijds het elektrisch veld van de bollen, omdat van het laatste de bewegingsrichting van de geladen deeltjes afhangt.

Werkwijze:

Benodigdheden:

- ◆ elektriseermachine
- ◆ meetlint
- ◆ magneten 8x
- ◆ elastiekjes
- ◆ statief + klem

Methode:

Eerst keken en noteerden we een groot aantal keer of de vonken bij een afstand van 3,5 cm tussen de bollen rechtdoor, een beetje naar boven of een beetje naar beneden oversprongen, zonder dat we de magneten in de buurt hielden.

Vervolgens hebben we de acht magneten aan elkaar bevestigd door middel van de elastiekjes en ze aan het statief geklemd. We zetten het statief op zodanige afstand dat de vonken niet in de magneten sloegen; het bleek dat de afstand tussen de uiteinden van de magneten en het middelpunt tussen de bollen ongeveer twee cm was.

Weer noteerden we een groot aantal keer hoe de vonken oversprongen als we de noordpool of de zuidpool van de magneten naar de bollen gericht hielden.

Gedurende deze proef zijn we niet gestopt met draaien, zodat de bollen niet van plus en min konden wisselen (wij hebben niet onderzocht of dit anders wel mogelijk is). Zo konden we onderzoeken of de magneten daadwerkelijk invloed hadden.

Resultaten:

T = 15° C

H = 53%

R = rechtdoor

B = boven

O = onder

Tabel van de richting van de vonken (z)onder invloed van magneten:

Magneet:	R	B	O	Totaal
Zonder	73	13	12	98
Noordpool	13	46	6	65
Zuidpool	68	28	24	120

Zonder magneten gaan de meeste vonken rechtdoor, sommigen hebben een afwijkende richting. Met de Noordpool gaan veel vonken bovenlangs, bij de Zuidpool gaan veel vonken rechtdoor en hebben redelijk veel vonken een afwijkende richting.

Conclusie:

Het lijkt dat de magneten niet zoveel invloed hadden; bij de Noordpool was er wel een duidelijk effect waarneembaar, maar bij de Zuidpool niet. Dit kan op toeval berusten, het kan echter ook zijn dat de vonken niet makkelijk naar beneden afgebogen kunnen worden, aangezien de bollen eigenlijk uit een grotere bol met daarop een kleinere bol bestaan.

Misschien dat door deze vorm het elektrisch veld aan de onderkant niet regelmatig is en dit het effect van de magneet verstoort.

Als de vonk naar boven afgebogen wordt als de Noordpool naar de bollen is gericht, wijst dit erop dat de linkerbol van voren gezien positief was en de rechterbol negatief, aangezien de "stroom" dan van links naar rechts ging.

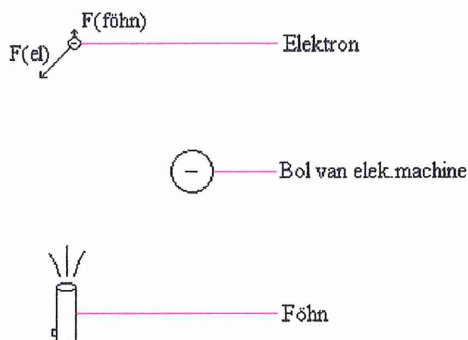
Het is ook mogelijk dat de tijdsduur van een vonk te kort is om een grote invloed van de Lorentzkracht te ondervinden of dat het magnetisch veld niet sterk genoeg was. We hadden echter geen tijd meer om het met een sterkere magneet te proberen.

Wat is de invloed van een föhn, gericht op de bollen, op het aantal vonken per minuut?

Hypothese:

We denken dat als er d.m.v. de föhn een koude luchtstroom door de bollen gericht wordt, de vonken sneller zullen overspringen. De oorzaak hiervan zou kunnen zijn dat er meer deeltjes van de lucht, waaronder geladen deeltjes, in het elektrisch veld van de bollen gebracht worden, doordat de föhn de lucht van achteren aanzuigt en van voren wegblaast. We denken

niet dat het blazen van de föhn invloed heeft op de richting van de beweging van de deeltjes, omdat de snelheid die ze krijgen in het elektrisch veld veel groter is dan de snelheid van de luchtstroom van de föhn.



Als de föhn warme lucht blaast, verwachten we dat het aantal vonken per minuut nog groter zal zijn, omdat behalve het hierboven beschreven effect ook de deeltjes harder gaan bewegen bij de hogere temperatuur van de lucht.

Werkwijze:

Benodigdheden:

- ◆ elektriseermachine
- ◆ stroboscoop
- ◆ stopwatch
- ◆ meetlint
- ◆ statief + klem
- ◆ föhn

Methode:

We hebben de föhn aan het statief geklemd en op een afstand van 8,0 cm van de bollen gezet. De afstand tussen de bollen was 2,0 cm, de frequentie van de stroboscoop was 100 Hz, de vochtigheidsgraad was 49% en de temperatuur 14,5° C.

We telden drie maal het aantal vonken per minuut dat oversloeg als de föhn geen, koude of warme lucht blies.

Resultaten:

Tabel van het gemiddelde aantal vonken per minuut bij verschillende standen van de föhn.

Stand föhn	Gem. vonken/min
Uit	32,0
Koud	38,3
Warm	40,7

Als de föhn koude lucht blies, was het aantal vonken per minuut hoger dan als hij uit was en wanneer hij warme lucht blies was het aantal vonken per minuut nog hoger.

Conclusie:

De resultaten in de tabel komen overeen met onze hypothese. Bij een koude luchtstroom was het aantal vonken per minuut hoger dan zonder luchtstroom en bij een warme luchtstroom werd dit aantal nog hoger. We houden ons aan dezelfde verklaring als in de hypothese beschreven.

Evaluatie:

Het was lastig dat we ons onderzoek niet op school konden uitvoeren, maar toch waren we blij dat het in het Teylers Museum kon. Aangezien we slechts na school en op afspraak konden meten en onze metingen veel tijd vergden, hebben we vele middagen in het Teylers Museum moeten doorbrengen.

Het was erg moeilijk om informatie over de elektriseermachine te vinden. Wij hebben drie bibliotheken afgezocht, maar hier konden wij niks vinden. Uiteindelijk moesten wij ons ook hiervoor tot het Teylers Museum wenden.

Het schrijven van het verslag kostte zoals altijd veel tijd, maar dit jaar waren wij op tijd begonnen. Doordat de samenwerking binnen ons team vrij goed is, is het geheel aardig goed verlopen. Wij hebben de taken niet verdeeld, maar alles gezamenlijk gedaan.

Dankwoord:

Wij willen het Teylers Museum en al haar medewerkers bedanken voor de mogelijkheid die ons is geboden ons onderzoek daar uit te voeren.

In het bijzonder bedanken wij de Heer M. van Hoorn, die ons zeer verdienstelijk is geweest bij het zoeken van informatie over de elektriseermachine.

Natuurlijk zijn wij alle mensen van school, die ons hebben geholpen bij ons onderzoek, ook erg dankbaar.

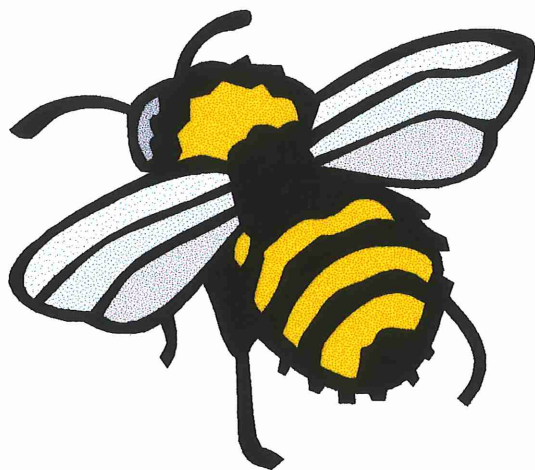


Literatuurlijst:

- “Beschrijving eener ongemeen groote electrizeer-machine, geplaatst in Teyler’s museum te Haarlem en van de proefneemingen met dezelve in ‘t werk gesteld”
Martinus van Marum
Bestaande uit drie boeken
Boek 1: 1785
Boek 2: 1787
Boek 3: 1795
- “Inleiding in de natuurkunde” deel 4
Drs. E. van Alphen, L. Dorsman en K. Oosthuizen
1^{ste} druk: 1967
- “Jongens en electriciteit”
A. P. Morgan en J. W. Sims
1^{ste} druk: 1932
- “Leerboek der natuurkunde en van hare voornaamste toepassingen”
Dr. J. Bosscha
1^{ste} druk: 1903
- “Natuurkunde op corpusculaire grondslag” deel 2
Dr. J. Schweers en Drs. P. van Vianen
1^{ste} druk: 1956
- “Natuurkunde op corpusculaire grondslag” deel 4
Dr. J. Schweers en Drs. P. van Vianen
1^{ste} druk: 1964
- “Scoop (Natuurkunde voor de bovenbouw 5/6 vwo)”
Hubert Biezeveld en Louis Mathot
1^{ste} druk: 1991
- “Tot de vonken eraf vliegen (Statische electriciteit in beweging van Teyler toen tot TNO nu)”
Centrale stafafdeling in- en externe communicatie TNO
1^{ste} druk: 1985

Bijlage

bij de inductie-elektriseermachine van Wimshurst



Caroline van Breukelen
Sandra Smit
Natuurkunde 6.3
16-1-1998

Tabellen:Tabel van het aantal vonken per minuut bij verschillende frequenties

Voor deze tabel geldt: H = 65%
T = 17° C
x = 2,5 cm

Frequentie (Hz)	Tellingen	Tijd (s)	Vonken/ min	Gem. vonken/min
50,0	7	60	7,0	
	8	60	8,0	
	8	60	8,0	
	8	60	8,0	
				7,8
75,0	14	62	13,5	
	14	61	13,8	
	14	60	14,0	
	14	60	14,0	
				13,8
100,0	23	60	23,0	
	23	62	22,3	
	23	61	22,6	
	23	62	22,3	
				22,5
125,0	35	60	35,0	
	35	60	35,0	
	35	61	34,4	
	34	62	32,9	
				34,3
150,0	40	61	39,3	
	38	60	38,0	
	41	60	41,0	
	38	60	38,0	
				39,1
175,0	48	61	47,2	
	48	61	47,2	
	48	60	48,0	
	48	60	48,0	
				47,6
200,0	55	60	55,0	
	54	60	54,0	
	53	60	53,0	
	54	60	54,0	
				54,0

Tabellen van het aantal vonken per minuut bij verschillende afstanden (x) en frequenties (f)

Voor deze tabellen geldt: H = 62%

T = 15° C

f = 50 Hz

Afstand (cm)	Tellingen	Tijd (s)	Vonken/min	Gem. vonken/min
0,5	14	59	14,2	
	15	61	14,8	
	14	59	14,2	
	14	59	14,2	
				14,4
1,0	13	61	12,8	
	13	63	12,4	
	13	62	12,6	
	13	63	12,4	
				12,5
1,5	10	60	10,0	
	10	61	9,8	
	10	60	10,0	
	10	60	10,0	
				10,0
2,0	7	63	6,7	
	7	61	6,9	
	7	62	6,8	
	7	63	6,7	
				6,7

f = 100 Hz

Afstand (cm)	Tellingen	Tijd (s)	Vonken/min	Gem. vonken/min
0,5	34	61	33,4	
	34	59	34,6	
	35	60	35,0	
	34	59	34,6	
				34,4
1,0	32	61	31,5	
	31	60	31,0	
	31	60	31,0	
	32	60	32,0	
				31,4
1,5	26	60	26,0	
	26	60	26,0	
	26	60	26,0	
	26	62	25,2	
				25,8
2,0	22	61	21,6	
	21	60	21,0	
	22	61	21,6	
	22	60	22,0	
				21,6
2,5	18	61	17,7	
	18	61	17,7	
	18	62	17,4	
	18	61	17,7	
				17,6
3,0	16	59	16,3	
	18	60	18,0	
	17	60	17,0	
	17	59	17,3	
				17,1
3,5	7	62	6,8	
	7	60	7,0	
	7	58	7,2	
	7	66	6,4	
				6,8

f = 150 Hz

Afstand (cm)	Tellingen	Tijd (s)	Vonken/min	Gem. vonken/min
0,5	58	60	58,0	
	57	60	57,0	
	58	60	58,0	
	58	60	58,0	
				57,8
1,0	50	60	50,0	
	50	60	50,0	
	50	61	49,2	
	50	60	50,0	
				49,8
1,5	44	61	43,3	
	44	60	44,0	
	44	60	44,0	
	44	60	44,0	
				43,8
2,0	37	60	37,0	
	37	61	36,4	
	36	60	36,0	
	36	60	36,0	
				36,3
2,5	32	61	31,5	
	31	60	31,0	
	32	61	31,5	
	31	61	30,5	
				31,1
3,0	29	59	29,5	
	29	59	29,5	
	29	60	29,0	
	29	59	29,5	
				29,4
3,5	26	60	26,0	
	26	61	25,6	
	26	61	25,6	
	26	60	26,0	
				25,8
4,0	24	60	24,0	
	24	60	24,0	
	24	60	24,0	
	24	61	23,6	
				23,9

f = 200 Hz

Afstand (cm)	Tellingen	Tijd (s)	Vonken/min	Gem. vonken/min
0,5	81	60	81,0	
	79	60	79,0	
	80	60	80,0	
	79	60	79,0	
				79,8
1,0	74	60	74,0	
	74	60	74,0	
	74	60	74,0	
	74	60	74,0	
				74,0
1,5	61	60	61,0	
	60	60	60,0	
	59	60	59,0	
	59	60	59,0	
				59,8
2,0	51	60	51,0	
	51	60	51,0	
	50	59	50,8	
	51	60	51,0	
				51,0
2,5	46	60	46,0	
	46	60	46,0	
	46	60	46,0	
	46	61	45,2	
				45,8
3,0	46	60	46,0	
	46	61	45,2	
	46	61	45,2	
	46	60	46,0	
				45,6
3,5	39	60	39,0	
	39	59	39,7	
	39	60	39,0	
	39	60	39,0	
				39,2
4,0	38	61	37,4	
	36	60	36,0	
	37	60	37,0	
	37	60	37,0	
				36,8

Vervolg f = 200 Hz

Afstand (cm)	Tellingen	Tijd (s)	Vonken/min	Gem. vonken/min
4,5	35	61	34,4	
	33	60	33,0	
	33	60	33,0	
	33	60	33,0	
				33,4
5,0	29	60	29,0	
	29	60	29,0	
	28	59	28,5	
	28	59	28,5	
				28,7
5,5	20	59	20,3	
	21	60	21,0	
	22	61	21,6	
	22	61	21,6	
				21,2
6,0	18	63	17,1	
	19	61	18,7	
	20	60	20,0	
	19	60	19,0	
				18,7
6,5	11	60	11,0	
	11	61	10,8	
	12	60	12,0	
	12	60	12,0	
				11,5