

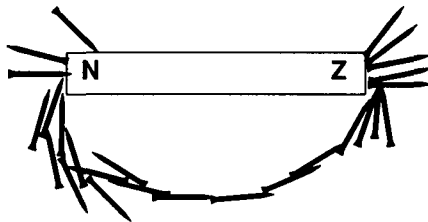
### 3. BEGRIPS- EN IDEEËNVORMING ROND DE LESSTOF

#### 3.1 Oerfenomenen van het statische elektrische en statische magnetische veld

Het oerfenomeen van een gebied van verschijnselen is het elementaire fenomeen dat het hele gebied van deze verschijnselen in zijn essentie weergeeft. Men onderzoekt dit oerfenomeen op ontstaansvoorwaarden en de tendensen die zich erin uitspreken. Aan de leerlingen worden de oerfenomenen van het elektrische en magnetische veld zo efficiënt mogelijk gepresenteerd. Methodisch wordt hierbij de synthetische weg bewandeld, de fenomenen worden zo elementair mogelijk getoond en het meest wezenlijke ervan wordt getypeerd. Meestal heeft de onderzoeker c.q. docent er langdurig en analytisch aan gewerkt voordat hij tot zo'n pakkende presentatie kon overgaan.

##### *Het statische magnetische veld:*

- Neem een vijftal magneten en breng ze naar elkaar toe. Ze zullen draaien en aan elkaar klitten, waarna het moeite kost om ze van elkaar te halen. Zelfs wanneer ze elkaar niet meer aanraken zijn ze krachtig op elkaar georiënteerd. De magneten kan men gewoon in de hand houden. Men voelt niets en het magnetisch effect verandert er niet door.
- Neem twee magneten en een doosje met kleine spijkertjes. Aan één magneet kunnen veel spijkertjes in een boog vastklitten. Neemt men nu twee magneten met noord- en zuidpolen naar elkaar toegewend, dan is het aantal spijkertjes dat vastgehouden kan worden aanmerkelijk minder. Trekt men de magneten uit elkaar dan kunnen er weer veel spijkertjes worden vastgehouden.
- Proeven met ijzervijlsel kunnen toegevoegd worden.



Uit deze proeven blijken de volgende tendensen:

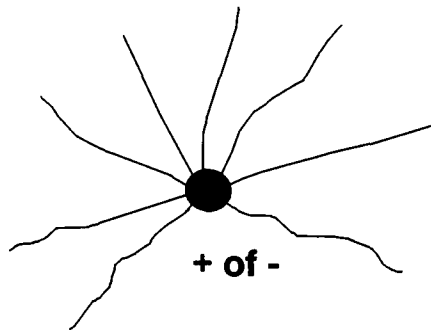
- Magneten zijn van speciale stoffen gemaakt, meestal van ijzer- of nikkellegeringen.
- Om de magneet als ruimtelijk afgebakend voorwerp is een werkingsruimte.

- Deze ruimte heeft een cirkelachtige gesloten structuur.
- Deze werkingsruimte tendeert ernaar om te verdwijnen in gesloten ijzer- of nikkelketens.

Meestal is het nodig er nog wat omheen te vertellen en op vragen naar variaties van proeven in te gaan.

### ***Het statische elektrische veld***

- Neem twee kunststof platen (bijvoorbeeld een pvc- en een plexiglasplaat van ongeveer  $30 \times 12 \times 0,4$  cm, hiervan is de tegenstelling zacht-hard vrij groot) en wat papiersnippers (confetti bijvoorbeeld, dat is glad en strak afgesneden) of kurkvijlsel. Maak de platen goed schoon en droog (verwarm ze even van tevoren op een c.v.radiator) en zorg dat het papier glad en droog is. Wrijf de platen met elkaar, trek ze van elkaar af en houd ze na elkaar boven de op tafel liggende snippers. De snippers zullen tussen de platen en de tafel heen en weer springen. Meestal blijft er wat aan hangen. Houd dan de plaat verticaal en tik ertegen, de snippers springen er dan af.
- Neem een elektriseermachine en maak een bundel papierslierten elektrisch. De slierten stralen radiaal uit en wanneer je met je vinger naar een sliert toe gaat komt die je tegemoet en tikt je even aan, alvorens weer weg te gaan. Dit herhaalt zich tot alle slierten weer naast elkaar naar beneden hangen:
- Proeven met twee bundels slierten naast elkaar, beide +, beide - of de een + de ander -.
- Een sliert papier tussen de polen van een elektriseermachine zal met grote snelheid tussen de polen heen en weer bewegen, waarbij de sliert de polen om en om even aantikt.



Uit deze proeven blijken de volgende typeringen:

- Men kan twee willekeurige materialen voor de platen kiezen, maar belangrijk is de tegenstelling hard-zacht.
- Om de gewreven platen is een werkingsruimte.
- Deze ruimte heeft een radiale structuur.
- Deze werkingsruimte tendeert ernaar te verdwijnen aan dingen in de omgeving.

Ook hier kunnen nog tal van proefjes bij aangesloten worden om het oerfenomeen te karakteriseren.

### ***De tegenstelling van het elektrische en het magnetische veld***

Uit de beschreven karakteristieken blijkt de tegengestelde natuur van het elektrische en magnetische veld:

#### ***elektrische veld***

- Alles wordt door wrijven elektrisch, zelfs twee dezelfde materialen, vloeistoffen of luchtlagen.
- De twee voorwerpen vertegenwoordigen ieder een pool.
- Alle stoffen worden aangetrokken in de werkingsruimte. Iedere plaat heeft zijn eigen werkingsruimte; die van de harde plaat wordt plus genoemd en die van de zachte min.
- De structuur van het veld is radiaal en open.
- Het elektrische effect wil verdwijnen of oplossen in de omgeving.

#### ***magnetisch veld***

- Alleen ijzer-, nikkel-, of kobaltlegeringen kunnen ferromagnetisch worden.
- Een magneet vertegenwoordigt beide polen.
- Alleen ijzer, nikkel of kobalt kan worden aangetrokken in de werkingsruimte van de magneet. De noord- en zuidpool kunnen niet ruimtelijk gescheiden worden.
- De structuur van het veld is cirkelvormig en gesloten.
- Het magnetische effect wil verdwijnen of zich verdichten in de stof.

Hebben de leerlingen deze fenomenen eenmaal helder voor zich, dan is het goede moment gekomen voor de introductie van het begrip "veld". Wanneer men over veld spreekt, dan is dat niet een verzameling van relaties, maar het is een begripsmatige beschrijving van de waargenomen fenomenen. Een veld is een ruimte waarin bepaalde werkingen plaatsvinden. Deze ruimte zelf heeft in verband met deze werkingen een andere kwaliteit gekregen. Als zodanig is het veld, als ruimte met kwaliteit, zelf een fenomeen. Wanneer Faraday over "krachtlijnen" sprak, dan keek hij als het ware verinnerlijkt naar de fenomenen. Opnieuw zien we hier dat de elektriciteit en het magnetisme ons nopen meer innerlijk naar de natuur te kijken. Dat Faraday's veldbegrip later door Maxwell in een wiskundige beschrijving is gevat, laat zien dat het ook een kwantificeerbaar aspect heeft, maar doet aan het kwaliteitsaspect niets af.

Wanneer twee platen gewreven en vervolgens van elkaar getrokken worden, dan moet onze blik niet zozeer op de platen, die zoals gezegd elkaar aantrekken, maar op het veld gericht worden. Het veld tendeert ergens toe, het trekt de plaat mee. Ook vervormt het zich wanneer er een voorwerp in de buurt is. Het elektrische veld zit vast aan de plaat gezogen, maar wil hier van loskomen, omdat het er naar tendeert in de ruimte te verdwijnen. Wanneer papierslierten zich radiaal in een elektrisch veld richten, dan drukt dit hetzelfde uit. Het veld is gericht op het oneindige, daarmee uitdrukking gevend aan de tendens die er in besloten ligt om te verdwijnen. Daarbij verdeelt het veld zich zo over de geleider dat aan randen en punten de veldverdichting het grootste is. Op die plaatsen is de drang om los te komen van de zuigende drager geïntensiveerd. Het voorwerp, onafhankelijk van welk materiaal het is, zuigt het veld des te sterker aan zich vast op die plaatsen waar:

1. de bolling van het oppervlak geringer,
2. het oppervlak gladder,
3. de temperatuur lager,
4. en het voorwerp beter geïsoleerd en minder vochtig is.

Een puntig, ruw, klein of warm voorwerp kan een elektrisch veld niet vasthouden. Hier kan het veld dus makkelijker de tendens volgen om te verdwijnen in de ruimte. Typerend voor het elektrische veld is dat het altijd aan de buitenkant, aan de bolle kant van geleiders zit. Daarin manifesteert zich weer het gericht-zijn op de omgeving. Een elektrisch veld is nooit op een centrum gericht, maar het zoekt aan de drager de meest scherpe en uitstekende delen op, omdat daar het houvast het kleinste is en het zich dus het gemakkelijkste van de stof kan losmaken.

Bij het wrijven ontstaat elektriciteit aan vlakken die goed met elkaar in contact komen. De vlakken moeten niet zozeer van verschillend materiaal zijn als wel tegengestelde eigenschappen hebben, waarbij de tegenstelling hard-zacht de belangrijkste is en die van glad-ruw op de tweede plaats komt. Wrijven met kattenvellen, zijden doeken e.d. is niet wezenlijk voor het fenomeen van statische elektriciteit. Vervolgens moeten de in elkaar gewreven platen uit elkaar getrokken worden en dan komt het veld tevoorschijn. Het is weer kenmerkend voor de statische elektriciteit dat alleen de oppervlaktegesteldheid - dus één heel bepaalde eigenschap - een overheersende rol speelt.

Samenvattend: statische elektriciteit ontstaat op de oppervlakten van stoffen, handhaaft zich hier vervolgens ook en verzamelt zich daarbij op de punten en de randen, waar het veld het gemakkelijkste los kan komen van deze oppervlakken.

Meerdere fenomenen kunnen de beschreven tendens bevestigen:

- Proeven met statische elektriciteit zijn altijd relatief snel voorbij, er moet steeds opnieuw gewreven worden.
- Aan een veldverdunding (oplossen van het veld) gaat altijd een veldvervorming en verdichting vooraf. We zagen dit al bij het veld rond de randen en punten van een elektrisch voorwerp, waar veldverdichting optreedt, waarna het veld makkelijk los kan komen van de stof en de tendens tot oplossen in de ruimte kan volgen. De vonk is een ander voorbeeld van dit fenomeen. De vonk laat prachtig de polariteit punt-oneindigheid zien. Het veld verdwijnt niet in de vonk, maar de vonk is een uitdrukking van het loskomen van het veld van de drager. Het punt waar de vonk ontstaat is daarbij de sublieme mogelijkheid voor het veld om los te komen. Het geeft een krachtige veldverdichting, waarna het veld vervolgens vervliegt in de ruimte. Later zal de vonkzender worden besproken, waarvan de werking op dit fenomeen gebaseerd is.
- Twee gewreven platen (hard geeft positieve, zacht negatieve elektriciteit) zuigen elkaar aan. Het veld heeft een zuigende werking. Tijdens het ontstaansproces is het verzet tegen het in de ruimte getrokken worden nog te groot. Het veld wil als het ware niet tevoorschijn komen. Het moet de ruimte in getrokken worden vanuit een vlak. Het eindige vlak toont zich hierbij verwant aan het oneindig verre vlak, waar het verdwijnende veld naar toe streeft.
- Plaatst men een kunststof bakje met confetti op een draaiende Van de Graaf generator, dan worden de papiersnippertjes uitgestrooid in de ruimte. De veldversplintering die hierbij optreedt is ook een uitdrukking van de tendens tot verdwijnen en oplossen, maar nu in een veelheid van elkaar uitsluitende veldjes.
- Een voorwerp dat een elektrisch zuigveld om zich heen heeft kan men aarden, waardoor het veld verdwijnt. Een tussenstap is dat men het oppervlak van het voorwerp vergroot, waardoor de zuigkracht of veldsterkte kleiner wordt. De aarde is een gigantisch oppervlak, waar de veldverijling in extreme mate kan plaatsvinden.
- Bij de gesloten kring, die later nog uitgebreider besproken zal worden, werken de positieve en negatieve pool zo op elkaar in dat er een verdwijnproces kan plaatsvinden, echter niet in de ruimte. Samen vertegenwoordigen de polen als het ware de punt en oneindigheids-extremen. Dit aspect komt later nog uitgebreider aan bod.
- (Hoogfrequente) hoogspanning moet altijd goed geïsoleerd worden, omdat anders de elektriciteit zelfs uit de gesloten kring verdwijnt.
- Plaatst men een elektroscop onder een elektrische condensatorplaat, dan slaat hij uit. Schuift men de elektroscop weg, dan verdwijnt de

uitslag. Dit verschijnsel wordt elektrische influentie genoemd. Het is reeds door Faraday beschreven dat alle voorwerpen in een elektrisch veld polariseren. Houdt men nu bij de condensatorplaat en de elektroscop een vlakke kunststof of metalen plaat, dan wordt de uitslag nog versterkt. Houdt men echter een holle metalen plaat met de holle kant naar de elektroscop, dan neemt de uitslag af (kooi van Faraday). Afscherming van het veld kan alleen binnen een bol metalen voorwerp geschieden. De holle kant is dan niet gericht op het oneindige en het veld zal dus bij de holle kant vandaan gaan.

Samenvattend: een elektrisch veld zit vastgezogen aan een voorwerp. Het veld streeft via veldverdichting naar veldverijling.

Beschouwen we vervolgens het magnetische veld. Nadat een magneet eenmaal is ontstaan, blijft hij lange tijd zijn magnetische activiteit behouden. Door één magneet lange tijd in de vrije ruimte te plaatsen, door een magneet te verwarmen of er tegen te stoten verdwijnt de magnetische activiteit het snelst. Door meerdere magneten aan elkaar te laten klitten of door een magneet in een gesloten ijzeren omhulling te bewaren blijft de magnetische activiteit het beste behouden. Een magneet hoeft dus niet geïsoleerd te worden om de kracht ervan te behouden, integendeel, isolatie leidt tot verzwakking.

Ook bij de magneet kijken we naar de verhouding van veld tot drager. Hier valt meteen op dat het materiaal van doorslaggevende betekenis is, terwijl in tegenstelling tot het elektrische veld de oppervlaktestgesteldheid van de drager niet van belang is. Het veld heeft twee polen, de noord- en de zuidkant, waar het veld het sterkste is en die ook altijd op hun plaats blijven. Wanneer men een magneet in twee stukken breekt, dan heeft men twee magneten met ieder een noord- en zuidpool. Dit is bij het elektrische veld anders. Breekt men een positief geladen staaf in tweeën, dan blijven de delen positief en sluiten elkaar vervolgens uit: ze stoten elkaar af. Wanneer een staaf door influentie in een veld aan de ene kant positief en aan de andere kant negatief wordt en vervolgens wordt gebroken, dan zal, ook buiten het veld, het ene deel positief en het andere negatief zijn.

Een magnetisch veld is steeds gesloten. Wanneer men een staaf magnetisch maakt, dan lopen de veldlijnen zowel in als buiten de staaf tussen de noord- en zuidpool. Brengt men een stuk ijzer, nikkel of kobalt in een magnetisch veld, dan treedt er veldverdichting op.

Het magnetische veld toont zijn karakter op de volgende wijze. Alleen heel specifieke materialen brengen dit sterke veld in verschijning. Het veld streeft altijd naar verdichting en intensiteitsvermindering. Hoe meer het veld zich verdicht, hoe minder het veld op de omgeving werkt,

omdat het zich in de concentratie van het veld afsluit van de omgeving. Rond twee magneten, die met noord- en zuidpolen aan elkaar geklit zijn, is bijna geen veld te constateren. Verder is het magnetisch veld relatief blijvend en streeft het naar een relatief vaste structuur.

Enkele proeven kunnen dit beeld nog aanvullen:

- Het magnetisch veld van een spoel wordt gericht en geconcentreerd door een ijzeren kern.
- Een ijzeren kern wordt krachtig in het centrum van een spoel getrokken, wanneer de spoel plotseling magnetisch wordt. Meestal schiet de kern een aantal keren heftig heen en weer.
- Het magnetisch veld van een spoel komt langzaam op volle sterkte. Hieruit blijkt het behoudende van het veld.
- Wordt een spijker gemagnetiseerd, dan gaat dit met horten en stoten en vraagt dit enige tijd. Het veld verdicht zich stapsgewijze in de spijker, moet zich als het ware settelen. Dit wordt het Barkhausen-effect genoemd.
- Een magneet van een luidspreker met ijzeren omhulsel verliest 10 à 20% van zijn kracht als hij uit dit omhulsel wordt gehaald.
- Een transformator werkt des te beter naarmate de kern een gesloten geheel vormt (U-kern met juk).

Een magneet is op zijn best wanneer de configuratie van magneet en omliggend ijzer niet verandert. Het veld tendeert naar vaste, blijvende structuren. Veranderingen vragen tijd, maar altijd zal zich de maximaal haalbare veldverdichting instellen. Het veld drukt een tegenstelling uit tussen structuur en verdichting. Structuur biedt normaal gesproken ruimte voor iets anders, bijvoorbeeld bewegingsruimte. Een goede organisatie-structuur biedt bijvoorbeeld de ruimte tot handelen aan de participanten. Gaat structuur echter gepaard met verdichting, zoals bij het magnetische veld, dan leidt dit tot starheid en afgeslotenheid.

Plaatst men nu nogmaals het elektrische en magnetische veld naast elkaar, dan kan de eerder beschreven dualiteit nog verder gepreciseerd worden:

#### *elektrisch veld*

- Het elektrisch veld drukt zich uit in verandering, snelheid, beweeglijkheid en proces.
- Het veld wil zich losmaken van de stoffelijke drager en opgaan in de wereldruimte.

#### *magnetisch veld*

- Het magnetisch veld tendeert naar onveranderlijkheid, starheid, traagheid en gestructureerde vorm.
- Het veld wil zich vastzetten in een stoffelijke (ijzeren) omgeving.

- Het veld streeft via veldverdichting naar verijling. Hieruit spreekt de tegenstelling punt-oneindigheid.
- Het veld streeft naar een structuur en naar verdichting.

Tegenover elkaar staan dus:

<i>proces</i>	<i>vorm</i>
<i>opgaan in de wereldruimte</i>	<i>gebonden aan de stof</i>
<i>punt-oneindigheid</i>	<i>structuur, verdichting</i>

We richten nu onze aandacht op de dragers van deze twee karakteristiek tegengestelde velden.

Het ijzer als representant van de drie opeenvolgende stoffen nikkel, ijzer en kobalt in het periodiek systeem van elementen heeft de bijzondere eigenschap dat het magnetische veld zich aan deze stof kan openbaren, zoals dat ook mogelijk is aan de aarde, enkele andere planeten en de zon. We laten hierbij het para- en diamagnetisme, alsmede de samarium-magneten die van legeringen van elementen uit de groep van de zeldzame aarden worden gemaakt, nog even terzijde. (Zie hiervoor paragraaf 3.2). De oorsprong van het magnetisch veld is, als we afzien van de gangbare modelbeschrijving, in raadselen gehuld. We willen hier het uitgangspunt openlaten dat het magnetische veld als een primaire, zelfstandige identiteit kan worden gezien. We zullen daarom het feit dat het magnetische veld zich aan ijzer kan manifesteren als een bijzondere eigenschap van ijzer beschouwen.

IJzer heeft de grootste soortelijke warmte per volume-eenheid van alle elementen (zie deel I, hoofdstuk 4). Dat wil zeggen dat ijzer heel ver geëmancipeerd is van de warmtesfeer, die alles tot een stoffelijke eenheid wil omvormen. IJzer heeft zich dus in hoge mate verzelfstandigd. Ditzelfde beeld ontstaat wanneer ijzer wordt bekeken in het kader van het verschijnsel radioactiviteit. IJzer houdt het midden tussen fusie en splijting, kan aan beide soorten processen niet deelnemen. Het stelt zich dus ook in dit opzicht autonoom op. Een derde karakteristiek is de bepalende factor die het vormt in het bloed. Bij bloedarmoede, als het bloed te weinig ijzer bevat, kan de mens zich niet zelfstandig en krachtig genoeg manifesteren. Het ijzer staat voor autonomie en het magneetveld, dat zich aan het ijzer kan manifesteren, laat een bepaalde kant van dit streven naar autonomie zien, namelijk de tendens tot verstarring, verdichting en zich afsluiten. In zoverre is het magnetisme een beeld voor het eenzijdig streven van een mens, die zich star opstelt en zich afsluit voor de mening en de invloed van anderen.



Voor het elektrische veld is de vlakke of bolle buitenkant van een stof bepalend. Het gaat hierbij niet om specifieke stof-eigenschappen, maar om het grensvlak dat de stof van de omgeving scheidt. Het binnen/buiten-aspect is wezenlijk. Dit is overigens een algemeen principe, dat voor alle natuurrijken en ook voor de vier elementen betekenis heeft. Bij de elementen treedt het binnen/buiten-principe echter pas bij het water- en aarde-element in verschijning. Het vuur- en lucht-element hebben de eenheid, het streven naar eenwording en elkaar doordringen, heel sterk in zich, terwijl voor het water- en aarde-element de scheiding, het naast elkaar staan, karakteristiek is. Alleen deze laatste twee vormen blijvende oppervlakken. Gladde, bolle, spiegelende oppervlakken zoals spiegels en wateroppervlakken laten juist niets van de binnenkant zien, ze geven daarentegen de omgeving als beeld weer. Ook wanneer een mens dingen "spiegelt" toont hij daarbij niet zijn eigen binnenkant, zijn eigen gedachten en gevoelens, maar alleen die van zijn omgeving. Juist aan deze gladde buitenkant van de stof kan het elektrische veld zich manifesteren. Het veld zuigt aan dit oppervlak en wil het meenemen de ruimte in, zoals bijvoorbeeld de confettiproef laat zien. Het wil eigenlijk de scheiding tussen binnen en buiten die het vlak betekent opheffen. Het elektrische veld streeft naar een lucht-, vuur- of lichtachtige toestand.

Het vlak vormt de scheiding tussen binnen en buiten en het elektrische veld dat aan dit vlak wordt vastgehouden heeft de tendens dit grensvlak op te heffen. Meestal echter vervluchtigt het veld zelf in de ruimte.

Als laatste stap op de methodische weg zal de gevonden gestiek van beide velden verder worden verdiept door deze innerlijk na te voelen. Men overdenkt het elektrische en magnetische gebaar en probeert vervolgens verwante belevingen te vinden die zich in onze ziel afspelen.

Het aan het magnetisme verwante streven naar autonomie in het persoonlijke leven of in de staatspolitiek slijbt soms dicht door verstarring en dogmatiek. De angst om de greep op jezelf of de omgeving te verliezen leidt dan tot krampachtig vasthouden aan regelgeving, waardoor autonomie verwordt tot dictatuur van de enkeling over de ander of, om een ander voorbeeld te noemen, van de economie over de cultuur.

Voor het elektrische veld is het vlak als scheiding tussen binnen en buiten typerend, evenals de veldverdichting ten behoeve van de veldverrijking in de ruimte. Na een intensief inlevingsproces kan men dan tot de volgende vergelijking komen. Het streven naar de bevrediging van begeertes kent ook de fase van het bemachtigen van de situatie ten behoeve van de bevrediging, vergelijkbaar met de verdichting van het elektrische veld, waarna de fase van het genot volgt, hetgeen vergelijkbaar is met de vervluchtiging. In onze cultuur zijn er voorbeelden genoeg

te vinden. De seksindustrie speelt bijvoorbeeld in op de wil tot bemachtiging, door allerlei mogelijkheden op voor de consument beheersbare wijze binnen handbereik te brengen. Ook het nationalisme dat zich overal ter wereld doet gelden streeft via grote en onsympathieke inspanning (verdichting) naar het veilig stellen van de eigen situatie (verdunding). Om een ideologie te verwezenlijken (verdunding) getroost men zich met ontoelaatbare middelen tal van inspanningen (verdichting).

Meestal werken de "elektrische" en "magnetische" tendensen samen. Een ideologie brengt bijvoorbeeld versterkte, behoudende systemen met zich mee. De hier genoemde vergelijkingen zijn in krasse bewoordingen weergegeven. Hiermee is echter niet bedoeld dat idealen, genot en een gestructureerde samenleving verachtenswaardig zijn, integendeel, het gaat juist om de integratie van al deze zaken, in plaats van de polarisatie.

Wel is het opvallend dat gevoelens als vreugde, verdriet, vriendschap en medeleven niet aansluiten bij de elektrische en magnetische fenomenen. De zieletoestanden die meer met verinnerlijking en relaties te maken hebben laten zich met behulp van deze natuurbeelden niet goed beschrijven. Wellicht is het ook zo dat de huidige electrocultuur terugwerkt op de mens, dat de polariserende en dualiserende effecten de mens sterker beïnvloeden dan hij zelf zou willen. Maar dit doet tevens een dringend appèl op de innerlijk morele mens, die zijn weg zoekt tussen de grootste tegenstellingen.

### 3.2 Magnetisme

De magneetsteen -het magnetiet- was al in de griekse tijd bekend. Thales van Milete (circa 500 v.C.) sprak over de bezielde steen omdat er de begeerte van uitging om ijzer aan te trekken. In de late middeleeuwen schreef Gilbert Petrus Peregrinus een veel herschreven werk over magneten. Hij dacht dat het magnetisme ontstond door een kosmische inwerking.

Heel lang is het magnetisme een raadsel gebleven, waardoor er weinig ontwikkeling, ook in technische zin, plaatsvond. Tot 1930 werden er naast elektromagneten alleen permanente magneten van ijzerlegeringen gemaakt. In de dertiger jaren is de alnico-magneet ontwikkeld, die een grotere magnetische kracht had en deze ook langer behield. In 1952 werd een heel nieuw soort magneten, de keramische ferriet-magneten, ontwikkeld, waarvan het marktaandeel sindsdien tot 70% is opgelopen. In de zeventiger jaren zijn magneten gemaakt met elementen uit de groep van de zeldzame aarden. Deze hebben zelfs bij kleine afmetingen een grote magnetische kracht. Gezien de hoge materiaalkosten worden ze nog niet

veel toegepast. De laatste tien jaar zijn er verscheidene legeringen of materialen samengesteld die magnetisch zijn te maken, waaronder zelfs metaalvrije kunststoffen. Per jaar wordt er circa 200 miljoen kg aan magneten vervaardigd, die met behulp van elektromagnetisme permanent magnetisch worden gemaakt. Het grootste deel wordt toegepast in motoren en luidsprekers en in de telecommunicatie.

De magnetische eigenschappen van stoffen kunnen als volgt onderscheiden worden:

### 1. *Diamagnetische stoffen*

Deze worden in heel sterke magnetische velden uit het veld geduwd, zij ontwijken de magnetische veldverdichting. In het periodiek systeem van elementen zijn de stoffen van de eerste drie periodes voornamelijk diamagnetisch. Vanaf de vierde periode zijn de stoffen rechts in het periodiek systeem diamagnetisch, namelijk van stofnummer 29 koper t/m 36 krypton, van 47 zilver t/m 54 xenon (op 50 tin na) en van 79 goud t/m 86 radon. De sterkte van het diamagnetisme neemt op onregelmatige wijze door het periodiek systeem heen toe. Antimoon (51) en bismut (83) hebben de grootste waarden. Water is ook diamagnetisch, evenals glas. Het diamagnetisch is vrijwel onafhankelijk van de temperatuur.

### 2. *Paramagnetische stoffen*

Deze stoffen worden in heel sterke magnetische velden in het veld getrokken. Alle stoffen links in het periodiek systeem zijn, op die van de eerste drie periodes na, paramagnetisch. Ook zuurstof is, als uitzondering op de regelmaat, vrij sterk paramagnetisch. Het paramagnetisme is afhankelijk van de veldsterkte en in tegenstelling tot het diamagnetisme ook van de temperatuur: bij toenemende temperatuur neemt het paramagnetisme af.

### 3. *Ferromagnetisch elementen*

Ferromagnetische stoffen zijn gemakkelijk te magnetiseren, worden in het veld gezogen en brengen een grotere veldverdichting tot stand. De harde ferromagnetische stoffen zijn na het magnetiseren permanent magnetisch. Dit zijn ijzer, nikkel, kobalt en bij zeer lage temperatuur de zeldzame aarde elementen samarium, gadolinium, terbium en cerium. De zachte ferromagnetische stoffen verliezen na het magnetiseren hun magnetische karakter. Er zijn echter veel legeringen en verbindingen bekend die de bovenstaande elementen niet bevatten en toch ferromagnetisch zijn. Het ferromagnetisme is sterk afhankelijk van de temperatuur en van de stofstructuur. Boven de zogenaamde curietem-

peratuur zijn ferromagnetische stoffen paramagnetisch. Voor ijzer, nikkel en kobalt ligt deze curietemperatuur vrij hoog: respectievelijk 774°C, 372°C en 1131°C. De allersterkste neodymium-ijzer-boron magneten zijn sterk afhankelijk van de temperatuur: boven 80°C daalt de magnetische veldsterkte drastisch. Verder zijn deze magneten erg gevoelig voor aantasting en oxidatie.

#### 4. *Ferromagnetische oxiden*

Deze magneten zijn vervaardigd uit ijzeroxide en bijvoorbeeld bariumoxide voor zachte magneten (met een laag remanent magnetisme) en barium voor harde magneten (met een hoog remanent magnetisme). De magneten worden gemaakt door de oxiden fijn te malen en te sinteren (persen en bakken) bij een temperatuur van 1300°C. Keramische magneten zijn zeer geschikt voor hoog frequente transformatoren. De harde magneten hebben een zeer groot tegenveld nodig om te demagnetiseren. Mede daarom verouderen ze haast niet en zijn ze vrijwel ongevoelig voor stoten. Het remanente magnetisme is echter kleiner dan dat van koolstof-staal- of alnicomagneten. Vanwege de geringe kostprijs worden deze magneten het meeste toegepast. Het bijzondere van de kristalstructuur van keramisch materiaal is dat het niet kubisch is, zoals bij andere magneten, maar hexagonaal. Hexagonale kristallen hebben, in tegenstelling tot kubische kristallen, vaak een éénassige voorkeursrichting waarin ze gemagnetiseerd kunnen worden, namelijk langs de ribbe.

Enkele karakteristieke verschillen in eigenschappen tussen harde en zachte magnetische materialen zijn:

##### *hard magnetisch*

regelmatig kristalrooster;  
rustige, fijnkorrelige kristalstructuur;  
liefst over meerdere kristalassen te magnetiseren.

##### *zacht magnetisch*

heel zuivere elementen of legeringen/verbindingen;  
liefst over één as te magnetiseren.

Tenslotte een overzicht van enkele materiaaleigenschappen:

*staal/legeringen*

zeer moeilijk bewerkbaar,  
sterk onafhankelijk van de  
temperatuur:

toepassing tot 400°C,

cobaltmagneten zijn duur:

prijs Co = 100 × Fe

= 10 × Ni

*ferrieten*

isolerend

goedkoop

laag rendement  
magnetisme,  
maar heel sta-  
biel, ook tegen  
stoten

*zeldzame aarden*

zeer corrosiegevoelig,  
sterk afhankelijk van  
de temperatuur:

toepassing tot 80°C

zeer duur

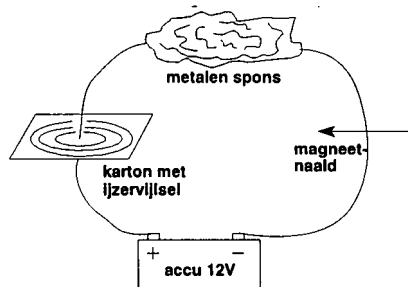
grote magneetkracht  
en hoge stabiliteit bij  
zware belasting van  
tegenvelden

### 3.3 De gesloten elektrische kring

Maakt men met behulp van startkabels en een accu van een personenauto een gesloten kring, dan treedt er pas bij het tegen elkaar aantikken van de twee klemmen effect op: er zijn wat vonken zichtbaar en de kabels worden warm en magnetisch.

Neem nu een metalen spons, een kompasnaald en een karton met ijzervijlsel of een vijftal kleine kompasjes. Sluit de kring via de spons:

- De sponsdraden worden gloeiend heet en smelten of verbranden.
- Het kompas gaat loodrecht op de draad staan.
- Het ijzervijlsel of de kompasnaaldjes, die om de draad heen gezet zijn, vormen concentrische cirkels.
- Verwisselt men de plus en min aansluitingen van de accu, dan draait de kompasnaald om van richting.



Dit zijn de basisfenomenen van een gesloten kring. Men zou de chemische processen in de accu er nog bij kunnen betrekken. Zolang de kring gesloten is blijken de plus- en minplaat van de accu in gewicht af te nemen, terwijl de zure vloeistof steeds wateriger en zouter wordt.

Variaties van de opstelling zijn:

1. Wikkel de draad op tot een spoel. De kompasnaald gaat in en om de spoel in een richting staan alsof de spoel een staafmagneet is. Dit

vormt het principe van de ampèremeter. Bij de draaispoelmeter zit de spoel in de magneet in plaats van de magneetnaald in de spoel. Neemt men een spoel met meer windingen dan is het magneetveld sterker. Een ijzeren kern in de spoel concentreert het magneetveld.

2. Neem een lange dunne draad. Het warmte- en magnetische effect zal dan kleiner zijn. Voor een kring bestaande uit een draad van één metaal geldt het volgende:

*korte, dikke draad* → *meer* warmte en magnetisme

*lange, dunne draad* → *minder* warmte en magnetisme

Het warmte-effect is afhankelijk van het materiaal van de draad. In een overal even dikke draad van verschillende metalen wordt koper het minst warm in vergelijking met aluminium, ijzer of de wolfram gloeidraad van een lamp. Het magnetische effect is onafhankelijk van het materiaal.

3. De serie- en parallelschakeling van weerstanden, lampen e.d. kunnen nu besproken worden:

*serieschakeling*

Het magnetische effect is in de hele kring gelijk. De spanning verdeelt zich over de delen, afhankelijk van de eigenschappen dikte, lengte en materiaal. Meer spanning per deel bij lange of dunne draad.

*parallelschakeling*

Iedere tak is als een zelfstandige kring te beschouwen. Per tak ontstaat een verschillend magnetisch effect afhankelijk van de eigenschappen dikte, lengte en materiaal. Meer magnetisch effect per tak bij korte of dikke draad.

We willen nu overgaan tot het ontwikkelen van de begrippen spanning, stroom, magnetisch effect, weerstand en hoeveelheid elektriciteit.

De spanning in een accu is een raadselachtig fenomeen. Waar is de elektriciteit gebleven? Plaatst men een elektrolytische condensator van 40.000 pF en een fietslampje in de kring, dan krijgt men kortstondig een elektrisch fenomeen te zien. De condensator creëert voor korte duur het effect van een gesloten kring. Tussen de platen wordt een elektrisch veld opgebouwd. De opbouw van dit veld, van de spanning over de condensator en het magnetisch effect in de kring, verloopt exponentieel afnemend. De lamp gloeit meteen fel op en neemt dan af. Met een ampèremeter in de kring ziet men dat het afnemen van het magnetische effect nog langer duurt. Koppelt men vervolgens de accu af en sluit men de kring van de condensator dan treedt hetzelfde effect op: de ampèremeter slaat naar de andere kant uit, maar vertoont weer een afnemende uitslag en het lampje flitst weer kortstondig op. De condensator maakt het elektrische aspect van de kring zichtbaar. De condensator zorgt namelijk voor een kortston-

dig kringproces. Het karakter van dit proces is het intensief inzuigen van een elektrisch veld. Door de veldverdichting rond de condensatorplaten ontstaat de mogelijkheid om de tendens tot verdwijnen van het elektrische veld te realiseren. Het verdwijnproces van het elektrische aspect vindt overal in de kring plaats. Ook de condensator is zo'n schijnbaar verdwijnpunt. Het elektrische veld tussen de platen werkt de zuigende werking van de condensator tegen en remt het kringproces.

In deel I is het elektrische kringproces beschreven. Dat wordt hier nogmaals gedaan, omdat de gehanteerde rationele beschrijving een andere is dan die volgens het gebruikelijke watermodel dat een analogie is van stromend water met een pomp als aandrijving.

Een batterij heeft een spanning. Als de kring gesloten wordt daalt deze zogenaamde klemspanning. De tegenstelling tussen plus- en minpool wil zich opheffen, zoals we dat ook bij de statische elektriciteit hebben gezien. De spanning onderdrukt het chemische proces in de batterij, dat pas weer actief wordt als de klemspanning ten dele wegvalt. De spanning is een uitdrukking van de mogelijkheid dat een elektrisch/magnetisch proces tot stand komt. Men spreekt daarom ook wel van de potentiaal, of in de aristotelische benaming: de potentie. Alleen de drang is aanwezig; zolang de kring niet gesloten is gebeurt er niets. In de batterij is ook geen aantoonbare elektriciteit of magnetisme aanwezig, buiten de spanning van de polen. Wordt de kring gesloten, dan vindt men in en om de kring magnetische en warmteverschijnselen. Tijdens dit kringproces is er vanuit de verschijnselen geen aanleiding om te stellen dat de batterij voor de elektriciteit zorgt die rondgepompt wordt in de kring. De kring is, met de batterij, de primaire voorwaarde voor het ontstaan van het proces. Het proces is namelijk niet denkbaar zonder kring. Zonder kring treedt er alleen spanning op, die de potentie tot dit kringproces uitdrukt. In paragraaf 3.1 is de tegenstelling beschreven tussen het elektrische veld, dat in proces wil zijn en wil verdwijnen in de ruimte, en het magnetische veld, dat wil verstarren in structuur en tendeert naar verdichting. Bij de gesloten kring ziet men deze tegenstelling in extreme mate. Het magnetisme is als meetbaar vormfenomeen aanwezig en het elektrische is als verdwijnproces werkzaam. Het magnetisme, met zijn concentrische veld, is meetbaar in ampère-eenheden, het elektrische neemt geen vormaspect aan en ontglipt daardoor aan het meetbare.

De fenomenen tonen dat er meer een proces loodrecht op de draad dan in de lengterichting van de draad aanwezig is. Het dynamische elektromagnetisch proces vindt men loodrecht op de draad. Alleen het minimale spanningsverschil met zijn elektrische veldsterkte wordt in de lengterichting van de draad gevonden. Bij de hierboven beschreven condensatorproef wordt de dynamisch wegstrevende elektrische tendens

geconcretiseerd tussen de zuigende platen. De zuigwerking van de condensatorplaten, die feitelijk een onderbreking in de kring vormen, is des te groter naarmate zij dichter bij elkaar staan of een grotere oppervlakte hebben. Dit betekent dat ze qua afstand verwant zijn aan het puntachtige en qua oppervlak aan de verdwijningstendens van het elektrische veld. De dynamiek van het elektrische veld drukt namelijk de polaire structuur van de ruimte uit, die ingebed is in de tegenstelling van punt en oneindig vlak.

De duale dynamiek van het magnetische vorm/verdichtingsaspect - dat concentrisch rond de draad ligt als magnetische veldbuizen - en het proceskarakter van het elektrische dat aan de waarneming grotendeels ontgaat, wordt door het warmteproces bij elkaar gehouden. De warmte is de bemiddelaar en ook het tegenproces van deze duale elektromagnetische tendensen. De hoeveelheid elektriciteit is als begrip, niet direct als fenomeen, de verbindende schakel tussen het elektrische kringproces dat meetbaar is bij de condensator en het magnetische kringaspect dat meetbaar is als amperage in de kring.

*condensator*

*magnetisme in de kring*

$$Q = C \times V$$

$$Q = I \times t$$

Wanneer in een formule een vermenigvuldiging plaatsvindt met de tijd ontstaat een statisch begrip (zie klas 10 over vermogen en energie). De dynamiek van het elektromagnetische kringproces is moeilijk te vatten, maar door bovenstaande berekening wordt een omvattend begrip ontwikkeld, waardoor het hele proces door begin en eind vastgelegd wordt. Het proces zelf - dat wat tussen begin en eind plaatsvindt - is niet in dit begrip aanwezig. Hier ontstaat de vrijheidsruimte voor de mens om een modelgedachte te ontwikkelen van hoe deze hoeveelheid elektriciteit zich verplaatst. De gangbare visie is dingachtig en *in* de ruimte.

Hetzelfde beeld geeft op een andere manier de bemiddelaar warmte weer:

vermogen =  $V \times I$  (procesformule)

hoeveelheid warmte =  $V \times I \times t$  (een nieuw statisch begrip, omdat met de tijd vermenigvuldigd is).

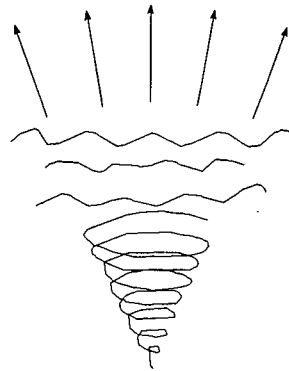
In beeld kunnen de tendensen als volgt uitgebeeld worden:



ontstaan en vergaan van elektriciteit,  
ongrijpbaar als één en al proces zonder vorm

bemiddelende warmte

verdichtende magnetische vorm



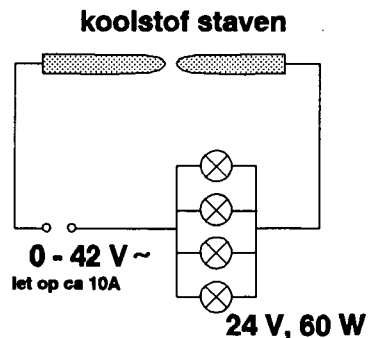
### 3.4 De vonk en de vonkzender

Vonkenverschijnselen treden in de volgende situaties op:

1. bij het verbreken van een elektrische kring;
2. bij het verdwijnen van elektriciteit.

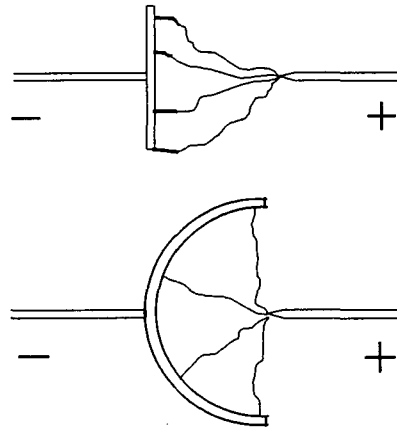
De vonk is een fenomeen dat optreedt aan grensvlakken. Onderbreekt men een elektromagnetische kring, dan treedt een vonk, een vlamboogachtig effect op. Bij een elektrisch lasapparaat is deze sterk ultraviolette vlamboog goed te zien. Door het kortstondig sluiten van een kring bij het lassen ontstaat het elektromagnetische effect en vervolgens kan men de kring verbreken en zal de vlamboog standhouden. De wegsplattende vonken bestaan uit verbrandend, gloeiend metaal, terwijl de blauwig paarse vonk tussen de contactplaatsen de elektromagnetische gasverbinding in de gesloten kring vormt. Ook bij een stopcontact of lichtsakelaar kunnen deze vonken optreden. Een mooie vlamboog kan men maken door in een kring twee koolstofstaven (bijvoorbeeld uit een batterij) op te nemen en als beveiliging tegen een te hoog amperage een aantal lampen in serie of parallel op te nemen.

Deze proef zonder lampen geeft bij circa 20 A een gigantisch lichteffect. Hierop was de vroegere koolspitslamp gebaseerd.



De vonkverschijnselen bij de elektriseermachine en de rhumkorff-inductor laten heel mooi de tegenstelling tussen de eigenschappen van de plus- en de minpool van de elektriciteit zien. De vonkbrug zal bij de rhumkorff over de minpool heen en weer bewegen en bij de pluspool in een punt geconcentreerd blijven. Men kan aan dit karakteristieke verschil tegemoet komen door de pluspool puntig en de minpool vlak te maken.

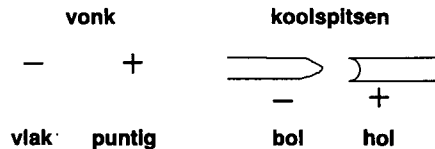
De vonkbrug is als geheel zeer beweeglijk, echter aan de pluspool dun en star en aan de minpool dik en beweeglijk. Draait men de aansluiting van de polen om, dan zal er ten eerste minder snel een vonkbrug ontstaan en ten tweede zal een vonkbrug op de rand van de vlakke en op de zijkant van de puntige elektrode gaan staan. Ook ontstaat er een sterkere lichtmantel om de vonk heen van de omtrek van de plaat naar de punt toe. Dit is alleen in het donker goed te zien en komt het beste tot zijn recht als men voor de ene pool een halve bol en voor de andere een punt als centrum heeft.



Een glimlampje op een rhumkorff of elektriseermachine dat aan de ene kant aan een elektrode vastzit en aan de andere kant vlakbij de elektrode geplaatst is, zal aan de kant van de minpool oplichten en bij de pluspool donker blijven.

De beschreven vonkverschijnselen en de vervorming van de uiteinden van de koolstofstaven van een koolspitslamp hangen nauw met elkaar samen.

De negatieve elektriciteit bewerkstelligt aan de elektrode een omhullend effect, terwijl de positieve elektriciteit als het ware een put slaat, waardoor deze elektrode wordt uitgehold. Het indringend puntige van de pluspool en het omhullend ronde van de minpool komen ook in de temperatuur van de elektroden tot uitdrukking. De anode (pluspool) is altijd heter dan de kathode (minpool) vanwege de ruimtelijke concentratie van de vonkverschijnselen. Naarmate de minpool heter is ontstaat de vlamboog gemakkelijker.

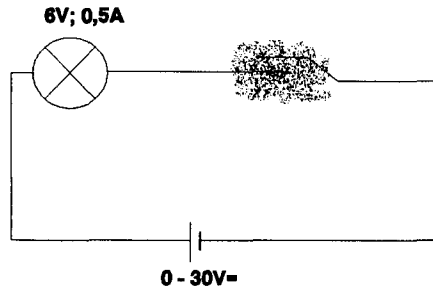


Er kunnen nog enkele fenomenen gezocht worden die het verschil tussen de plus- en minpool laten zien, zoals het edisoneffect. Om een gloeidraad ontstaat een negatief elektrisch veld, terwijl de vaste gloeiende draad positief is. Ook bij de batterij en bij wrijvingselektriciteit treedt een overeenkomstig verschijnsel op. De pool die het minste chemisch verandert is positief en bij wrijven is de hardste plaat, die het minst door wrijven verandert, eveneens positief. Ook in een onweerswolk is de bovenkant, de ijskant van de wolk, positief ten opzichte van de onderkant. Dit brengt met zich mee dat de hele atmosfeer positief elektrisch is ten opzichte van de negatieve aarde. Samenvattend:

<i>positief</i>	<i>negatief</i>
puntvlak,	bol
donker	licht
hard	zacht
edel	onedel
gloeidraad	vrije veld eromheen
ijs, hagel	wolkomgeving

Wanneer men proefjes doet met elektriciteit en magnetisme is men samen met de leerlingen geneigd zich te fixeren op de direct zichtbare en tastbare verschijnselen en te veronderstellen dat deze de kern van het verschijnsel betreffen. Dat dit maar zeer ten dele waar is bewijst de volgende verrassende proef.

Maak op een stuk triplex (zodat alles makkelijk verplaatst kan worden) een gesloten kring met een regelbare gelijkspanningsbron van 0-30 V, een lampje en een hoopje vetvrij ijzer- of nikkelvijlsel (met ether spoelen en de ether op filterpapier laten verdampen). Leg het vijlsel en de draaduiteinden

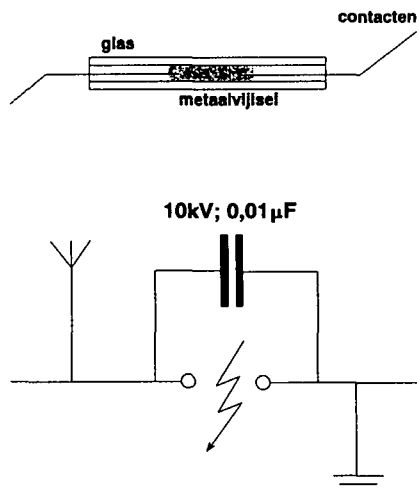


zo neer dat de lamp net niet gloeit. Knijp het vijlsel eerst samen en klop het daarna los door op het triplex te tikken. Draai nu aan de elektriseermachine met losgekoppelde leidse flessen. Wanneer de elektriseermachine veel kleine vonkjes geeft zal het lampje gaan branden. De afstand tussen vijlsel en elektriseermachine mag ongeveer een meter zijn.

Men kan de opstelling nog verbeteren door het nikkelvijlsel (een dubbeltje vijlen en vetvrij maken in ether) in een glazen buisje te doen

met links en rechts twee blank geschuurde draden. Zo'n buisje wordt een 'coherer' genoemd.

De elektriseermachine zonder leidse flessen wordt voorzien van twee draden, één als antenne en een tweede wordt verbonden met de waterleiding als aarde. Zet eventueel een condensator ( $0,01 \mu\text{F}$ ,  $10 \text{ kV}$ ) parallel aan de elektriseermachine. In plaats van een elektriseermachine kan men ook een rhumkorff- of van de graaff-generator nemen. De coherer zal nu op grotere afstand reageren, maar dit blijft een gevoelig proefje dat goed



voorbereid moet worden. Zet eventueel de antenne dicht bij de coherer. Toch heeft men volgens dit principe de eerste zenders gebouwd, waarmee men morsesignalen van Engeland naar Amerika zond.

De proef lukt met een antenne van circa 3 m en een AM transistorradio ineens veel beter. Waar men ook gaat staan in de school of daarbuiten, overall knettert de luidspreker van de radio door alle zenders heen. Een gelijksoortig effect kennen de leerlingen van het inschakelen van een lamp. Op een niet goed ontstoorde radio hoor je dan ook een geknetter. Hoe hoger de frequentie, des te beter het zendereffect. Enkele krachtige vonken, die langzaam na elkaar komen, geven dan ook geen effect op de radio.

Bij de verbeterde vonkenzenders werd de coherer door de klepel van een bel steeds losgeklopt en was dan klaar voor de volgende morsecode. De vonkenzender heeft ruim 20 jaar gefunctioneerd. Het grote probleem was echter dat er maar één zender tegelijkertijd gebruikt kon worden, omdat een coherer op alle elektromagnetische velden reageert. Het zenden met een vonkenbrug uitgaande van een bepaalde frequentie en het afstemmen van een coherer hierop was een moeilijk op te lossen technisch probleem. De bandbreedte van een zender bleef vrij groot.

Enige historische feiten. Tussen 1885 en 1889 ontwikkelde Hertz een oscillator met een rühmkorffinductor. Het bereik was ongeveer 50 m. In 1896 ontwikkelde Marconi een zender met antenne met een bereik van 2 km. In 1906 werd de eerste vonkenzender gebouwd die het gesproken woord kon overbrengen. Het afstemmen van een resonantiekring (spoel en condensator, zie paragraaf 3.7) van de vonkenzender met hoog-frequent

generatoren heeft veel technisch vernuft aangesproken. Rond 1900 werd de radiobuis uitgevonden, waarmee in 1913 de bestaande spreekzenders, met hoogfrequent generatoren, konden worden verbeterd, zodat deze al snel geheel verdrongen werden. De frequenties lagen in deze beginperiode in het gebied van de lange golven. In 1906 bereikte men met de beste machines slechts 100.000 Hz. In 1925 kon men met radiobuiszenders al 10 MHz bereiken (korte golf). Deze zenders hadden een veel lager vermogen met veel beter resultaat. Na 1948 vinden er ten opzichte van de voorgaande jaren in korte tijd ongelofelijke technische verbeteringen plaats door de uitvinding van de transistor. Vanaf 1900 bestond de draadloze telefonie en binnen 10 jaar waren er radiozenders, die niet ontstonden vanuit culturele of politieke behoeften, maar omdat de techniek er de mogelijkheid toe bood. Deze tendens dat de techniek de ontwikkeling in belangrijke mate bepaalt typeert de 20e eeuw in hoge mate.

De elektriciteit laat in zijn gestiek beelden zien van de ruimte. Het is het beeld van de kosmos van punt en oneindigheid, maar nu niet in hun samenhang maar in hun absolute tegenstelling. Ook bij de eerder beschreven karakteristieken van de plus- en de minpool komt de dualiteit van punt en bolvorm tevoorschijn. Elektriciteit scheurt als het ware het ruimte-continuüm uiteen in een absolute tegenstelling. Het elektrische verdwijnproces vindt in een kring vooral plaats bij lage frequenties. Hoe hoger de frequentie, hoe makkelijker het elektrische verdwijnproces zich verplaatst naar de ruimte en de verdwijnende elektriciteit en het behoudende magnetisme loskomen van de drager. Het verdwijnende, vrije elektromagnetische veld induceert in alle geleiders spanningen en wervelstromen (=magnetisme en warmte).

De tegenstelling elektriciteit en magnetisme werd in paragraaf 3.1 getypeerd door proces en vorm, beweging en verstarring. Elektriciteit toont in zijn proceskarakter ook de tegenstelling tussen beweging en verstarring. Magnetisme heeft als zodanig deze tegenstelling niet in zich, tussen de noord- en zuidpool is geen kwalitatief verschil. Magnetisme is helemaal geen veld met polariteiten, maar is één gesloten wervelveld, dat vastigheid en vorm creëert. Magnetisme onttrekt zich zoveel mogelijk aan de ruimte en creëert ruimtelijk vaste vormen. Elektriciteit spreekt zich duidelijk uit in de ruimte, maar scheurt deze als het ware uiteen in twee absoluut tegengestelden. Dit uiteenscheuren gebeurt natuurlijk niet volledig, maar partieel. De tendens in deze richting is er echter wel.

Bij de mens gaat het er niet om dat hij hard of zacht moet zijn. Bij de mens gaat het juist niet om een gespleten houding. Wel draagt hij aan de elektromagnetische natuurkrachten verwante psychische tendensen in zich. Zo kennen we de geprogrammeerde, gemaakte mens, die zijn

levenssituatie vastzet door uiterlijke zekerheid biedende vormen en die zich in macht en zekerheid wil uitleven; dit kunnen we de magnetische tendens noemen. De elektrische tendens wordt vertegenwoordigd door de mens die opgaat in paradijselijke waanvoorstellingen, in dweperij, alcohol en drugs en een niet geïntegreerd seksueel driftleven.

Zoals licht in de natuur verwant is aan het innerlijk van de mens en aan zijn denkkraft en warmte verwant is met het voelen en het doorvoelde denken, zo zijn elektriciteit en magnetisme verwant aan andere menselijke zieleneigingen, die vooral deze eeuw tot uiting komen, zoals egoïsme, verslaving, ideologie. Het dubbelgangerthema, de duistere zijde van de mens, is pas deze eeuw in de literatuur geïntroduceerd. Het één is geen gevolg van het ander, maar de natuur en de menselijke ontwikkeling staan in directe samenhang met elkaar. Elke menselijke ontwikkeling opent een nieuwe blik op de natuur.

### **3.5 Elektromagnetische fenomenen in gas- en vacuümbuizen**

Alvorens tot de beschrijving van de fenomenen in de gasbuis over te gaan zullen eerst enkele gezichtspunten gegeven worden die voor de begripsvorming van belang zijn. Wil men namelijk deze verschijnselen vanuit een fenomenologische invalshoek benaderen, dan merkt men dat men al snel geneigd is om de traditionele opvattingen over bewegende elektronen die door draden en gassen gaan erop toe te passen.

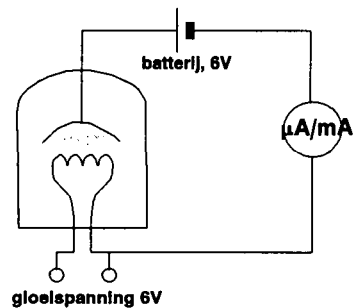
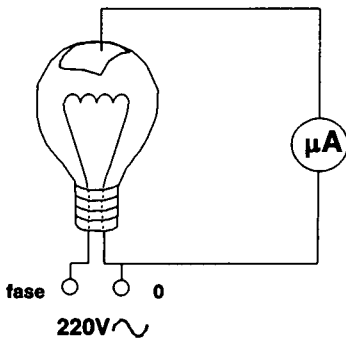
In 1995 verscheen een boek van A. Ploum getiteld "In de spiegel van het universum". Hierin worden aardse, kosmische en biologische fenomenen met elkaar in verband gebracht die een verrassende overeenkomst vertonen, zoals schedelbotten en de continenten, eencellig plankton en supernova's, de zonnecorona en de zonnebloem, enz. Ploum legt dus een relatie tussen het leven en uiterlijke verschijningsvormen. Een uitspraak van hem luidt dan ook: "God is een kopieermachine". Ook in onze beschouwingen zijn we al meermalen de verwantschap tussen het innerlijk van de mens en de uiterlijke natuur tegengekomen. In de menselijke ziel leeft ook een onbewust, ontoegankelijk gebied. Hier liggen potenties om tot de edelste, meest individuele daden te komen, maar tevens huist er in dit onbewuste een lagere natuur, waar egoïsme, agressie en de grootste onmenselijkheid uit tevoorschijn kunnen komen. Alles wat in positieve zin uit een mens voortkomt ligt niet kant en klaar in zijn ziel te wachten, maar kan tot ontplooiing komen wanneer de omstandigheden gunstig inwerken op de wilsintenties. Anderzijds kan zich in ongunstige omstandigheden ook zijn lagere natuur doen gelden. Men zegt wel dat men

bepaalde dingen "onder de knie" moet krijgen, opdat er geen dingen gebeuren die men niet wil.

De elektromagnetische fenomenen zijn verwant aan die aspecten van het zieleven waar de beschreven uitschieters uit kunnen voortkomen. Om dit te gaan zien moeten we de fenomenen niet beschrijven vanuit de gedachte van reeds aanwezige, bewegende elektriciteit die door botsen en duwen verandering teweegbrengt. We willen deze verschijnselen bekijken als dynamische toestanden, die steeds opnieuw ontstaan en vergaan. Zij ontstaan zoals we zullen zien in extreem polariserende omstandigheden, zoals hoge elektrische spanningen en grote verschillen tussen koude en warmte.

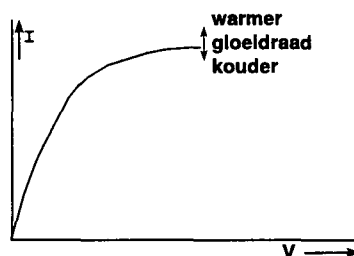
Inleidend op proeven met gasbuizen noemen we nogmaals enige fenomenen die het verschil tussen positieve en negatieve elektriciteit zeer duidelijk tot uitdrukking brengen.

1. De *vonkenbaan* bij de rühmkorffinductor en teslatransformator: de pluskant van de vonkenbaan is compact en ontspringt het liefst aan kanten of punten; de minkant versproeit, is beweeglijker en blijft het liefst op een vlak heen en weer dansen. Een glimlampje glimt op aan de minkant.
2. Het *edison-effect*: een gloeiend voorwerp of gas is positief elektrisch en heeft een negatief veld om zich heen. Dit kan men aan de volgende verschijnselen onderzoeken:
  - a. Een kaarsvlam bij een geladen elektriseermachine houden.
  - b. Een gloeilamp beplakken met een stukje aluminiumfolie en met een microampèremeter de stroom meten (neem hiervoor een elektronische voltmeter, daarmee kan men stromen meten vanaf  $10^{-12}$  A). Beweeg een statisch elektrische plaat van bovenaf naar de lamp. De ampèremeter zal bij een positieve plaat sterker en bij een negatieve plaat helemaal niet uitslaan.



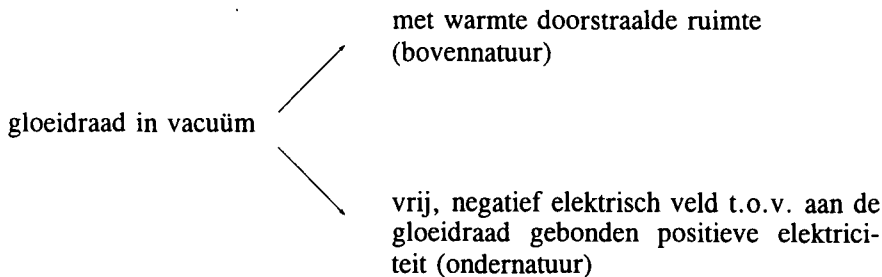
- c. Een speciaal voor dit doel vervaardigde lamp (zie laatste figuur vorige pagina). Als de bovenkant van de lamp negatief is, dan is er geen uitslag. Is de batterij zó aangesloten dat de bovenkant van de lamp positief is, dan slaat de  $\mu A$  meter extra uit.

Verhoogt men deze positieve spanning, dan zal de stroom/het -magnetisme tot een maximale waarde stijgen. Maakt men de gloeidraad warmer of kouder, dan ligt dit maximum respectievelijk hoger of lager. De buis is vacuüm, dus zonder gloeidraad is er geen kringeffect mogelijk. Een gloeiende, stralende gloeidraad maakt dus een kringeffect in één richting mogelijk.



Het vrije negatieve elektrische veld rond een gloeidraad creëert een verdwijnruimte voor het kringproces. Zonder batterij is de gloeidraad in een vacuümruimte de spanningsbron die een kringeffect mogelijk maakt. Het edison-effect is verwant aan de effecten bij een condensator, maar terwijl daar het veld gebonden is aan de platen, ontstaat er rond een gloeidraad een vrij elektrisch veld in de van warmte doorstraalde ruimte. In een met gas gevulde buis komt het veld minder gemakkelijk tevoorschijn. Het zit dan gevangen op of direct rond het grensvlak van de gloeidraad en het gas. Een plaat met een sterk positief veld kan dit veld van de gloeidraad bevrijden en de ruimte intrekken.

Het ontstaan van een warmte doorstraalde ruimte en een vrij elektrisch veld kan als een dual proces worden beschouwd, namelijk als een verijlings- respectievelijk verdichtingsproces, die tot de bovennatuur respectievelijk de ondernatuur behoren.





Hetzelfde treedt op bij wrijving waarbij, naast de wrijvingswarmte, bij de harde plaat positieve en bij de zachte plaat negatieve elektriciteit ontstaat. Bij de gloeidraad is de stralende warmte echter veel vrijer dan de stof-gebonden wrijvingswarmte. Het negatieve veld dat nu ontstaat is ook ruimtelijk vrij geworden. Ongebonden zijn, ruimtelijk vrij, ligt helemaal in het karakter van de elektriciteit.

3. Het *fotoëlektische effect* kan hier besproken worden.
4. Een *vlamboog* ontsteekt des te beter naarmate de minpool (de kathode) heter is. Bij teveel afkoeling van de kathode, bijvoorbeeld als deze van metaal is, dooft de vonk. Een gloeiende kathode laat daarentegen een vlamboog spontaan ontstaan, ook zonder de elektroden tegen elkaar aan de tikken. Hierbij speelt het ruimtelijk vrijkomen van het negatieve elektrische veld een belangrijke rol. De combinatie van een warme en een koude elektrode is zelfs in het verleden gebruikt als vlamboog-gelijkrichter.
5. Bij *onweer* is de naar de aarde toegekeerde wolkzijde normaal gesproken negatief, terwijl de aarde positief is. In geval van bliksem ontstaan er eerst "scheuren" in de ruimte, zowel vanuit de pluskant, de aarde, als vanuit de minkant, de wolk. Daarbij laat het scheurenpatroon aan de minkant een veel meer gedifferentieerde vertakking zien dan aan de pluskant. Is er een doorlopend pad tussen wolk en aarde gevormd, dan volgt de hoofdontlading die aan de minkant, de wolk, dan ook veel meer uitlopers heeft.

Op grond van de besproken verschijnselen kunnen de leerlingen een duidelijk beeld krijgen van de karakteristieke verschillen tussen de plus- en de minkant bij vlamboog- en vonkfenomenen. Voor zover deze verschillen verborgen blijven kan men ze zichtbaar krijgen door middel van de gasbuisproeven met verlaagde gasdruk. Samenvattend:

- Het ontstaan van elektriciteit toont alleen de tegenstelling tussen de plus- en de minelektricitet. Zo laat de elektroscop wel de tegenstelling zien tussen de polen, maar nog niet het kwalitatieve verschil. Ook bij de condensator is er nog geen kwalitatief verschil tussen de polen waarneembaar.
- Zowel bij galvanische als bij wrijvingselektricitet gaat men uit van kwalitatief tegengestelde materialen, bij wrijving van een harde en een zachte stof, bij een batterij van een edel en een onedel metaal. De verwantschap tussen de stoffelijke verschillen hard-zacht en edel-

onedel enerzijds en de verschillen tussen de elektrische polen anderzijds is in hoofdstuk 2 besproken.

- Bij het vergaan van de elektriciteit kunnen ook de kwalitatieve verschillen tussen de elektrische polen zichtbaar worden. Zo laat het kringeffect in gassen zien dat de min-elektriciteit ruimtelijk vrij kan komen van de kathode, terwijl de positieve elektriciteit altijd min of meer gebonden blijft. Ook in vloeistoffen komt dit karakteristieke verschil tussen min- en plus-elektriciteit naar voren, bijvoorbeeld in een koolstof-zink batterij. Hierbij is de koolstof (+) de blijvende pool, terwijl het zink (-) in oplossing gaat.

In het kort zullen de belangrijkste fenomenen die zich tussen de polen voordoen bij afnemende druk hier ten behoeve van de aansluitende beschouwing besproken worden\*. We gaan hierbij uit van een buis gevuld met lucht.

1. Bij een druk van ongeveer 0,1 bar bewegen knetterende linten langs de glaswand. Is de anode cirkelvormig dan raken de linten de rand. Bij de kathode is veel meer beweging te zien en vertakken de linten zich willekeurig en raken het oppervlak van de kathode ook op een willekeurige plek.
2. Bij afnemende druk wordt de linten dikker. Midden in de buis ontstaat een stabiel dun lichtlint. Het geknetter is grotendeels voorbij. Het licht bij de pluskant lijkt op één plek gefixeerd te zijn, terwijl het lint aan de minkant over de kathode heen en weer springt.
3. Aan de pluskant is een sterk lichtende rode wolk zichtbaar. Deze lichtzuil wordt vaal van kleur bij afnemende druk. Rondom de kathode ontstaat een violet lichtkussen dat zich bij afnemende druk uitbreidt. Ertussen is geen licht te zien: de zogenaamde donkere ruimte van Faraday.

4. De positieve lichtzuil wordt valer en kleiner en krijgt tegelijkertijd een gelede schijfstructuur. De kleur is sterk afhankelijk van het gas. Het mineffect heeft drie aspecten:



- violet lichtkussen op de kathode. Deze kleur is onafhankelijk van het gas;
- de donkere ruimte van Faraday;

\* De proeven met gasbuizen zijn goed beschreven in: *Geluid, elektriciteit en magnetisme* van R. van Romunde en: *Wesenzüge der Elektrizität* van R. Cantz.

- een schijnsel ontstaat rond de kathode, het zogenaamde negatieve glimlicht. De kleur is min of meer complementair aan die van het positieve licht. Enkele voorbeelden:

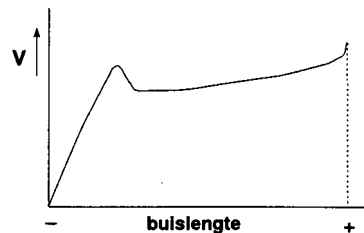
	<i>argon</i>	<i>waterstof</i>	<i>helium</i>	<i>stikstof</i>
negatief glimlicht	donkerblauw	lichtblauw	groen	blauw
positieve lichtzuil	diep rood	roze	violet	rood

5. Wordt de luchtdruk nog lager, dan vervaagt alles en wordt de ruimte van Faraday groter. Men krijgt de indruk dat het negatieve glimlicht de positieve lichtzuil wegduwt. Dit is heel goed te zien wanneer de spanning flink gevarieerd wordt. Bij hogere spanning gebeurt hetzelfde als bij lagere druk: de verschijnselen aan de minkant breiden zich uit ten koste van de lichtzuil aan de pluskant.
6. Is er in de buis nauwelijks nog iets zichtbaar, dan gaat het glas tegenover de kathode groen oplichten. Deze plek kan met behulp van een magneet gevarieerd worden.

Extra waarnemingen:

- Heeft men een gasbuis waarbij de anode en kathode zich niet in elkaars verlengde bevinden, dan zullen de beschreven effecten aan zowel de plus- als minkant gewoon optreden en zich onafhankelijk van elkaar loodrecht op hun pool uitbreiden.
- In de kring meet men gewoon een stroom/magnetisch effect, die/dat tot fase 4 toe- en daarna afneemt.
- Meet men het spanningsverloop in de buis, dan blijkt dit niet helemaal evenredig met de lengte te zijn. Ten eerste is er een vrij hoge doorslagspanning nodig om de buis in oplichtende toestand te brengen. Daarna kan met een veel lagere spanning worden volstaan (denk aan de TL-buis met starter en smoorspoel). Voordat de doorslagspanning is bereikt, is er wel een minimaal kringeffect meetbaar dat daarna echter miljoenen malen groter wordt. Het spanningsverloop in de buis langs de lengterichting verloopt als volgt:

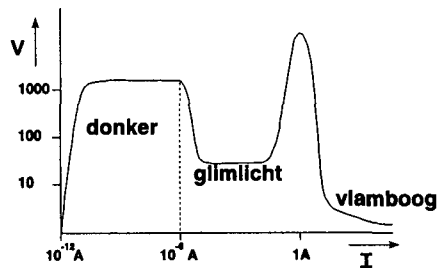
Bij de kathode is er bij iedere druk een vrij groot spanningsverschil te constateren, terwijl het spanningsverschil in de positieve lichtzuil gering is. Het spanningsverschil bij de kathode is afhankelijk van het gas en van het materiaal van de kathode, maar niet van de druk. Zie voorbeelden.



	<i>argon</i>	<i>waterstof</i>	<i>helium</i>	<i>stikstof</i>
aluminium	100 V	170 V	140 V	300 V
ijzer	130	200	150	360

- Afhankelijk van het kringeffect is er op de kathode een grotere of kleinere lichtvlek te zien. Bedekt deze lichtvlek het hele vlak van de kathode, dan is het amperage groot genoeg geworden voor een vlamboog. Als tegenproces neemt de benodigde spanning tussen kathode en anode nog flink toe tot waarden die in de buurt van de doorslagspanning liggen. In een grafiek kunnen de verschillende effecten gezamenlijk weergegeven worden:

Om het gasbuiseffect te krijgen is er behalve een grote spanning een zeker minimaal amperage nodig om de doorslag naar de nieuwe fase te laten plaatsvinden. Wil men overgaan tot het vlamboogeffect, dan is er opnieuw een spanningsbarrière, die alleen door een drastisch



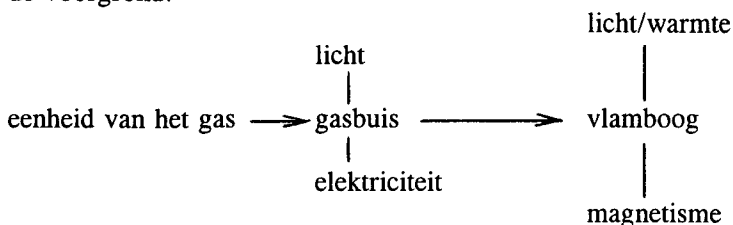
toegenomen kringeffect kan worden gepasseerd. Meestal creëert men een vlamboog door via het aanstippen van de elektroden de barrièrespanning te ontlopen. Is er eenmaal een vlamboog ontstaan, dan is het benodigde spanningsverschil direct aan het oppervlak van de kathode ongeveer gelijk aan de kleine anodespanningsval bij het gasbuiseffect. De vlamboog is verwant aan de positieve lichtzuil bij het gasbuiseffect, met zijn kleine spanningsverschil. Bijzonder is nog dat de vlamboog zich bij de anode concentreert op een klein vlakje, terwijl de kathode het snelst verdampt.

We zullen in het vervolg een aantal invalshoeken kiezen om de karakteristieken en wetmatigheden van de naar voren gebrachte fenomenen te ontdekken.

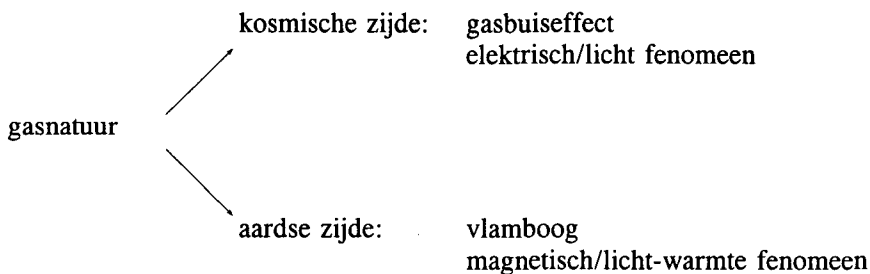
In de *V-I* grafiek komt duidelijk naar voren dat het allereerste zeer zwakke begin verloopt volgens de wet van Ohm: spanning en amperage zijn evenredig. Het gas gedraagt zich als een gewone, maar wel zeer slechte geleider. De polariserende tendens die in een gesloten kring plaatsvindt, heeft in dit allereerste begin nog geen grip op het gas. Het gas vertegenwoordigt in hoge mate een toestand van eenheid. Alle gassen zetten evenveel uit en het molair volume van alle gassen is gelijk. Het gas verzet zich tegen de polariserende werking die van het elektromagnetisme

uitgaat. De eenheid wordt uiteindelijk uiteengescheurd in een elektrisch, verdwijnend-oplossend proces en een magnetische gefixeerde vorm. Het gas dat van zichzelf uit grenzeloos is, kan dit dualisme niet laten ontstaan zonder meegetrokken te worden in het verdwijnproces van de elektriciteit, zodat een lichtend gas ontstaat. De spanning daalt dan bij toenemend amperage. Wanneer het gas de dualiteit van grote elektrische spanning en geringe stroom/magnetisme niet meer kan weerstaan, klapt zijn weerstand in en geeft het zich als het ware geheel aan de verdwijnende tendens van het elektrische proces over. Daarmee is het gasbuiseffect vooral een elektrisch proces, dat het kwalitatieve verschil tussen de positieve en negatieve pool in optima forma laat zien. Het magnetisch effect is hier verstopt aanwezig.

Bij verdere stroomtoename treedt er een tweede spanningsbarrière op, waarna een nieuwe doorbraak mogelijk wordt in het ontstaan van het vlamboogeffect. De weerstand blijkt nu grotendeels weg te vallen, de stroom wordt heel groot. De grootst denkbare tegenstelling tussen fel licht met een zeer hete vlam en een krachtig magnetisme anderzijds treedt op de voorgrond:



Vanuit een ander gezichtspunt gezien is het gasbuiseffect een kosmisch-atmosferisch fenomeen, omdat het verwant is aan het poollicht dat zich in een ijle atmosfeer op zo'n 200 km hoogte voordoet, terwijl de vlamboog ook bij hoge druk uitstekend functioneert en meer verwant is aan de zon of de aarde, vanwege het samengaan van licht, warmte en een sterk magnetisch effect:



Terwijl de vlamboog sterk kringgebonden is, manifesteert de elektriciteit in de gasbuis zich ongebonden in de vacuümruimte. Het plus- en min-effect zijn dan ook niet op elkaar georiënteerd. De ruimte van Faraday bij de kathode geeft hetzelfde beeld als het edison- en fotoëlektrische effect. Het vrije elektrische veld en het elektrische gas zijn beide onzichtbaar. In de ruimte van Faraday komen ze het sterkst naast elkaar voor, terwijl ze in de positieve lichtzuil op elkaar inwerken en het lichtende gas ontstaat.

Ook het elektrische veld van de aarde, waarbij de aarde min is en de plus in de atmosfeer niet gelokaliseerd aanwezig is, geeft een prachtige analogie met de gasbuis: de negatieve pool is daarin de vaste pool en de positieve pool wordt vertegenwoordigd door de hele lichtzuil. De spanningsval in de positieve lichtzuil is minimaal, zodat men de hele zuil als een verlengde anode zou kunnen typeren. De kathodeval is naast de breakdown heel karakteristiek voor dit vrije elektrische fenomeen, zoals de aarde dat is voor de atmosfeer eromheen.

Zoals bij de gesloten kring de magnetische structuur tevoorschijn gezogen wordt door de verdwijnende elektriciteit, zo komt aan de minpool (niet uit de minpool) door de kathodeval het min-effect tevoorschijn. Wanneer het elektrodemateriaal en het gas meer 'open' zijn, wanneer dus gemakkelijker de elektrische ondernatuur tevoorschijn kan komen, is een lagere spanning voldoende om dit te realiseren. Dit is het geval wanneer bijvoorbeeld de kathode warm is, of met bepaalde stoffen bestreken, zoals bariumoxide of strontiumoxide, of bij de fotocel, waarvan het materiaal heel oxidatiegevoelig moet zijn.

De vrije negatieve elektriciteit komt dus tevoorschijn aan een grensvlak dat als het ware 'open' gezogen wordt door een elektrisch veld (de kathodeval). De positieve lichtzuil is als het ware een verlengde aarde. Hij wordt omschreven als een plasma, dat wil zeggen dat de ruimtelading neutraal is, terwijl het gas toch in een elektrische toestand is en de spanningsval klein en gelijkmatig.

Het plus- en mineffect bij lage druk kunnen ook nog ieder voor zich bestudeerd worden:

*min-effect*

Reageert op zwak magneetveld.

*plus-effect*

Reageert alleen op sterk magneetveld (> 1000 maal sterker)

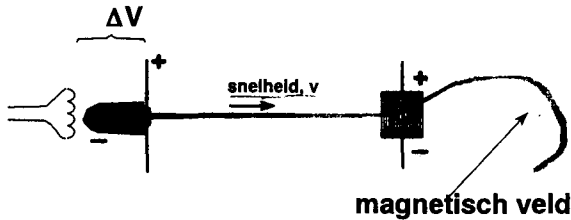
De afbuiging is loodrecht op het magneetveld, maar is bij de plus- en de minpool in onderling tegengestelde richting. Het plus-effect buigt op dezelfde manier af als een draad in een magnetisch veld.

De ruimte-uitbreiding van het veld gaat met verschillende snelheid:  
 grote snelheid  $\approx \frac{1}{2}c$                       lagere snelheid  $\approx 0,01c$

Het is negatief elektrisch, net als een geweven zachte plaat, en buigt dus af in de richting van een positieve pool.

Het is positief elektrisch, net als een geweven harde plaat, en buigt dus af in de richting van een negatieve pool.

Het pluseffect, doorgaans anodestraling of kanaalstraling genoemd, wordt technisch toegepast bij gasbuislampen en de massaspectrometer. Het min-effect, ook wel kathodestraling genoemd, wordt technisch toegepast in de oscilloscoop, de televisie en de röntgenbuis. Dit zijn vacuümbuizen waar door een gloeidraad vrije negatieve elektriciteit ontstaat. Dit veld wordt dan vervolgens versneld door een plusplaat met opening en tenslotte elektrisch of magnetisch afgebogen.



Deze situatie is als volgt kwantitatief uit te werken.  
 De snelheid van de kathodestraling kan gemeten worden. Er geldt:

$$\Delta V \propto v^2$$

Tussen de condensatorplaten wordt het veld parabolisch afgebogen. De sterkte van het veld en de tijd die het veld tussen de platen is bepalen de dwarsverplaatsing. Er geldt:

$$s \propto E \cdot t^2 = E \cdot \frac{l^2}{v^2}$$

- waarin:  $s$  = dwarsverplaatsing
- $E$  = veldsterkte in Volt per meter
- $l$  = breedte van de condensatorplaten
- $v$  = veldsnelheid

Wil men van deze twee evenredigheden vergelijkingen maken, dan moeten er evenredigheidsconstanten ingevoegd worden:

$$v^2 = c_1 \cdot \Delta V \quad \text{waarbij} \quad c_1 = 2 \cdot 17 \cdot 10^{10} \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}^2}$$

en

$$s = c_2 Et^2 \quad \text{waarbij} \quad c_2 = \frac{1}{2} \cdot 17 \cdot 10^{10} \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}^2}$$

Voor de cirkelvormige afbuiging met straal  $r$  in een magneetveld geldt de volgende experimentele relatie:

$$v \propto Br$$

waarin:  $v$  = veldsnelheid  
 $B$  = magnetische veldsterkte  
 $r$  = straal van de baan

Als vergelijking wordt dat:

$$v = 17 \cdot 10^{10} Br$$

Er geldt dus de volgende relatie tussen de versnelling  $\Delta V$  en de magnetische inductie  $B$ :

$$\Delta V = \frac{1}{2} \cdot 17 \cdot 10^{10} (Br)^2$$

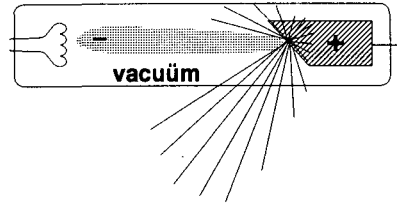
Omdat  $B$ ,  $v$  en  $r$  loodrecht op elkaar blijven staan is de baan cirkelvormig.

De waarde  $17 \cdot 10^{10} \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}^2}$  is karakteristiek voor vrije elektriciteit.

Men ziet dat berekeningen mogelijk zijn zonder enig model van deeltjes en massa's toe te passen. Puur vanuit de gemeten relaties worden de formules gevonden. Het model gaat schuil in de constante die de relatie tot een vergelijking maakt. Aan alle bekende modelbegrippen ligt een fenomeen ten grondslag. Dit fenomeen in de voorstelling opnemen is veel belangrijker dan de geïsoleerde modelvoorstelling als feitelijkheid te proclameren. Deze manier van beschrijven geeft een solide basis om bijvoorbeeld de radioactieve verschijnselen te behandelen.



Aansluitend kan de oscilloscoop gedemonstreerd en besproken worden. Ook de röntgenbuis kan nu ter sprake worden gebracht. De buis moet een grote onderdruk hebben en voorzien zijn van een gloeidraad. Het effect treedt pas op bij hoge versnellingen tussen kathode en anode. De anode wordt dan plaatselijk zeer warm. Een zeer klein gedeelte van het vermogen, ongeveer 2%, laat aan de anode een nieuw effect ontstaan. W.C. Röntgen noemde dit effect in 1895 X-stralen. Ze zijn niet elektrisch of magnetisch en reageren niet op uitwendige velden. Verder straalt het effect vrijwel overal doorheen. Hoe hoger de versnelling, des te dieper zal deze straling in voorwerpen doordringen. Men spreekt dan van harde röntgenstralen. Met röntgenstraling kan men foto's maken, omdat bepaalde platina- en zinkzouten onder invloed van deze straling fluoresceren. Zo'n fluorescerende plaat belicht dan weer een fotogevoelige plaat. Terwijl rond de gloeidraad vrije elektriciteit ontstaat, wordt deze bij de anode abrupt vernietigd en ontstaat er röntgenstraling en zeer veel warmte. Op aarde worden processen meestal snel opgenomen in het geheel en ebben verschillen snel weg. Dit is in hoge mate het geval met stofgebonden warmteverschillen. Röntgenstraling daarentegen wil zijn eigen natuur sterk handhaven en laat zich niet gemakkelijk teniet doen. Het kan daarom als een sterk geëmancipeerd en geïsoleerd fenomeen worden beschouwd.



Röntgenstraling werkt vernietigend in op levende organismen. Men kan zich alleen tegen deze straling beschermen door voldoende afstand te houden. Hij gaat dwars door je heen en tast de levensprocessen aan, terwijl daarnaast warmte ontstaat. De kans op het ontstaan van kanker wordt vergroot. Kanker in het organische gebied heeft dezelfde karakteristiek als de röntgenstraling in de anorganische natuur. Het wil zelfstandig blijven en zich niet laten opnemen in het geheel. Kanker wordt wel een koude ziekte genoemd, omdat het warmteorganisme van het lichaam er niet helend op kan werken. Röntgenstraling tast dus de eenheid van het organisme aan, waardoor ongecontroleerde wildgroei mogelijk is. Met de huidige apparatuur, waarbij heel kortstondig minimale intensiteiten gebruikt worden, is de aantasting gering, hoewel zoveel mogelijk bescherming, bijvoorbeeld door een loden scherm of schort, nodig blijft. Lood heeft de kleinste halveringsdikte voor de doorlating van röntgenstraling en wordt daarom als afschermend materiaal gebruikt.

Wat is nu eigenlijk de natuur van röntgenstraling? We bekijken de fenomenen en vergelijken deze met andere.

- De straling ontstaat aan een oppervlak door sterk versnelde negatieve elektriciteit.
- De verdwijnende negatieve elektriciteit laat in hoofdzaak warmte ontstaan, zodat een grote röntgenbuis flink gekoeld moet worden of maar heel kort kan worden gebruikt, en voor slechts ongeveer 1% röntgenstraling produceert.
- De straling straalt alzijdig uit, maar de ruimtewerking is niet homogeen. (Schuin) naar voren is de intensiteit het grootst.
- Scherend contact met een materiaal geeft in lichte mate richtingverandering.
- De straling werkt vernietigend op het leven in, veroudering treedt op en de kans op wildgroei van cellen neemt toe. De vitaliteit en regeneratievermogen van cellen neemt af na bestraling.

Vergelijkbare fenomenen:

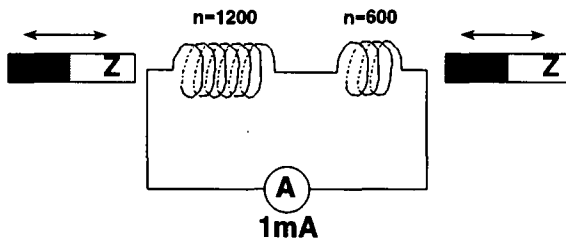
- Hoogfrequente elektrische velden gaan ook door veel stoffen heen en breiden zich, afhankelijk van de antennevorm, uit in de ruimte.
- Het fenomeen van de richtingverandering bij scherpende inval hangt nauw samen met het verschijnsel spiegeling. Ieder oppervlak gaat voor het oog namelijk spiegelen wanneer je er scherpend langs kijkt.
- Bij het gesloten kringproces is er een direct verdwijnproces in relatie tot het oneindige.

Voorlopig kan röntgenstraling getypeerd worden als een heel sterk polariserend effect tussen leven en dood, waar de natuur zich door middel van warmte krachtig tegen verzet, maar waar hij na het ontstaan nauwelijks greep meer op heeft. Röntgenstraling bewerkstelligt een scheiding tussen het levende en datgene wat door de zintuigen gegeven is. Het leven zou op aarde niet werkzaam kunnen zijn met röntgenstraling, dood en misvorming zouden hun intrede doen. De beste bescherming tegen röntgen is afstand bewaren, niet omdat het eenzijdig is voor de ziel, maar omdat het lichaam ontoegankelijk wordt voor het leven en daarmee onbruikbaar voor ziel en geest.

Andere toepassing van anode- en kathodestraling, zoals diode, triode, lampen en de massaspectrometer zullen in hoofdstuk 4 besproken worden.

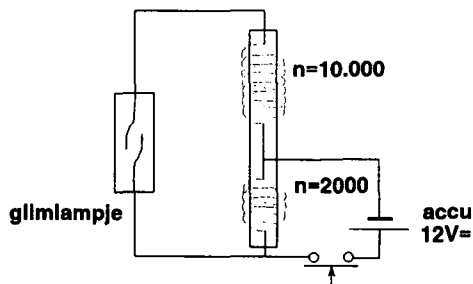
### 3.6 Inductie en zelfinductie

Faraday ging van de uit het leven gegrepen gedachte uit dat alle fenomenen samenhangen en op elkaar inwerken. Wanneer één verschijnsel verdwijnt of afneemt, moet een ander ontstaan of toenemen. Ontstaan en vergaan in een wederzijdse wetmatige afhankelijkheid typeert de zoektocht van Faraday. Vandaar zijn vermoeden dat wanneer bij het verdwijnen van elektriciteit magnetisme en warmte ontstaan, dit ook omgekeerd moet kunnen. Zo ontdekte hij de inductie en het thermokoppel. Enkele demonstratieproeven:



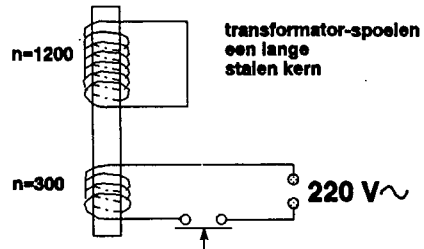
1. Beweeg de magneet in spoel 1 en daarna in spoel 2. De ampèremeter slaat alleen uit als de magneet beweegt en slaat de andere richting uit als de magneet in de andere richting bewogen wordt of de windingsrichting omgekeerd wordt. De grootte van de uitslag loopt op bij het toenemen van drie factoren:
  - de snelheid waarmee de magneet beweegt;
  - het aantal windingen van de spoel;
  - de sterkte van de magneet (doe de proef nogmaals met twee magneten naast elkaar, namelijk N tegen N en vervolgens N tegen Z, om te laten zien dat het veld zich verstoort).
2. Wentel de magneet rond zijn as voor de spoel met of zonder ijzeren kern. Er ontstaat een inductieëffect in de spoel. Hiermee wordt de dynamo in herinnering gehaald, zoals deze in de 9e klas besproken werd.

3. Maak de spoel met 2000 windingen elektromagnetisch door hem op een accu aan te sluiten en onderbreek vervolgens deze kring. Het glimlampje zal nu aan de onderkant oplichten: dit zal

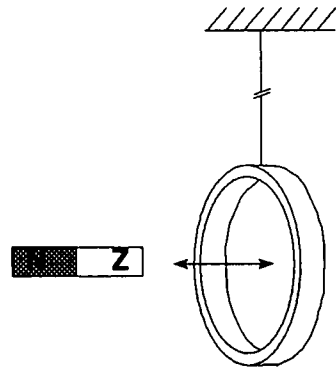


dus de minkant zijn. Deze proef maakt de relatie tussen de elektromagneet en de inductiespoel duidelijk. De inductiespanning is tegengesteld aan het elektromagnetische proces dat hem laat ontstaan. Het principe van de bobine, de rhuimkorffinductor en het schrikdraad is hiermee herhaald.

4. De transformatorspoelen dienen door een lange ijzeren kern verbonden te worden. Spoel 1 zorgt voor een wisselend magneetveld, spoel 2 is de inductiespoel. Zolang de kring van deze spoel open is ontstaat er alleen inductiespanning. Sluit men spoel 2 kort, dan zal deze bij verticale opstelling boven spoel 1 gaan zweven! Spoel 1 en 2 zijn dus steeds gelijk gericht, beide N of beide Z. De inductie werkt als een tegenproces en wil iedere verandering minimaliseren. Neemt men in plaats van spoel 2 een ijzeren ring, dan wordt deze de lucht in geschoten.



5. Een gesloten aluminium ring wordt vrij opgehangen. Beweegt men de magneet naar de ring toe, dan wordt deze meegenomen ofwel "weggeduwd". Beweegt men de magneet uit de ring, dan wordt deze weer meegenomen ofwel "vastgehouden". Men noemt dit de wet van Lenz: Als een geleider zich in een veranderend magneetveld bevindt, ontstaat er om deze geleider een magneetveld dat de verandering tegengaat.



Zijn ring en magneet uit elkaar, dan willen ze dus ook uit elkaar blijven (de magnetische inductie van de ring vormt een tegenproces ten opzichte van de magneet); zijn ze samen, dan willen ze elkaar niet loslaten. Steeds tendert het magnetisme ernaar de bestaande situatie te handhaven door tegenprocessen op te roepen die elke verandering teniet doen. Op psychologisch vlak kan men een vergelijkbaar verschijnsel waarnemen: een relatie tussen bijvoorbeeld echtgenoten die onder druk staat of dreigt te breken, kan als tegenproces een zich aan-

passend of onderschikkend gedrag oproepen, een poging om (eventueel ten koste van de eigen ontplooiing) de bestaande situatie te handhaven.

6. Sluit men een spoel met veel windingen en een grote goed gesloten ijzeren kern aan op een gelijkspanning, dan ziet men de ampèremeter slechts langzaam naar de maximale waarde toekruipen. Zonder kern is dit heel anders. Houdt men de uiteinden 1 en 2 tussen duim en wijsvinger, dan krijgt men een treffend schrikdraadeffect. Ook licht een glimlampje, vooral bij het uitschakelen, mooi op. Het sterke spoeeffect remt bij het inschakelen het ontstaan van een maximaal kringeffect door het tegenproces van de magnetische inductie.
7. Aansluitend kan men nog de transformator, de inductieverwarming, het elektrisch lassen en de hoogspanning behandelen.

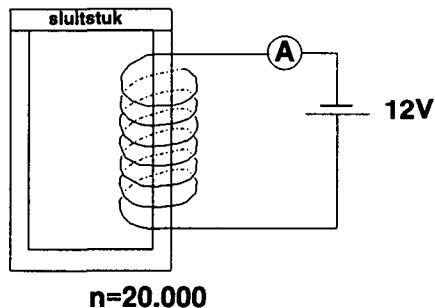
### 3.7 Spoel en condensator

In deze paragraaf zullen de effecten van wisselspanning op een kring met een spoel, een condensator, of met een combinatie van beide na elkaar besproken worden.

#### *Het in- en uitschakeffect bij een spoel*

1. Het inschakeffect:

Een spoel van ca 20.000 windingen met een goed sluitende kern met geslepen raakvlakken wordt aangesloten op 12 V gelijkspanning. De ampèremeter komt maar langzaam tot zijn maximale waarde, terwijl de spanning over de spoel meteen 12 V is. Dit effect is des te sterker wanneer de spoel veel windingen heeft en van een gesloten ijzeren kern voorzien is. Het lage amperage is ook merkbaar aan het feit dat het sluitstuk van de kern niet onmiddellijk vast zit.

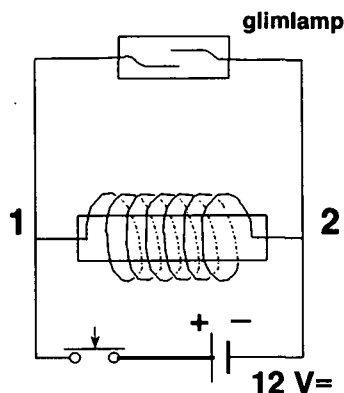


In de bovenstaande situatie werkt het magnetisme dat ontstaat remmend op het ontstaan van een kringeffect. Spanning en magnetisme/stroom nemen hier niet zoals bij een enkelvoudige draad rechtevenre-

dig toe. Tijdens het inschakelproces loopt de sterkte van het magnetisme achter op de spanning, die meer mogelijk zou kunnen maken.

## 2. Het uitschakeleffect:

Een spoel van ca 20.000 windingen met een goed sluitende ijzeren kern wordt parallel met een glimlampje aangesloten op een spanning van 12 V. De batterij geeft een magnetisch kringeffect. Onderbreekt men de kring, dan ontstaat blijkens het oplichten van het glimlampje een hoge inductiespanning, waarbij kant 1 van de spoel negatief wordt. Om de polariteit van het magneetveld te bepalen hanteert men de kurkentrekkerregel: draait men in de kring van plus naar min, dan schroeft de kurkentrekker in de richting van het magneetveld, dat wil zeggen in de spoel van zuid naar noord. De inductiespanning van de spoel, die nu mede-spanningsbron wordt, wil het magnetisch kringeffect in stand houden. Ook hier blijft het magnetisme (stroom) achter bij de veranderende spanning. De spanning is steeds de potentiële aanleiding tot het kringproces.



### *Het in- en uitschakeleffect bij een condensator*

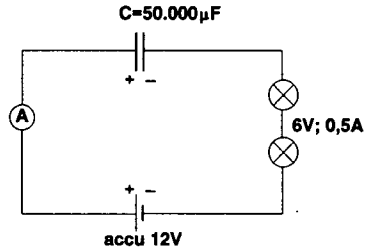
De werking van de condensator kan men heel toegankelijk demonstreren met behulp van de elektriseermachine van Whimshurst. Schakel de leidse flessen uit en draai de machine. De elektrische influentie die ontstaat drukt zich uit in de spanning tussen de polen. De afstand tussen de polen is een maat voor de spanning die weerstaan kan worden. De kracht van de vonk is een maat voor de hoeveelheid elektriciteit. Maakt men aan beide polen een vlakke plaat of bijvoorbeeld een pan vast, dan neemt het oppervlak toe. Het geheel blijkt nu niet zo snel op spanning te komen, maar daar tegenover staat dat de vonk des te krachtiger is. Brengt men de platen naar elkaar toe met een dik stuk plastic ertussen, dan wordt de vonk steeds krachtiger en neemt de vonkfrequentie af. De hoeveelheid elektriciteit per vonk neemt toe en bereikt een maximum bij een minimale afstand tussen de platen. De platen worden dan door het veld tegen elkaar aan gezogen. De tegenstelling tussen positieve en negatieve elektriciteit wil zich opheffen en geeft een steeds grotere veldverdichting tussen de platen.

Een condensator kan men ook gebruiken bij heel lage spanningen, men kan dan de platen heel dicht bij elkaar brengen. Bij de elektrolytische

condensator wordt een oxidelaagje als isolerende laag toegepast. Let op de vaste plus en min-aansluiting. Kies voor onderstaande proef een elektrolytische condensator van circa  $50.000 \mu\text{F}/30 \text{ V}$ .

**In- en uitschakeleffect:**

Sluit men de kring, dan zullen de lampjes meteen fel oplichten en dan weer langzaam uitdoven. De ampèremeter zal tot een maximale waarde uitslaan en dan langzaam teruglopen. Meet men gelijktijdig de spanning over de condensator dan blijkt deze langzaam toe te nemen. Is de stroom/het



magnetisme maximaal, dan is de spanning minimaal en omgekeerd. Onderbreekt men de kring en sluit men deze na enige tijd opnieuw, dan blijkt er niets te gebeuren. Sluit men de kring dan echter zónder accu, dan lichten de lampjes opnieuw op. De ampèremeter slaat dan de andere kant uit. De condensator wordt in deze situatie blijkbaar een tijdelijke spanningsbron, waarbij een omgekeerd kringeffect ontstaat. In eerste instantie laat de condensator het kringproces toe: het elektrische verdwijnproces vindt dan ook tussen de platen plaats. Komt de condensator op spanning, dan werkt deze spanning als een tegenproces, waardoor het proces geremd wordt. Het inschakelmoment heeft daarom het meeste proceskarakter. Tevens valt op dat het in- en uitschakeleffect even sterk, maar gespiegeld verlopen, waarbij de grootste activiteit direct na het in- en uitschakelen optreedt. Dit in tegenstelling tot de spoel, die niet op gang wil komen en bij het uitschakelen de kring juist als een laatste stuiptrekking nog in stand wil houden.

We zien dus de volgende karakteristieken:

***condensator***

Grote dynamiek en directheid, maar de condensatorkring kan tijdelijk onderbroken worden. Het proces kan dan even later vervolgd worden.

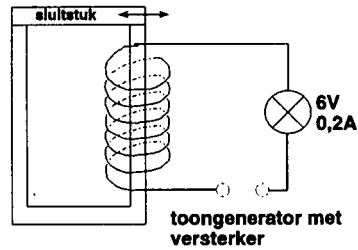
***spoel***

Geremde dynamiek en traag verlopend. Het proces heft zich "stuiptrekkend" op zodra de kring onderbroken wordt.

***Wisselspanning bij een spoel***

Introduceer de frequentiegenerator, bijvoorbeeld met een hoogohmige luidspreker in een kring of een lampje dat aan- en uitgaat. Gebruik in de proefopstelling een spoel met afneembare ijzeren kern. Let op:

draai de frequentiegenerator steeds terug op nul wanneer men de kring verbreekt. Dit in verband met de inductie-effecten die de versterker kunnen beschadigen.



Proeven:

1. Sluit de kring met spoel maar zonder kern. Stel de frequentie in op 200 Hz. De lamp zwak laten gloeien. Als nu vervolgens de ijzeren kern in de spoel wordt gedaan en het sluitstuk van de kern aangebracht wordt, zal de lamp uitgaan.
2. Varieer nu de frequentie en zoek naar de maximale frequentie waarbij de lamp nog net niet gloeit.
3. Varieer het aantal windingen. Bij meer windingen gaat de lamp al bij een lagere frequentie uit en is de maximale frequentie dus lager. Meer windingen of meer ijzer geeft een groter spoeeffect en dus meer remming van het kringeffect.
4. Zelfs een spoel met weinig windingen en zonder kern werkt bij hoge frequenties nog sterk remmend op het kringeffect.

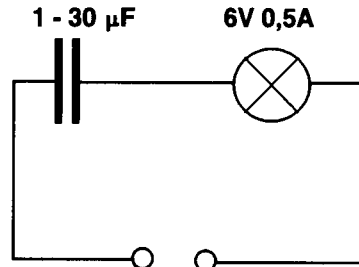
Wanneer de frequentie relatief laag is, heeft de kring de beste gelegenheid om tot een krachtig effect te komen, omdat het tegenproces alleen kan werken tijdens veranderingen (het zogenaamde naijlen). Komen de in- en uitschakelmomenten snel achter elkaar, dan is de remmende werking van de spoel groter. De spoel heeft een tendens tot statische situaties. Iedere verandering vermindert het kringeffect, omdat de spoel zich verzet tegen verandering en dus een lange aanlooptijd nodig heeft om zich aan te passen aan een verandering. *Conclusie: Bij lage frequenties is er een sterk kringeffect; hoge frequenties worden door de spoel in de kring niet toegelaten.*

#### ***Wisselspanning bij een condensator***

Kies een condensator bijvoorbeeld van een elektromotor van 20  $\mu\text{F}$ , 380 V. De veel kleinere capaciteit is gelegen in de veel grotere afstand tussen de platen waar in dit geval een papier of kunststoffolie tussen zit. (Elektrolytische condensatoren zijn niet geschikt voor wisselspanning). Laat eerst de lamp zonder condensator branden en voeg daarna de condensator toe. Zet de frequentiegenerator op nul wanneer de kring verbroken wordt.



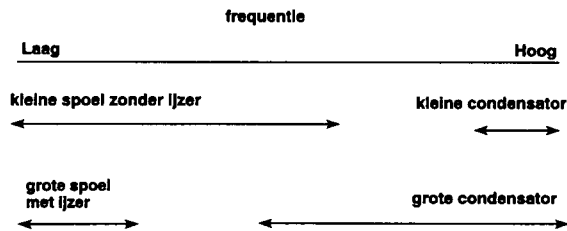
1. Bij lage frequentie zal de lamp niet branden. Afhankelijk van de capaciteit van de condensator gaat de lamp bij hogere frequentie gloeien.
2. Hoe kleiner de capaciteit hoe hoger de frequentie waarbij de lamp gaat gloeien.



**toongenerator  
met versterker**

Een condensator functioneert dus in een kring het best wanneer de spanning verandert. Omdat hij slechts kortstondig een kringeffect in stand kan houden, levert een condensator de beste bijdrage aan dat kringeffect bij relatief hoge frequenties. Conclusie: *Hoge frequenties geven een sterk kringeffect; lage frequenties maken een sterk kringeffect onmogelijk.*

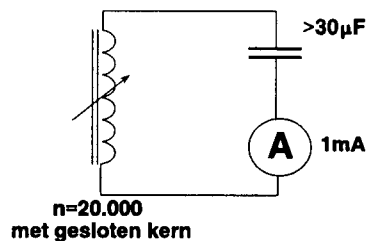
Vergelijking van de spoel en de condensator:



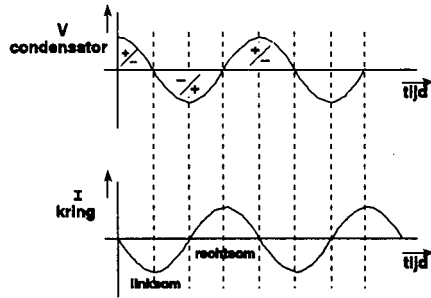
### **Spoel en condensator samen**

De spoel van 20.000 windingen moet voorzien zijn van een zware, goed sluitende ijzeren kern. Schuif het sluitstuk iets opzij. Maakt men nu de ijzeren kern met een magneet magnetisch, dan slaat de meter een aantal keren heen en weer uit. Trekt men de magneet er af, dan slaat de wijzer weer enige keren heen en weer uit. Veel sterker is dit effect als we de kring even verbreken, de condensator op 12 V spanning brengen en vervolgens de kring weer sluiten. De ampèremeter slaat dan vele malen flink naar links en rechts uit.

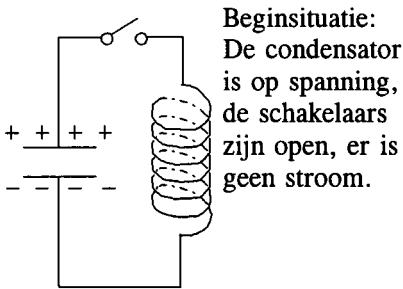
- Bij een maximale spanning over de condensator is het magnetische effect minimaal en omgekeerd.



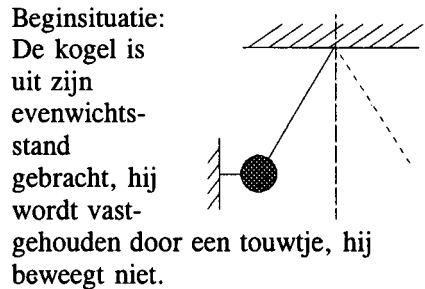
- Maximale spanningsvariatie over de condensator geeft een maximaal kringeffect en minimale inductie aan de spoel; minimale spanningsvariatie over de condensator geeft een minimaal kringeffect en maximale inductie.
- De samenwerking van spoel en condensator wordt sterk geremd door de warmteontwikkeling in de spoel, waardoor een gedempt proces ontstaat. Zou men op het juiste moment de condensator steeds op spanning brengen, dan zou het proces zijn amplitude behouden.
- De in de proef gebruikte combinatie van spoel en condensator levert een frequentie van ongeveer 1 Hz. Bij een kleinere spoel of condensator ligt de frequentie hoger.



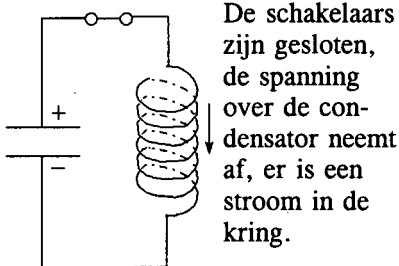
Het verloop van het proces vertoont een duidelijke gelijkenis met het mechanische proces van de slingerbeweging. Men zou in analogie kunnen spreken van de 'elektrische slinger' en de overeenkomstige fasen als volgt naast elkaar kunnen plaatsen:



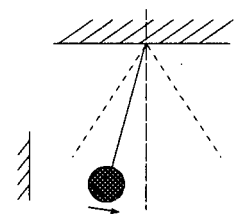
Beginsituatie:  
De condensator is op spanning, de schakelaars zijn open, er is geen stroom.



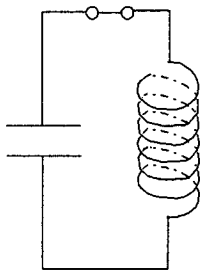
Beginsituatie:  
De kogel is uit zijn evenwichtsstand gebracht, hij wordt vastgehouden door een touwtje, hij beweegt niet.



De schakelaars zijn gesloten, de spanning over de condensator neemt af, er is een stroom in de kring.

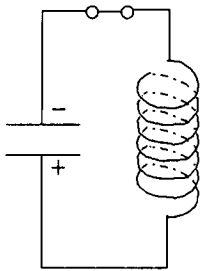
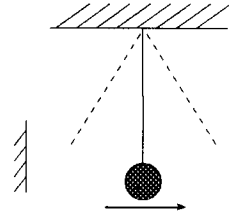


De kogel is losgelaten, hij gaat naar zijn laagste punt toe, de kogel heeft een snelheid gekregen.



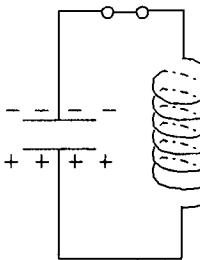
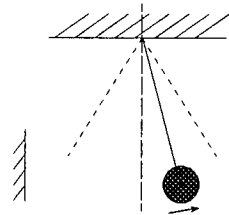
De condensator is spanningsloos, de stroom in de kring is maximaal. Deze stroom blijft nu behouden: *zelfinductie* van de spoel.

De kogel is op z'n laagste punt, de snelheid van de kogel is maximaal. De kogel behoudt zijn snelheid: *traagheid* van de massa.



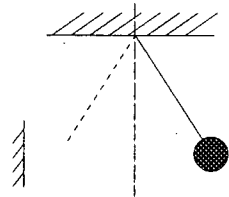
Er komt opnieuw (tegengestelde) spanning op de condensator, de stroom in de kring wordt steeds minder.

De kogel komt weer steeds hoger, zijn snelheid neemt af.



De condensator is weer geheel op spanning, er is geen stroom meer.

De kogel is weer op z'n hoogste stand, zijn snelheid is nul, hij staat stil.



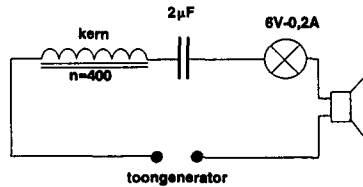
Het kringeffect bij een bepaalde combinatie van spoel en condensator hangt af van de volgende factoren:

1. de lengte en dikte van de kring;
2. het materiaal waaruit de kring bestaat;
3. de vorm die de draad of het draaduiteinde heeft:
  - Spoel: Compact, alle draden liggen geïsoleerd naast elkaar, maar zijn doorlopend verbonden. De cirkelstructuur van de windingen is sterk in zich gesloten. De weekijzeren kern benadrukt de compactheid nogmaals. Het volume van de spoel speelt een belangrijke rol.
  - Condensator: Het uiteinde van de draad is een groot vlak geworden van als het ware een zeer dikke draad. De verbinding is echter

verbroken. Van doorslaggevende betekenis is de oppervlakte van de condensatorplaten. De capaciteit wordt echter ook bepaald door de afstand tussen de platen en de eigenschappen van de tussenstof. Populair gezegd: de verhouding tussen de elektrische spanning en het magnetisme wordt bepaald door "draadjes en plaatjes".

### Resonantie

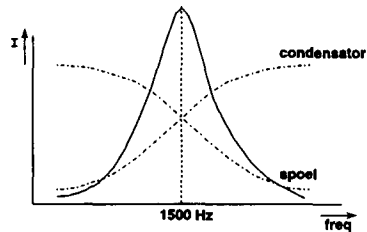
Bij *serieschakeling* van spoel en condensator zal de lamp tussen bepaalde frequenties opgluieren, namelijk bij die frequenties waar én de spoel én de condensator ieder voor zich de lamp zouden laten oplichten.



Variaties:

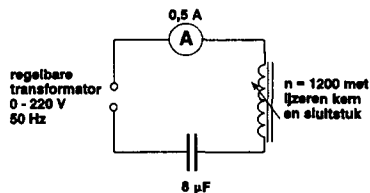
1. Breng in de kring een luidspreker aan.
2. Verander het spoeeffect door de kern te sluiten.
3. Neem meer windingen of een grotere condensator.
4. Sluit tijdens de proef spoel of condensator kort om het overlappende frequentiegebied te vinden.

Een zware spoel en een kleine condensator laten geen kringeffect toe. Zijn spoel en condensator goed op elkaar afgestemd, dan zal de lamp tijdens het kortsluiten van spoel of condensator zwakker gaan branden! In een goed afgestemde LC-kring werken spoel en condensator precies in het ritme van de wisselspanning op elkaar in.



Het elektromagnetische effect blijft dan als het ware in de kring hangen: er heerst resonantie. De proef kan ook zonder frequentiegenerator worden uitgevoerd.

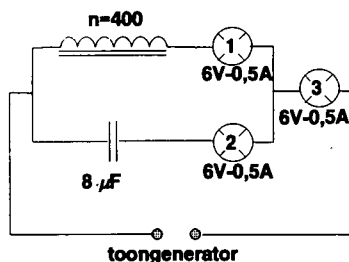
Zoek de maximale uitslag van de ampèremeter door het sluitstuk van de ijzeren kern te verschuiven. Met nevenstaande proefopstelling werd bij 90 V een maximaal amperage van 300 mA gemeten. Door nabij het resonantiepunt (50 Hz) van deze LC-kring de spoel of condensator kort te sluiten neemt de uitslag van de ampèremeter af.



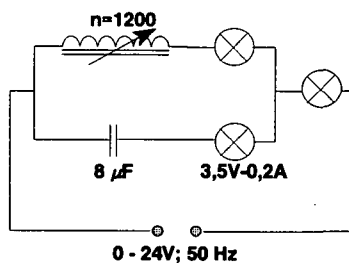
*Parallelschakeling van spoel en condensator:*

Zónder spoel en condensator zal lampje 3 het felste branden en lampje 1 en 2 samen even sterk als 3. Mét spoel en condensator zullen bij lage frequentie lampje 1 en 3 gloeien, bij hoge frequentie zullen 2 en 3 gloeien, bij tussenliggende frequentie zullen de lampjes 1 en 2 samen even sterk branden als 3, maar bij één frequentie zal lampje 3 uitgaan en zullen de lampjes

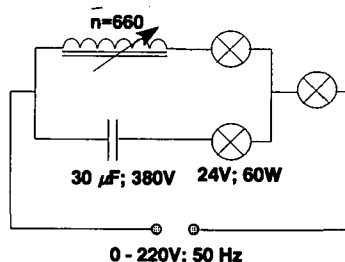
1 en 2 maximaal branden! Deze frequentie is afhankelijk van spoel en condensator en ligt in bovenstaande proefopstelling bij circa 400 Hz. Het kringeffect blijft dan, zoals eerder gezegd, in de spoel/condensator-kring gevangen en sluit zich af. De kring als geheel heeft daardoor een schijnbaar grotere weerstand, de wisselspanningsweerstand.



Deze proef kan ook bij 50 Hz uitgevoerd worden. In de proefopstelling hiernaast werden lampjes van 3,5 V en 0,2 A gebruikt.

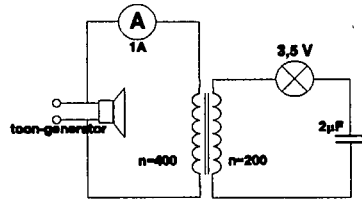


Met grote fitting lampen van 24 V en 60 W lukt de proef ook prachtig. Zoek ook in deze opstelling het resonantiepunt door het sluitstuk van de spoelkern te verschuiven.

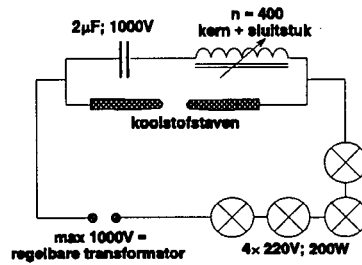


Nog enkele variaties:

- Een samengestelde proefopstelling:  
Bij één bepaalde frequentie zal het lampje oplichten. De luidspreker maakt de frequentie hoorbaar.

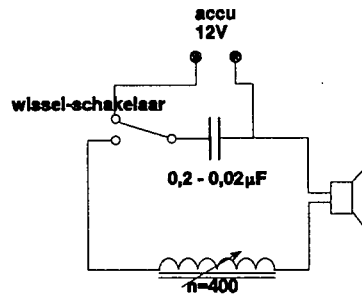


- De afgestemde vonkenbrug:  
Vroeger werd een vonkenbrug met een bepaalde frequentie (van belang voor het afstemmen van de vonkenzender) als hiernaast aangegeven uitgevoerd. Deze opstelling is te riskant om in de klas toe te passen.



Met gelijkspanning lukt deze proef veel beter dan met wisselspanning. Wanneer de kring niet gesloten is, staat de ingestelde spanning over de uiteinden van de koolstofstaven. De vier lampen zijn om kortsluiting bij het aanslaan van de koolstofstaven (door middel van de geïsoleerde statieven) te voorkomen. Men hoort nu een toon, die kan worden veranderd door het sluitstuk te verschuiven of de kern in en uit te schuiven. Meer spoeffect geeft een lagere toon.

- De toongenerator:  
Beweeg de kern van de spoel heen en weer en bedien tegelijkertijd de wissel-schakelaar, dan is er door de luidspreker een toon goed hoorbaar. Kiest men een kleinere spoel of condensator, dan zal de frequentie toenemen.



Door een hele kleine condensator met een spoel zonder kern te combineren zal de resonantiefrequentie zeer hoog worden. Bij de proef met de vonkenzender is reeds duidelijk geworden dat snelle spanningsvariaties zó op een kring werken, dat het elektrische veld loskomt en niet meer alleen als elektromagnetisch proces aan de kring gebonden is, maar als elektromagnetisch veld in de ruimte verdwijnt. Dit effect treedt zowel bij hoge als bij lage spanningen op, van doorslaggevend belang is de frequentie.

Een belangrijke vraag, die ook de gemoederen rond de eeuwwisseling bezighield, is: hoe houdt men zo'n trillingskring in stand? Hoe

maak je een schakelaar die tenminste 100.000 maal per seconde in- en uitschakelt? Dit zal in de volgende paragraaf besproken worden. De toepassing van de vacuümradiobuis en later van de transistor heeft de ontwikkeling van de radio, televisie en radar technisch mogelijk gemaakt.

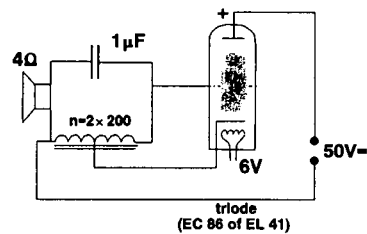
### 3.8 Zender en ontvanger

In deze paragraaf zullen alleen toongeneratoren en zenders met triodes worden behandeld. De bespreking van transistorschakelingen en de fenomenologie van halfgeleidermaterialen valt buiten het bestek van dit boek. Nadat trillingskring en gasbuizen als zelfstandige onderwerpen zijn besproken kan men deze fenomenen nogmaals behandelen aan de hand van de toongenerator en de zender. We bespreken eerst de toongenerator.

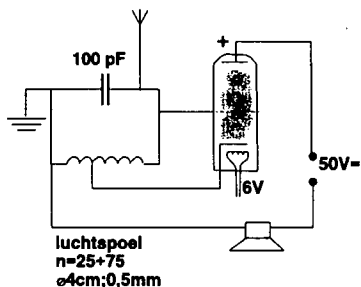
De 50 V kring door de gasbuis zal, in fase met de resonantiekring, een groot of klein amperage/magnetisch effect hebben. Hierdoor zal het inductie-kringeffect in de LC-kring voldoende intensiteit behouden. De polariteitswisselingen aan de condensator vormen tevens de stuurspanning voor het rooster van de triode. De luidspreker kan ook in de kring van de triode opgenomen worden, omdat de gelijkspanning die daar werkzaam is wisselingen vertoont van dezelfde frequentie als in de LC-kring. Door een ijzeren kern in de spoel te bewegen verandert de toonhoogte. Door een kleinere spoel of condensator te nemen verkrijgt men een hogere toon.

Bij een veel kleinere keuze van spoel en condensator treden zendereffecten op. De frequentie van de LC-kring zal dan namelijk nog verder toenemen, zodat de elektromagnetische velden loskomen van de kring en zich met grote snelheid oplossen in de ruimte. Zoals we eerder hebben gezien kan de kring bij hoge frequenties het verdwijnen van de elektriciteit steeds minder via het magnetisme aan zich binden. De hoge frequenties komen sterk tegemoet aan de eigenlijke natuur van de elektriciteit: beweeglijkheid, vergaan, oplossen in de ruimte en vrijkomen van de drager.

De spanning over de condensator wordt aan de roosterkant van een lange draad (2 á 3 m) als antenne voorzien en aan de andere kant geaard. Met een draagbaar radiootje kan men nu de zender opzoeken (middengolf,

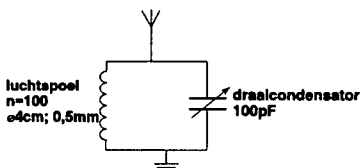


circa 800 Khz). Zonder antenne en aarding is de reikwijdte enkele meters, maar met beide kan men de hele school doorlopen en zelfs daarbuiten nog ontvangen. Neemt men in de draad van de min-pool een koolstofmicrofoon van een telefoon op, dan kan de zendergolf gemoduleerd worden (AM). Spreken en zingen is dan duidelijk op de draagbare radio te horen. Het zoeken van de juiste afstemming gaat het gemakkelijkst door met een potlood op de microfoon te kloppen.

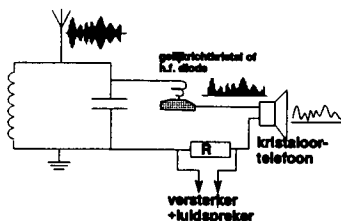


Dit is een zeer attractieve proef. Er worden hier, zelfs bij lage spanning, effecten in de ruimte gecreëerd die dwars door muren en deuren gaan. De elektro-magnetische vervuiling van de atmosfeer en de werking hiervan op de mens kunnen aansluitend worden besproken. Verdere literatuur over proefbeschrijvingen vindt men in oudere boeken en in oud documentatiemateriaal van leermiddelenfirma's.

Aansluitend kan men nog een eenvoudige kristalontvanger maken om de werking van de radio te bespreken. Maak een vergelijkbare trilingskring als bij de zender. Antenne en aarding moeten aangebracht worden, anders is er op enige afstand van de zender geen ontvangst. De hoogfrequente inductiespanning die past bij de LC-kring van de ontvanger blijft in de resonantiekring hangen, alle andere inductiespanningen in de antenne verdwijnen direct via de spoel of de condensator naar de aarde. Voor deze ene hoogfrequente inductiespanning heeft de LC-kring als het ware een hoge weerstand en blijft de antenne van de condensator op spanning. Het is de gemoduleerde zendfrequentie die op de condensatorplaten komt te staan.



Door de gemoduleerde wisselspanning gelijk te richten kan de luidspreker de modulatie volgen. De wisselspanning van 800 kHz heeft op de luidspreker nauwelijks effect, het kristal van het oortelefoontje is daar te traag voor. De gelijkgerichte, relatief langzame variaties van de draaggolf zijn wel hoorbaar in het oortelefoontje.





Via een weerstand van enkele  $k\Omega$  kan ook een versterker aangesloten worden, zodat iedereen in de klas de ontvangst kan horen.

Op deze wijze één zender ontvangen lukt overigens vrijwel altijd, maar of men meerdere zenders kan ontvangen hangt sterk af van de kwaliteit van de spoel. Een goede spoel maken is niet zo eenvoudig. Door middel van terugkoppeling is de selectiviteit te vergroten, maar dat voert voor de 11e klas mogelijk te ver.