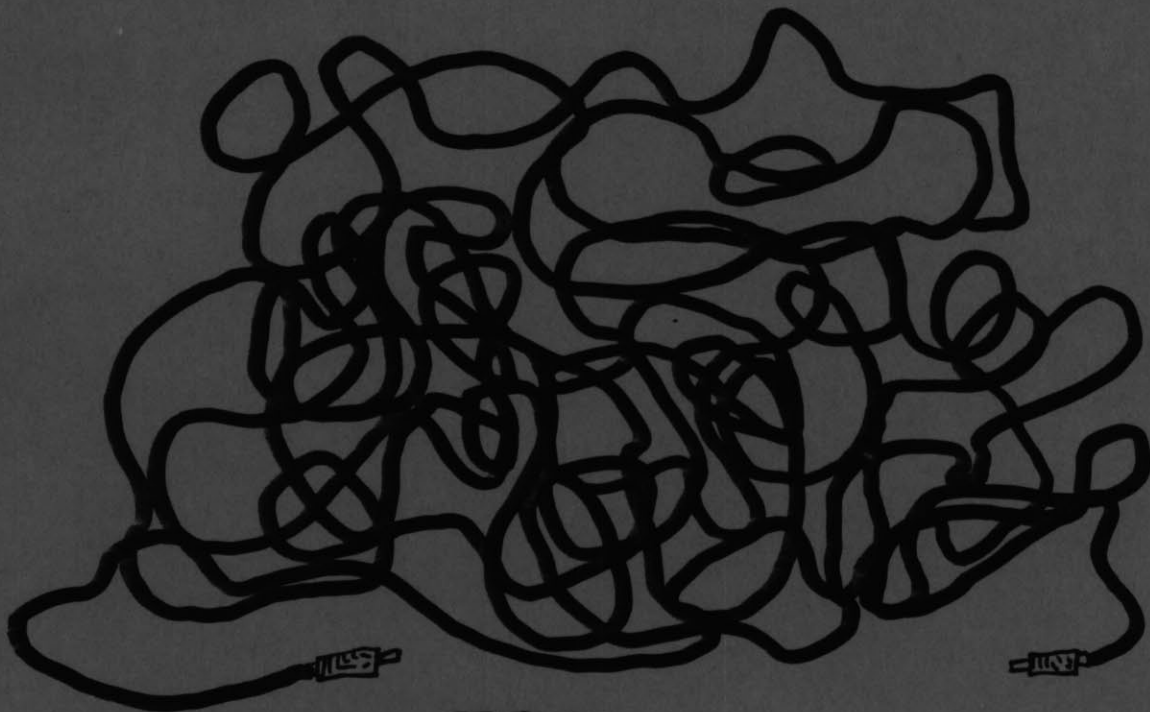
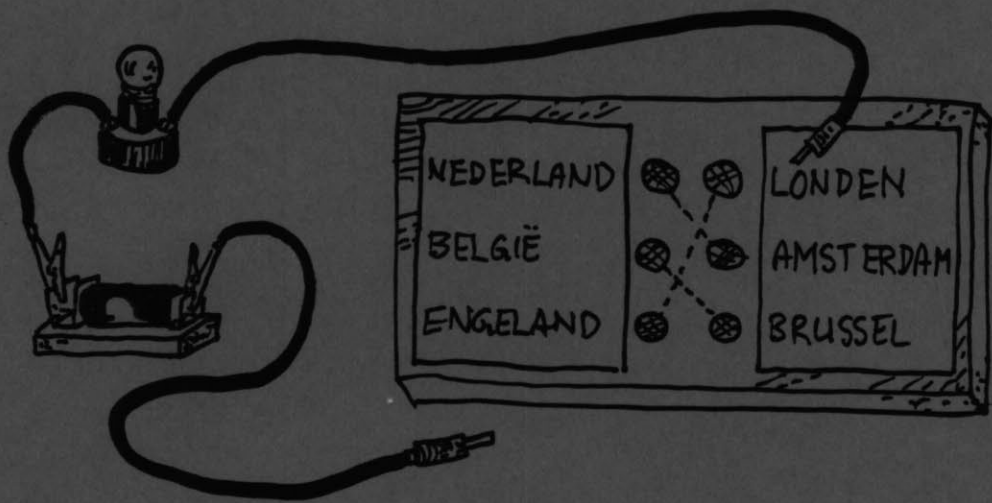


ELEKTRISCHE SCHAKELINGEN

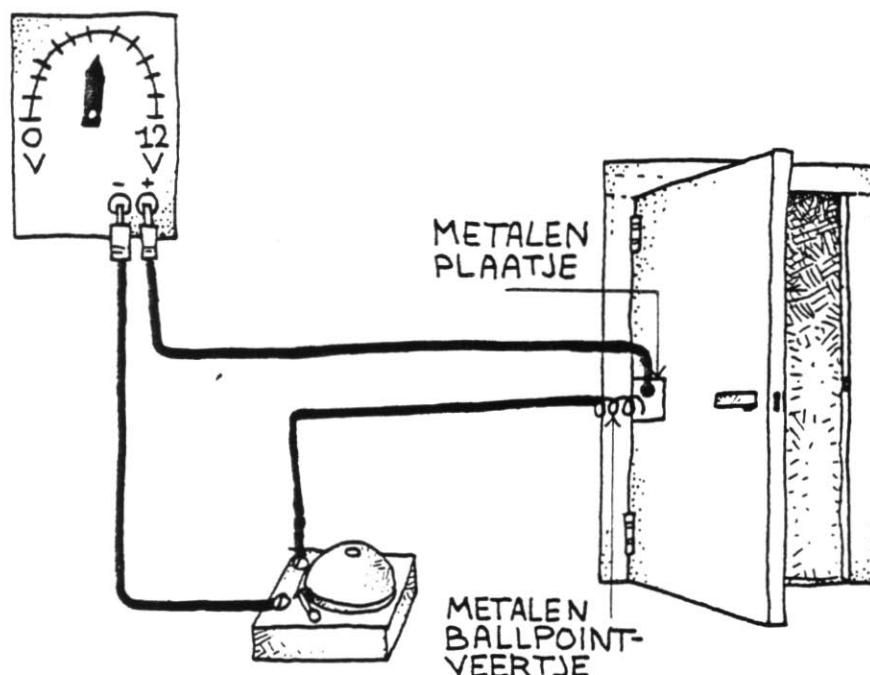


PLON

ELEKTRISCHE SCHAKELINGEN

Samengesteld door de projectgroep van het PLON
voor de 3e klas mavo en
voor de 3e klas havo/vwo

Experimentele uitgave



OVER DIT BOEK

Dit boekje behandelt de belangrijkste basiskennis van de electriciteit. In dit boekje leer je in het basisdeel wanneer een stroom gaat lopen, wat serie- en wat een parallel-schakeling is en je leert hoe je een volt- en ampèremeter moet schakelen. In de hoofdstukken 7 en 8 is te vinden hoe de Wet van Ohm luidt en hoe we daaraan gekomen zijn. Ook vind je daar meer uitgewerkt wat weerstand is. In de leesteksten is weer van allerlei te vinden.

Het basisdeel van dit boekje geeft je de kennis die je in andere thema's nodig hebt. In die andere thema's gaan we ervan uit dat je deze kennis over de electriciteit beheerst. De thema's die het betreft zijn „Geluid Weergeven”, „Natuurkunde Thuis”, „Energie in de Toekomst”, „Verwarmen en Isoleren”, „Schakelen en regelen” en „Machines en Energie”.

Je ziet dat electriciteit veel en vaak terugkomt. Van leer-, werk-, onderzoeks- en leesplezier.

inhoud elektrische schakelingen

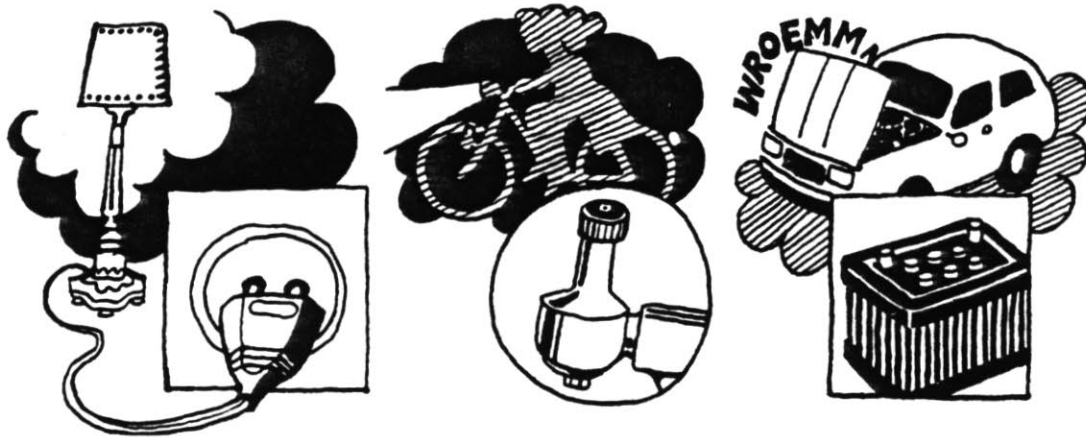
Basisdeel
Leesteksten

blz. 3
blz. 41

inhoud basisdeel

1. Stroomkringen	blz. 5
2. Serieschakeling en parallelschakeling	blz. 12
3. Stroom meten	blz. 15
4. Spanning meten	blz. 18
5. Stroomsterkte en spanning meten in een stroomketen	blz. 21
6. Theorie over spanning en stroom	blz. 24
7. Schakelingen tekenen	blz. 27
8. Meten en rekenen aan spanning en stroom	blz. 31
8.1 Spanning en stroom	blz. 31
8.2 Spanning, stroom en weerstand	blz. 32
8.3 Weerstand en temperatuur	blz. 34
8.4 De weerstand van gelijke draden in serie	blz. 35
8.5 De weerstand van gelijke draden parallel	blz. 37
Extra stof	blz. 38
8.6 De weerstand en dikte van een draad	blz. 38
8.7 Weerstand en materiaal	blz. 38

1 stroomkringen



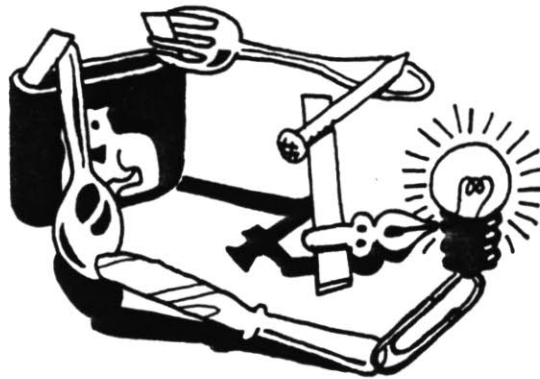
Om een lamp te laten branden heb je een spanningsbron nodig. De spanning kan bijvoorbeeld komen uit een stopcontact, dynamo, accu, batterij of voedingskastje. In dit thema zullen we vooral werken met voedingskastjes of met de centrale voedingskast in de klas.

PROEF 1.

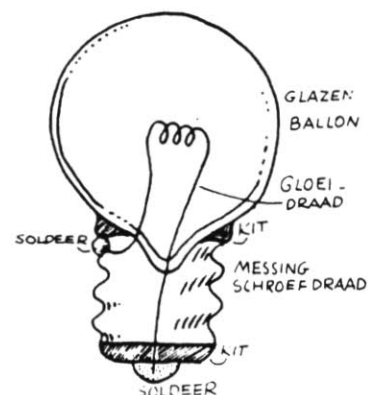
Laat een lampje branden op een batterij of met een voedingskastje. Je mag geen fitting gebruiken.

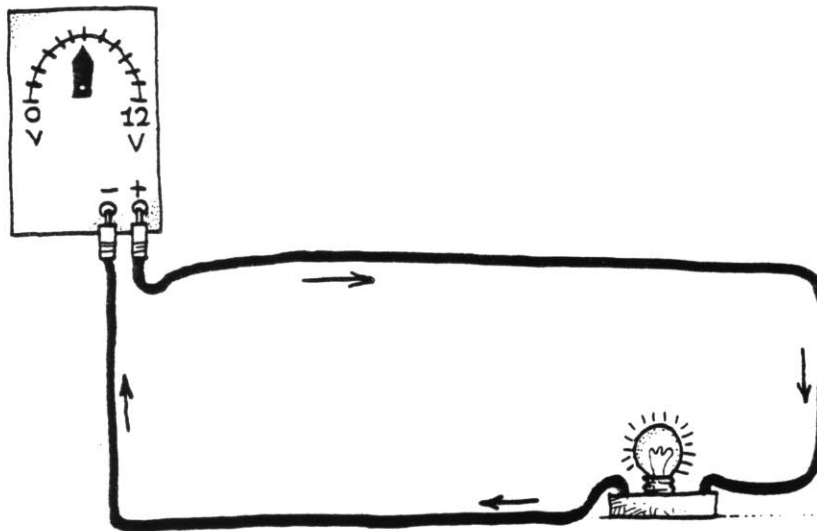
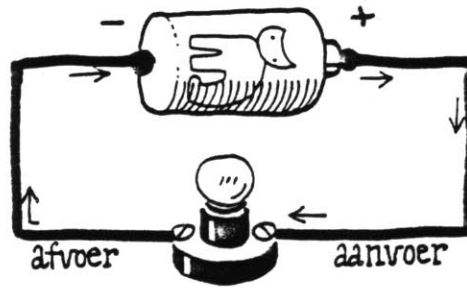
PROEF 2.

Laat een lampje branden op een batterij of met een voedingskastje. Gebruik zoveel mogelijk verschillende voorwerpen tussen de voeding en het lampje.



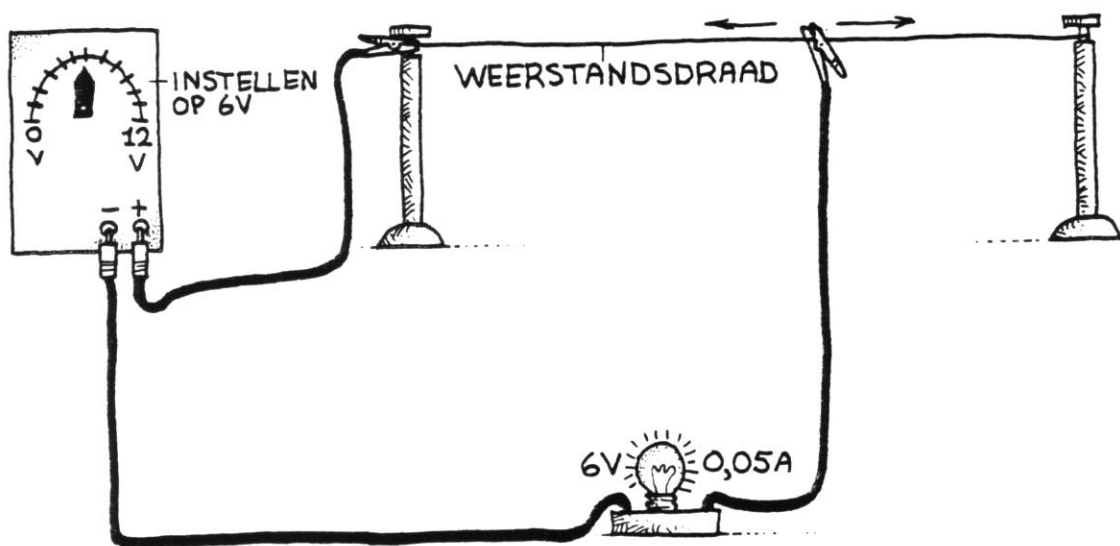
Een lampje gaat branden als er stroom door de gloeidraad van het lampje loopt. Er gaat stroom lopen door een lampje als je het aansluit op een batterij, een voedingskastje of een andere spanningsbron. De opstelling van spanningsbron, draden en lampje heet een stroomkring. Er mogen geen onderbrekingen in de stroomkring zitten, zoals losse contacten, een schakelaar die uitgeschakeld is, of een kapotte gloeidraad. De lamp gaat alleen branden als de stroom rond kan lopen en de stroomkring gesloten is. De stroom loopt rond van de + van de spanningsbron naar de - van de spanningsbron.



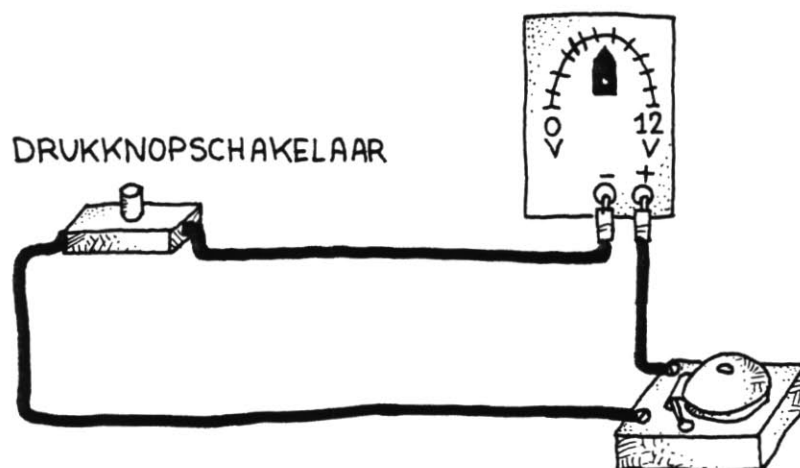


PROEF 3.

1. Bouw onderstaande schakelingen na.
2. Geef aan hoe de stroom loopt.



Schakeling met weersstandsdraad



Schakeling van een huisbel



OPDRACHT 1.

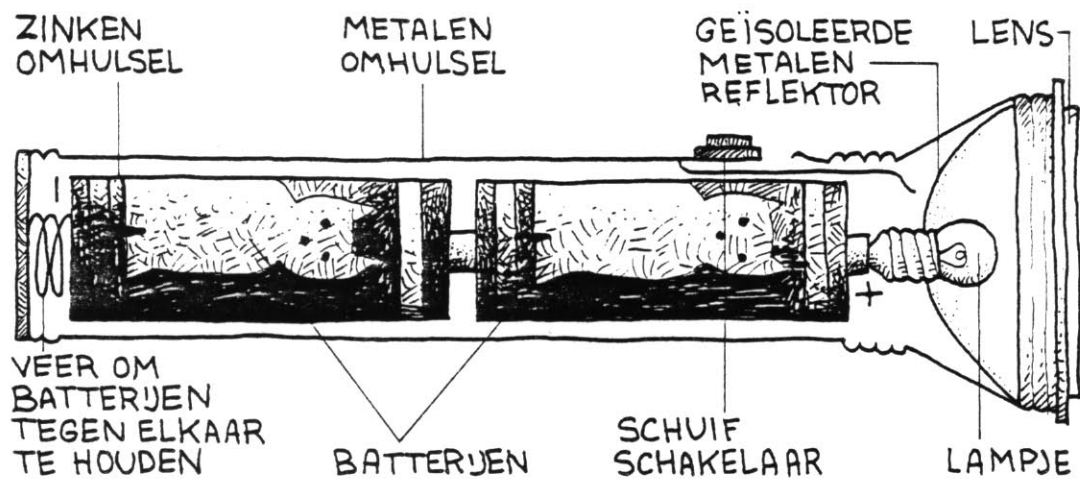
Uit welke onderdelen bestaat de stroomkring van de voorlamp van je fiets?



Een Haagse tram. De electromotor van de tram krijgt stroom van een draad boven de rails.

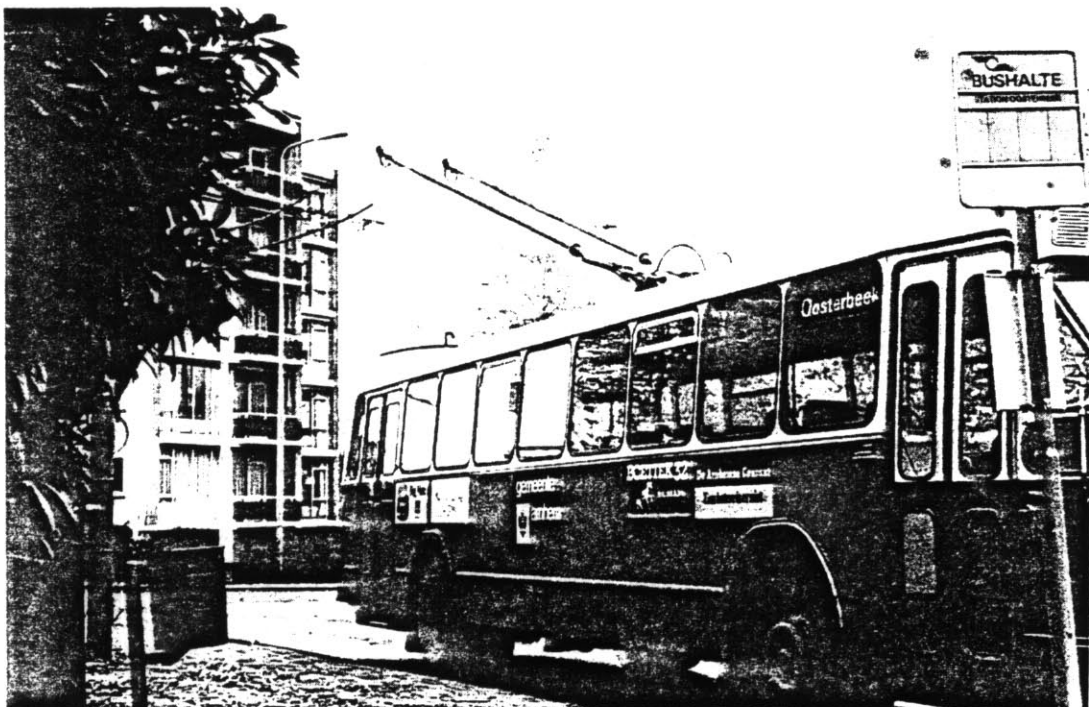
OPDRACHT 2.

Hoe loopt de stroom rond
als de zaklamp van de
tekening brandt?



OPDRACHT 3.

Waarom heeft een tram maar één draad nodig en een
trolleybus twee?



Een Arnhemse trolleybus. De electromotor van de bus krijgt stroom van twee draden boven het wegdek.

OPDRACHT 4.

Onderzoek de werking van de schakelingen bij de volgende proef. Geef aan hoe de stroom rondloopt.

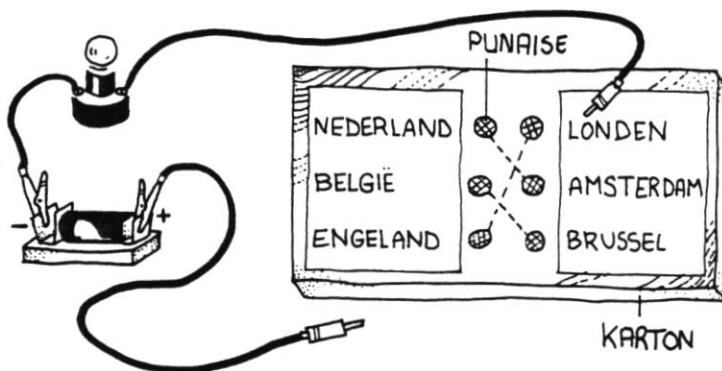
PROEF 4.

1. Bouw één van de onderstaande schakelingen na.
2. Geef in je opstelling aan hoe de stroom rondloopt als de lamp brandt of de bel rinkelt.

PROEF 4A.

ELECTRISCHE QUIZ

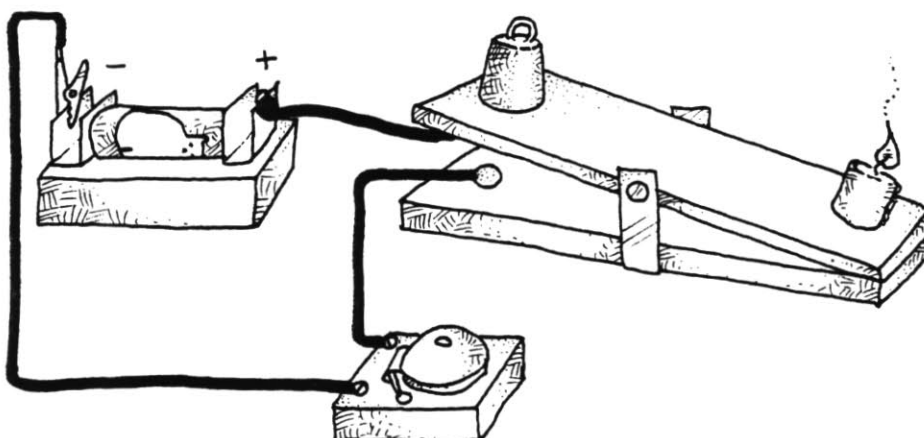
Links staan landen, rechts hoofdsteden. Houd draad A tegen de spijker naast Nederland. Zoek de bijbehorende hoofdstad op. Houd draad B tegen de spijker naast die hoofdstad. Als het antwoord goed is, gaat het lampje branden.



PROEF 4B.

WEKKER

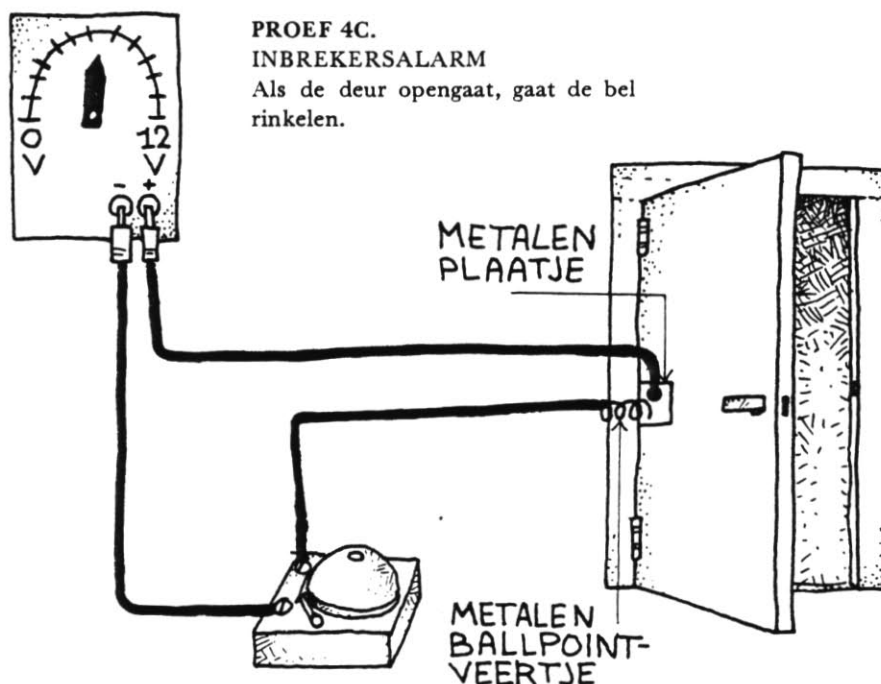
Als de kaars ver genoeg is opgebrand gaat de bel rinkelen.



PROEF 4C.

INBREKERSALARM

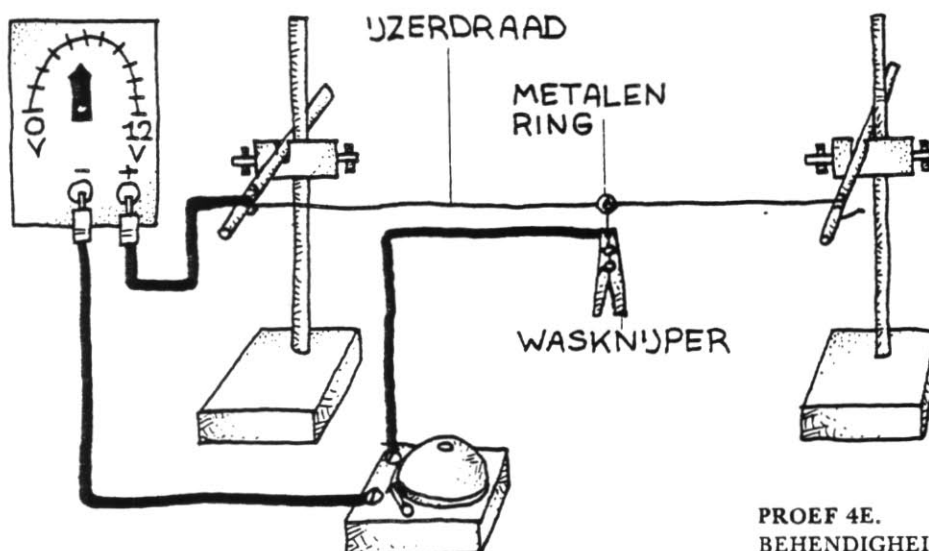
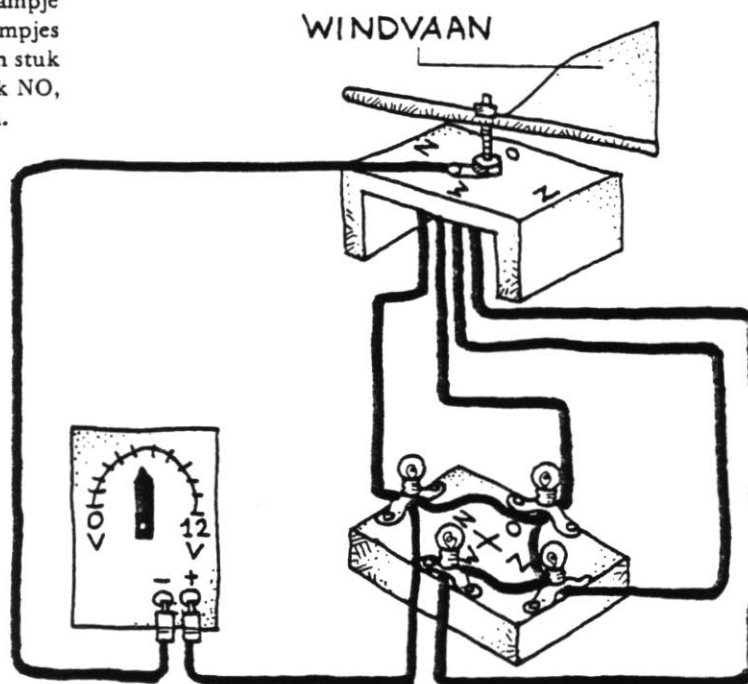
Als de deur opengaat, gaat de bel rinkelen.



PROEF 4D.

WINDVAAN

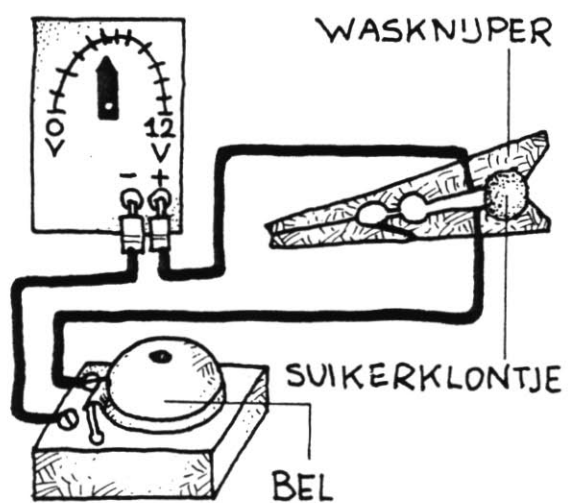
Bij noordenwind brand het lampje bij de N; bij oostenwind het lampje bij de O, enz. Met nog vier lampjes erbij wordt de windvaan al een stuk nauwkeuriger. Dan kun je ook NO, ZO, ZW en NW laten aangeven.



PROEF 4E.

BEHENDIGHEIDSSPEL

Wie kan de metalen ring het snelst van de ene kant naar de andere verplaatsen, zonder dat de bel gaat rinkelen?



PROEF 4F.

REGENMELDER

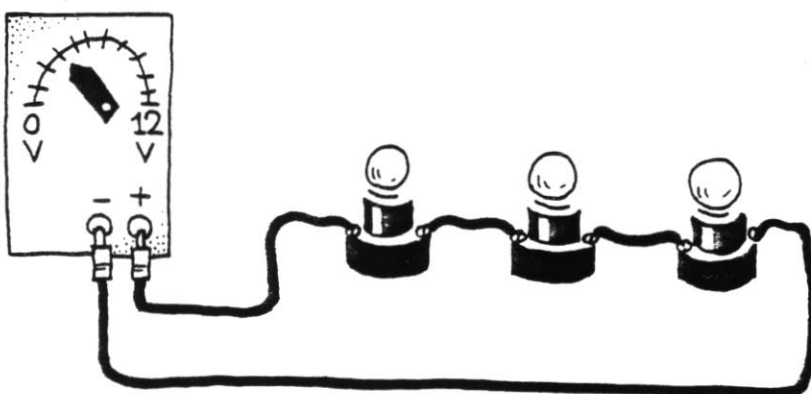
Als er voldoende regen valt, lost het suikerklontje op en gaat de bel rinkelen.

2 serieschakeling en parallelschakeling

OPDRACHT 5.

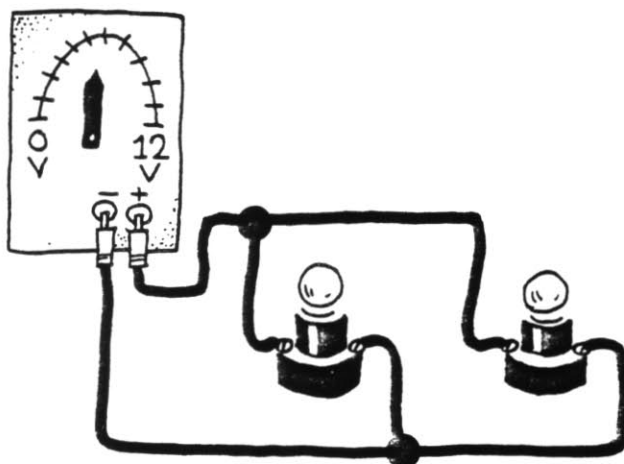
Gaan de lampjes in de hieronder getekende schakeling branden?
Zo ja, hoe loopt de stroom?

Wat zou er gebeuren als je één van de lampjes zou losdraaien?



PROEF 5.

1. Bouw de opstelling hierboven.
2. Ga na of je antwoord bij opdracht 5 goed was.
3. Wijs in de opstelling aan hoe de stroom loopt.
4. Wat gebeurt er als je een lampje losdraait?
5. Wat gebeurt er als je een lampje uit de stroomkring weglaat en de stroomkring weer sluit?

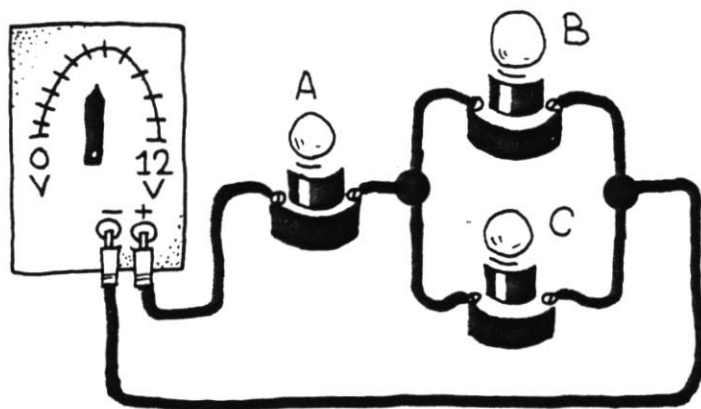


OPDRACHT 6.

Gaan de lampjes branden?
Zo ja, hoe loopt de stroom?

PROEF 6.

1. Bouw de opstelling hier-naast.
2. Ga na of je antwoord bij opdracht 6 goed was.
3. Wijs in de opstelling aan hoe de stroom rondloopt.
4. Wat gebeurt er als je een lampje losdraait?
5. Wat gebeurt er als je een lampje weglaat?



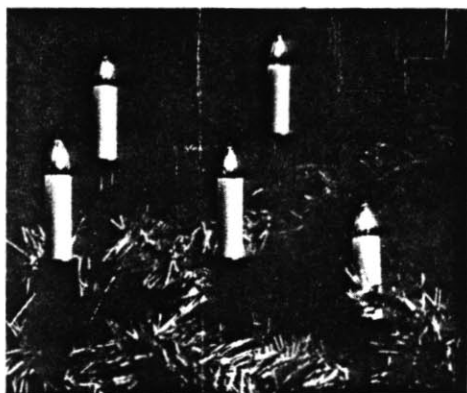
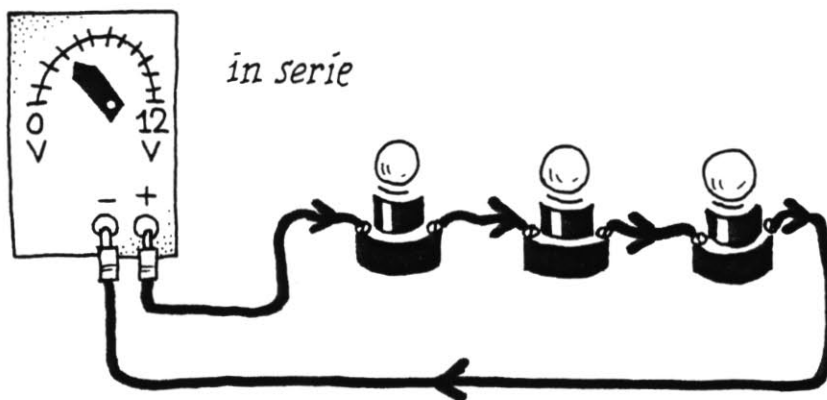
OPDRACHT 7.

Gaan de lampjes branden?
Zo ja, hoe loopt de stroom?

PROEF 7.

1. Bouw de opstelling hier-naast.
2. Ga na of je antwoord bij opdracht 7 goed was.
3. Wijs in de opstelling aan hoe de stroom rondloopt.
4. Voorspel wat er gebeurt als je lampje A losdraait.
5. Controleer je voorspelling met een proef.
6. Herhaal 4 en 5 voor lampje B en C.

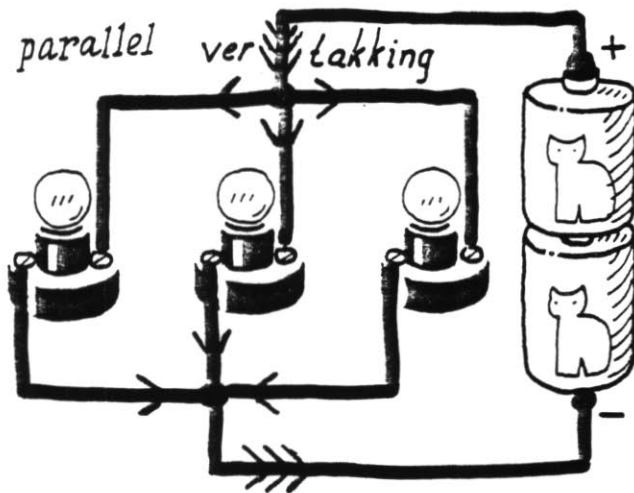
Als je een aantal lampen op een spanningsbron aansluit, kun je dat op twee manieren doen. Je kunt de lampen *achter elkaar* schakelen. De stroom gaat één voor één door alle lampjes heen, net als bij een kerstboomverlichting. Dit heet *in serie* schakelen. Als je één lampje losdraait, gaan alle lampjes uit. Hoe meer lampjes je in de stroomkring zet, des te zwakker branden de lampjes (proef 5). De spanningsbron levert dus minder stroom.



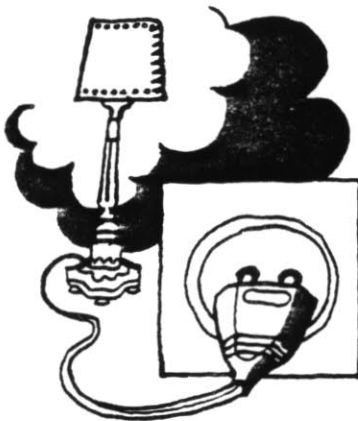
Kerstboomverlichting. De lampjes zijn in serie geschakeld. Als een lampje stuk is, gaan alle lampjes uit.



serieschakeling.



Je kunt de lampen ook *naast elkaar* schakelen. Dat heet *parallel* schakelen. In een parallelschakeling vertakt de stroom zich. De stroom gaat gesplitst door de lampjes heen. Als je een lampje losdraait, blijven de andere lampjes dus gewoon branden (proef 6). De lampen thuis zijn parallel geschakeld: als je een lamp uitdoet blijven de andere lampen aan.



De lampen thuis zijn parallel geschakeld. Als je een lamp uitdoet, blijven de andere lampen aan.

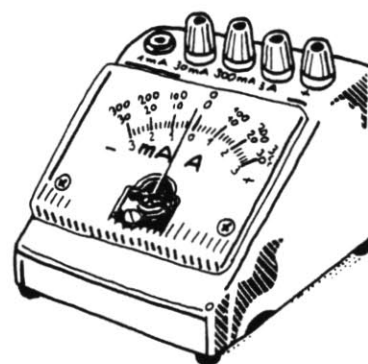
3 stroom meten

PROEF 8.

Laat een fietslampje branden met een spanningsbron van 1,5 V, 4,5 V en 6V.* Vergelijk het resultaat.

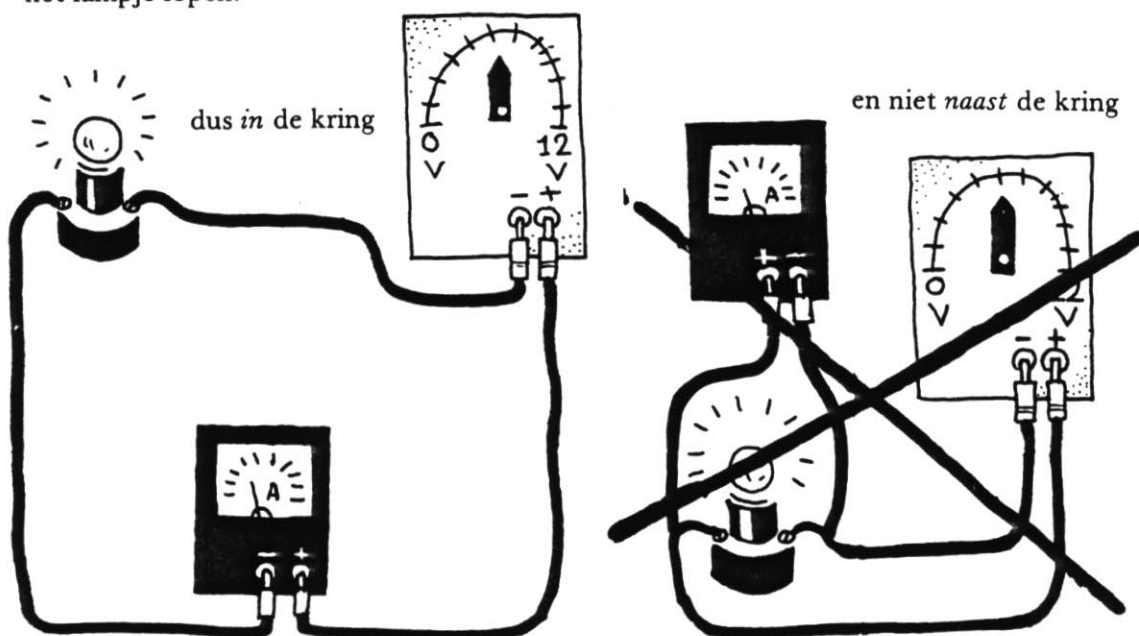
Een lampje gaat feller branden als de spanning in de spanningsbron waar je het lampje op aansluit, groter is. Hoe groter de spanning, des te groter is de stroom die door het lampje gaat en des te feller het licht van het lampje.

De elektrische stroomsterkte meet je met een stroommeter. Je leest de stroomsterkte af in ampères (A) of milliampères (mA). $1\text{ A} = 1000\text{ mA}$. De stroommeter wordt daarom ook ampèremeter of (milliampèremeter) genoemd.



stroommeter of ampèremeter.

Een stroommeter meet de stroom die dóór de stroommeter gaat. Daarom moet de stroommeter in de stroomkring zitten. Alle stroom moet door de stroommeter en door het lampje lopen.



OPDRACHT 8.

Ga na hoe de stroom loopt in de schakelingen hierboven.

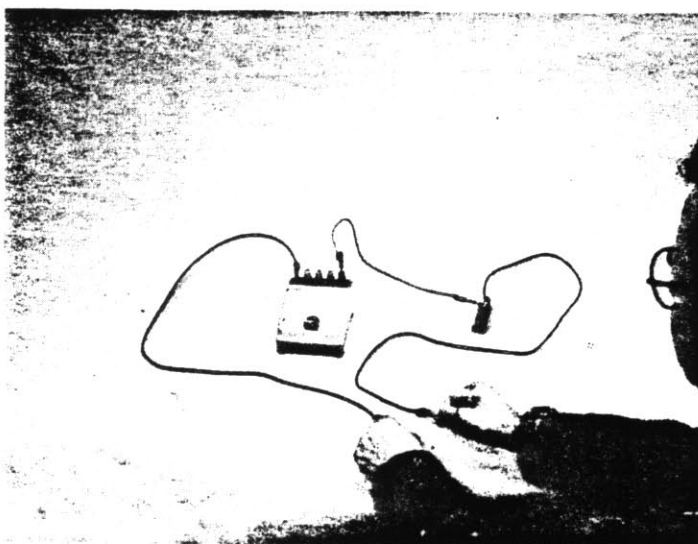
* Spreek uit volt. De spanning die een batterij of een voedingskastje levert wordt uitgedrukt in volt (V). Zie verder blz. 18.

Let bij het aansluiten van de meter op het volgende:

1. Sluit de stroommeter aan op het grootste meetbereik (bijvoorbeeld 3A).
 - a. Als de meter de verkeerde kant uitslaat, kijk dan bij punt 2.
 - b. Als de wijzer te ver uitslaat, is deze stroommeter niet geschikt voor jouw proef.
 - c. Als de meter niet ver genoeg uitslaat, maar wel in de goede richting, zet je hem gevoeliger (bijvoorbeeld $0,3A = 300\text{ mA}$).
Zet je hem meteen op een gevoelige stand en is de stroom dan erg groot, dan brandt de meter door.
2. Zorg dat de + kant van de meter aan de pluskant van de spanningsbron zit. Anders slaat de meter de verkeerde kant op.

PROEF 9.

1. Maak de linkerschakeling van de vorige pagina.
2. Controleer of de aansluiting goed is.
Als de aansluiting goed is
 - moet het lampje uitgaan als je de meter weghaalt
 - moet de wijzer de goede kant op uitslaan
 - mag de wijzer niet te ver uitslaan
3. Lees de stroomsterkte af.
4. Wijs in de opstelling aan hoe de stroom rondloopt.



PROEF 9a.

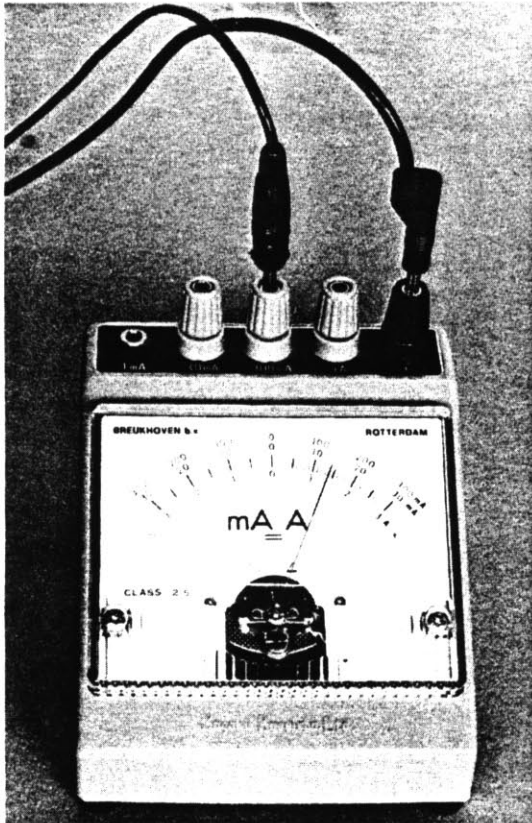
Meet de stroom door je lichaam als je met de ene hand de + en met de andere hand de — van een batterij van 9V vastpakt.

Maakt het verschil of je handen vochtig zijn of droog? (Zie ook de leestekst „stroom door je lichaam” op blz. 51.)

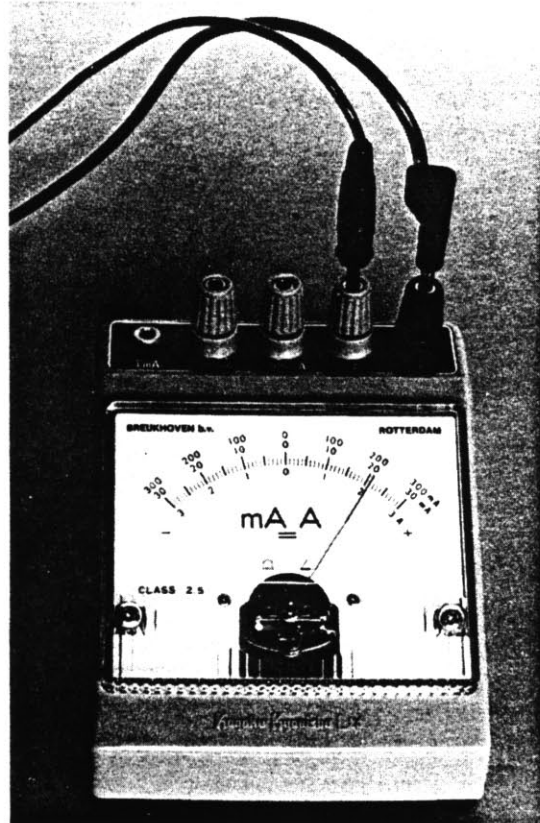
Bij het aflezen van de meter moet je goed op de schaal letten. Als hij aangesloten is op 3A, betekent dit, dat bij volle uitslag de stroom 3 ampère bedraagt.

OPDRACHT 9.

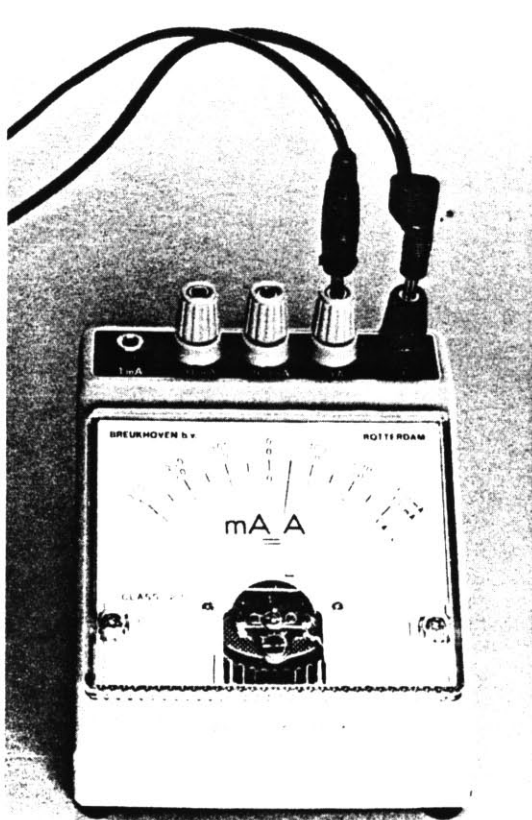
Lees de volgende meters af. Geef je antwoord steeds in
èn in mA.



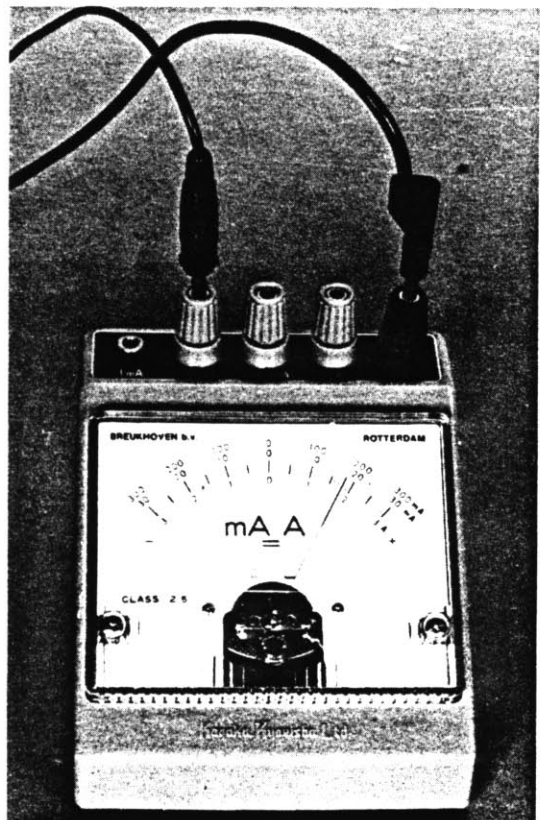
1



2



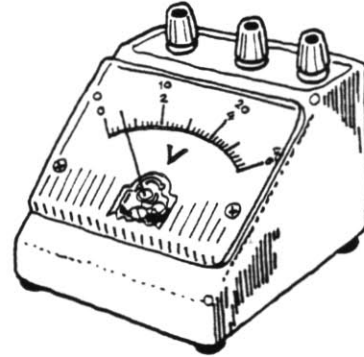
3



4

De oplossing vind je op bladzijde 40.

4 spanning meten



Spanningsmeter of voltmeter.

Een lampje gaat feller branden als de spanning van de spanningsbron waar het lampje op brandt, groter is (proef 8).

Op verschillende spanningsbronnen die dezelfde spanning leveren brandt een lampje even fel. De elektrische spanning meet je met een spanningsmeter of voltmeter. Je leest de spanning af in Volt (V).

Veel gebruikte batterijen hebben een spanning van bijvoorbeeld 1,5 V of van 4,5 V. De spanning van een auto-accu is meestal 12V. Op voedingskastjes kun je de spanning vast instellen van 0–12V.

De spanning op de stop-contacten in huis is 220V.



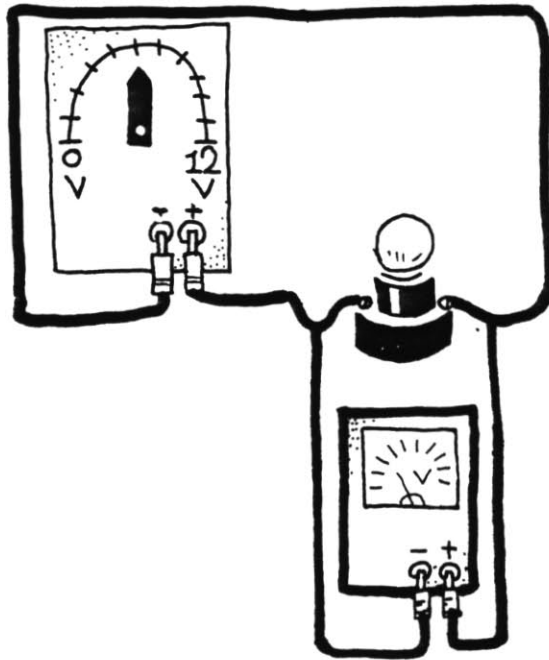
batterijen 4,5 V.



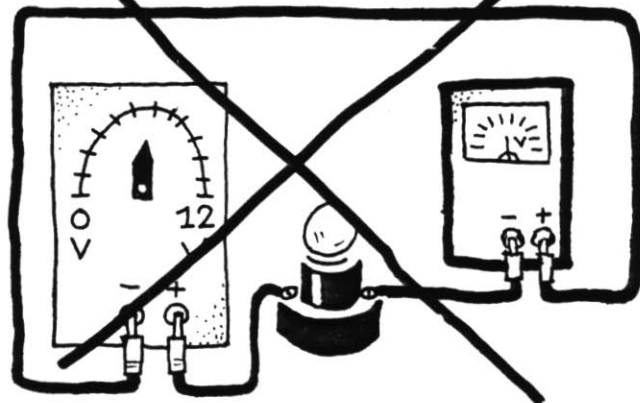
batterijen 1,5 V.

De spanningsmeter komt *naast de stroomkring* te staan en niet erin.

Dus *naast* de stroomkring



en niet *in* de stroomkring

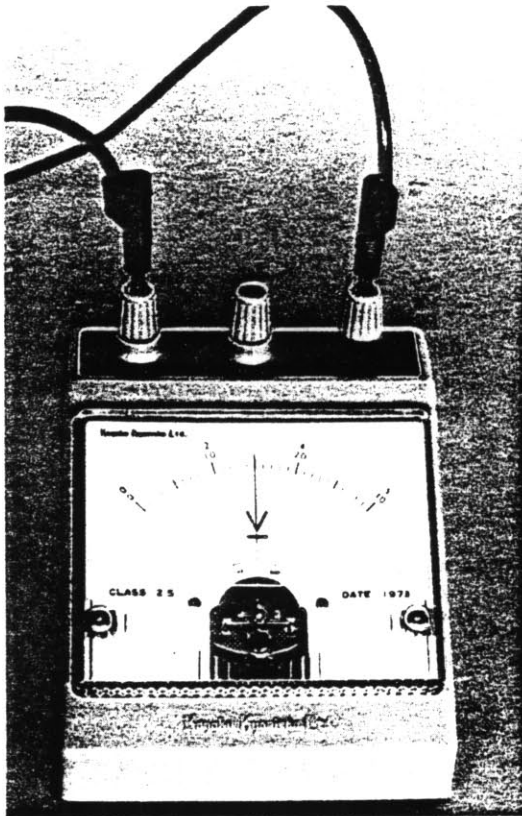


Ook bij de spanningsmeter zorg je ervoor steeds in de minst gevoelige stand te beginnen en de + kant bij de + kant van de spanningsbron aan te sluiten.

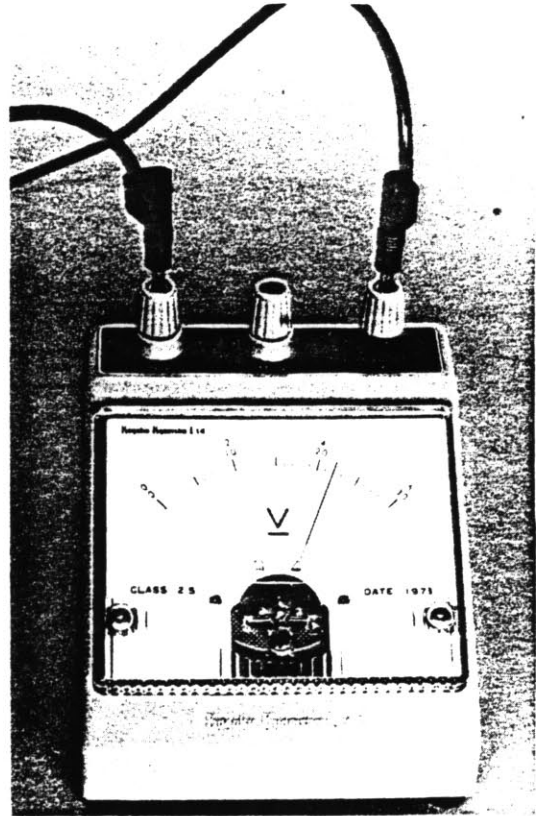
PROEF 10.

1. Maak de opstelling zoals op de volgende pagina.
2. Controleer of de aansluiting goed is. Als de aansluiting goed is
 - moet het lampje blijven branden als je de meter weghaalt;
 - moet de meter de goede kant uitslaan;
 - mag de wijzer niet van de schaal lopen.
3. Lees de spanning af.
4. Wijs in de opstelling aan hoe de stroom rondloopt.

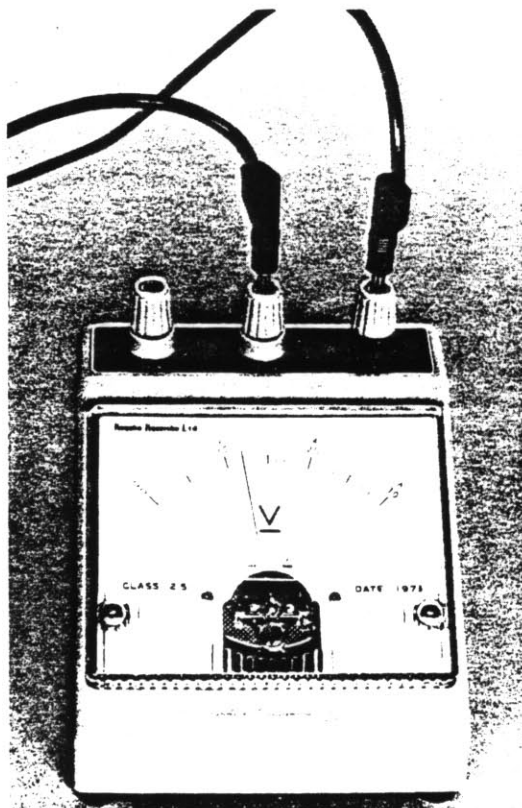
OPDRACHT 10.
Lees de volgende meters af.



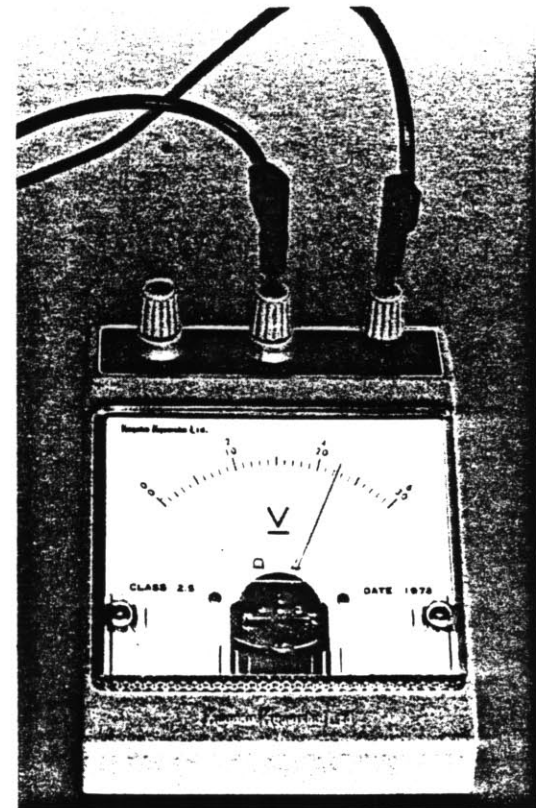
1



2



3



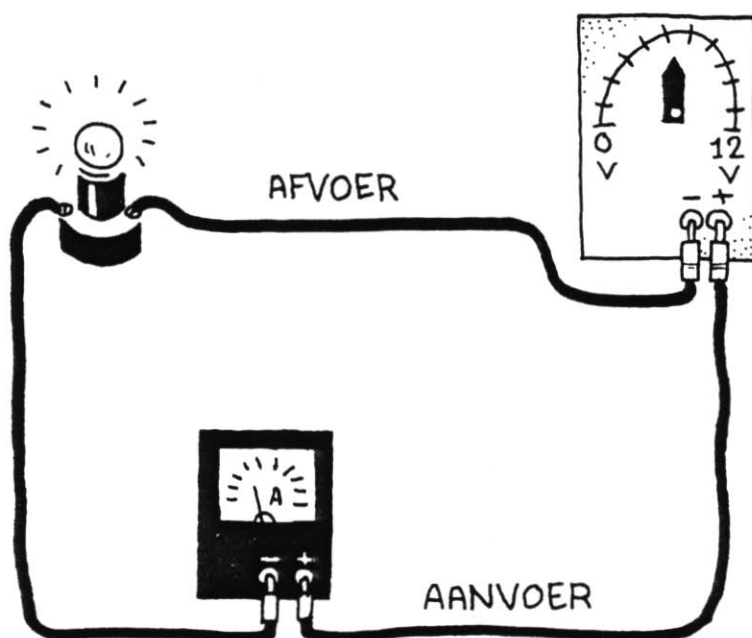
4

De oplossing vind je op blz. 40.

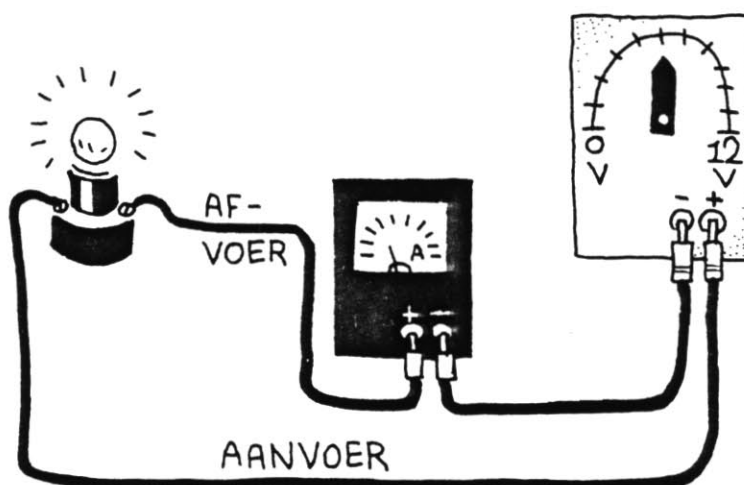
5 stroomsterkte en spanning meten in een stroomketen

PROEF 11.

1. Laat een fietslampje branden met draden en een spanningsbron van 6V.
2. Meet de stroomsterkte in de aanvoerdraad en in de afvoerdraad.

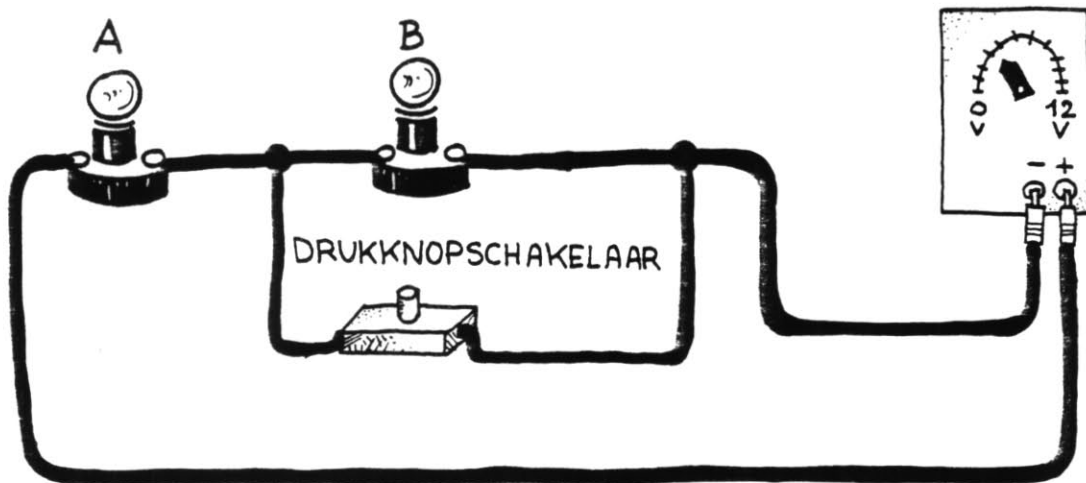


Stroomsterkte meten in de aanvoerdraad.



Stroomsterkte meten in de afvoerdraad.

3. Schakel een tweede lampje in serie met het eerste. Meet de stroomsterkte in de aanvoerdraad, de afvoerdraad en de draad tussen de lampjes.
4. Neem een schakelaar op in de schakeling zoals op de tekening hieronder. Meet de stroom die door lampje A gaat, de stroom die door lampje B gaat en de stroom die door de schakelaar gaat.



5. Druk de schakelaar in en herhaal 4.
6. Herhaal de metingen uit punt 3 met 3 lampjes. Vul de gevonden stroomsterkte in in tabel 1.
7. Welke conclusies trek je uit deze proef?

serieschakeling	
aantal lampjes	stroomsterkte
1	
2	
3	

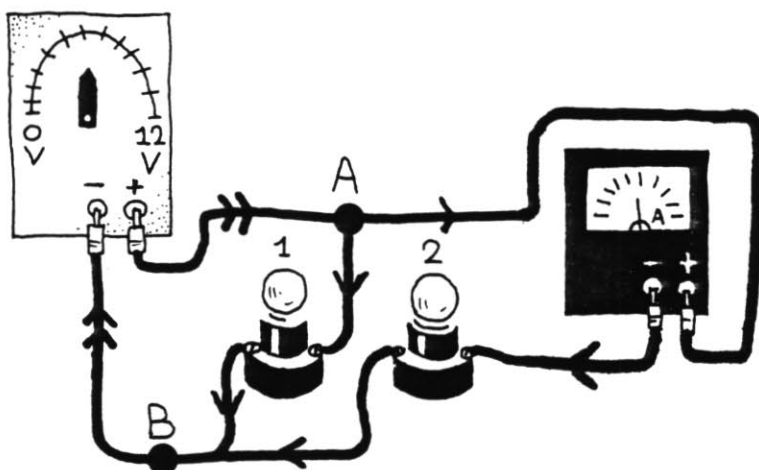
tabel 1

parallelschakeling		
aantal lampjes	stroomsterkte onvertakt	stroomsterkte vertakt
1		
2		
3		

tabel 2

PROEF 12.

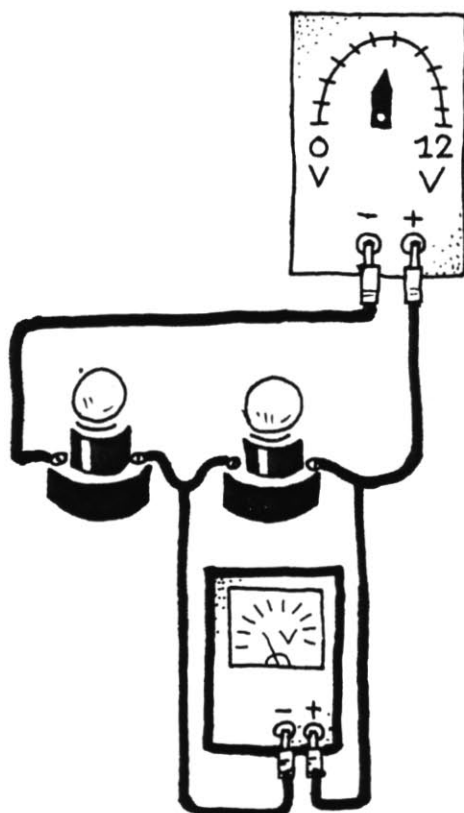
1. Laat een fietslampje branden met draden en een spanningsbron van 6V.
2. Meet de stroomsterkte in de stroomkring en vul deze in in tabel 2.
3. Schakel een tweede lampje parallel met het eerste. Meet de stroomsterkte voor de vertakkingen en vul de gevonden waarde in in tabel 2.
4. Meet de stroomsterkte door één lampje. Vul in de tabel de waarde in.



5. Herhaal 3 en 4 met 3 lampjes parallel.
6. Welke conclusies trek je uit deze proef?

Parallelschakeling van twee lampjes. Tussen A en B is de stroomkring vertakt. In de ene tak zit lampje 1, in de andere lampje 2. De stroommeter meet de stroom door lampje 2.

Bij deze proef blijkt dat hoe meer lampjes je naast elkaar schakelt, hoe groter de stroom is die de spanningsbron levert. Dat geldt ook bij de parallelschakeling van lampen (en elektrische apparaten) thuis: Hoe meer lampen of elektrische apparaten er aan staan, des te groter is het stroomgebruik en des te hoger de electriciteitsrekening. Het electriciteitsgebruik wordt gemeten met de kilowattuurmeter (kWh-meter).



De spanning meten van een lampje in een stroomkring met meerdere lampjes.



kWh-meter

PROEF 13.

1. Laat een fietslampje branden op 6V.
2. Schakel een tweede lampje in serie met het eerste. Meet de spanning over elk lampje en over beide lampjes samen.
3. Herhaal 2 met 3 lampjes.
4. Herhaal 2 en 3 met parallelschakeling.
5. Welke conclusies trek je uit deze proef?

Bij serieschakeling wordt de spanning van de spanningsbron verdeeld over de lampjes. Tel je de spanningen die je over de lampjes meet, bij elkaar op, dan vind je de spanning van de spanningsbron.

Bij parallelschakeling is de spanning over elke tak even groot.

6 theorie over spanning en stroom

Stroom

Als een lamp gloeit, een stroommeter uitslaat of een bel rinkelt, loopt er een elektrische stroom. Zo'n elektrische stroom moet je je voorstellen als een stroom elektrisch geladen deeltjes. De deeltjes heten elektronen (wat elektronen zijn vind je in leestekst 1 op blz. 43). In een stroomkring lopen dus elektronen rond.

De grootte van de stroom (de stroomsterkte) wordt bepaald door het aantal elektronen dat elke seconde door de draad loopt. Naarmate meer elektronen door de draad lopen is de stroomsterkte groter en brandt het lampje feller of slaat de stroommeter verder uit.

Hoe dit in zijn werk gaat, kun je je voorstellen door een plastic buis te vullen met knikkers.



Er loopt een stroom in de buis als er aan de ene kant knikkers in de buis gestopt worden, en die er aan de andere kant weer uitkomen. Des te sneller de knikkers stromen, des te groter is de stroomsterkte.

Met deze plastic buis kun je ook begrijpen waarom de stroomsterkte in de aanvoerdraad even groot is als de stroomsterkte in de afvoerdraad voor een lamp, zoals je in proef 11, onderdeel 2 en 3 gezien hebt: knikkers die links in de buis gestopt worden, moeten er rechts weer uitkomen. Er kunnen onderweg geen knikkers bijkomen of verdwijnen.

Spanning

Een elektrische stroom, die door een lamp loopt, zet in de lamp elektrische energie om in warmte en licht (stralingsenergie). De elektrische stroom transporteert energie van de spanningsbron naar de lamp. De stromende deeltjes krijgen de energie van de spanningsbron.

In de lamp staan de stromende deeltjes een deel van die energie weer af. De deeltjes stromen zelf weer terug naar de spanningsbron om opnieuw energie te krijgen. De deeltjes zelf raken niet op, maar ze raken wel energie kwijt.

De spanning op het voedingskastje geeft aan hoeveel energie aan elk deeltje meegegeven wordt. Een hogere spanning van de spanningsbron heeft daarom twee gevolgen:

1. elk deeltje krijgt meer energie mee;
2. de deeltjes gaan harder stromen.

Het lampje zal daarom feller gaan branden, omdat meer energie in warmte wordt omgezet.

Stroom en spanning in een serieschakeling

Enige lampen in serie maakt de stroomsterkte in de kring kleiner dan wanneer maar één lamp op de spanningsbron is aangesloten. Het is moeilijker de deeltjes door twee lampjes te persen dan door één lampje. De deeltjes moeten de weerstand van beide lampjes overwinnen. Er ontstaat dus een kleinere stroom.

Als je dit wilt vergelijken met de plastic buis met knikkers, moet je je voorstellen dat er twee vernauwingen in de buis zitten. Dat zijn dan de twee lampjes. Door de vernauwingen

wordt de stroomsterkte kleiner, want de weerstand (de wrijving) in de buis is groter geworden.

Bij meer lampjes in serie wordt ook de energie die de deeltjes van de spanningsbron meekrijgen, over de lampjes verdeeld. Elk lampje krijgt minder energie dan wanneer het alleen in de stroomkring zou zijn opgenomen. Bij drie lampjes in serie is de spanning over elk lampje $\frac{1}{3}$ van de spanning van de spanningsbron: elk krijgt maar $\frac{1}{3}$ van de energie.

De combinatie van de stroomsterkte die kleiner wordt en de spanning die verdeeld wordt over de lampjes maakt dat in een serieschakeling minder energie in de lampjes vrijkomt. De lampjes branden dus minder fel. Dit heb je gezien in proef 11, onderdeel 3.

Stroom en spanning in een parallelschakeling

Bij het schakelen van twee of meer lampjes parallel, zoals in proef 12, onderdeel 3 en 4, is de stroomsterkte in de kring (in het onvertakte deel van de kring) groter dan bij één lampje. De stroom kan nu door $\hat{e}$ n het ene $\hat{e}$ n het andere lampje stromen.

Ook dit kun je vergelijken met de plastic buis met knikkers. Een parallelschakeling wil zeggen dat je in twee buizen naast elkaar knikkers rond laat stromen. Dat gaat gemakkelijker dan wanneer je maar één buis hebt. Het totale aantal knikkers dat je kunt laten rondlopen, is dus groter. De weerstand van twee buizen parallel is dus kleiner dan de weerstand van één buis.

Ook nu is de stroomsterkte in de aanvoer- en afvoerdraad weer even groot. Als je elke seconde 10 knikkers aanvoert, stop je er 5 in elke buis. Aan de andere kant komen er dan ook elke seconde samen weer 10 uit.

De spanningsbron levert bij een parallelschakeling elk lampje evenveel energie als bij een lamp alleen. De lampen blijven immers even fel branden. De spanningsbron zal, als er meer lampen parrallel geschakeld zijn, wel meer energie moeten leveren. Als de lampen op een accu of batterij branden raken die sneller op. Branden ze op het lichtnet, dan geeft de kWhmeter aan dat er meer energie verbruikt wordt.

SYMBOL	BETEKENIS
	SCHAKELAAR
	LAMPJE
	SPANNINGSBRON
	REGBARE SPANNINGSBRON
	STROOMMETER OF AMPÈREMETER
	SPANNINGSMETER OF VOLTMETER

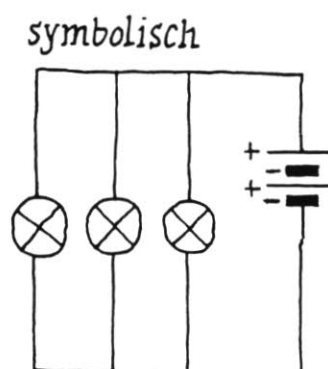
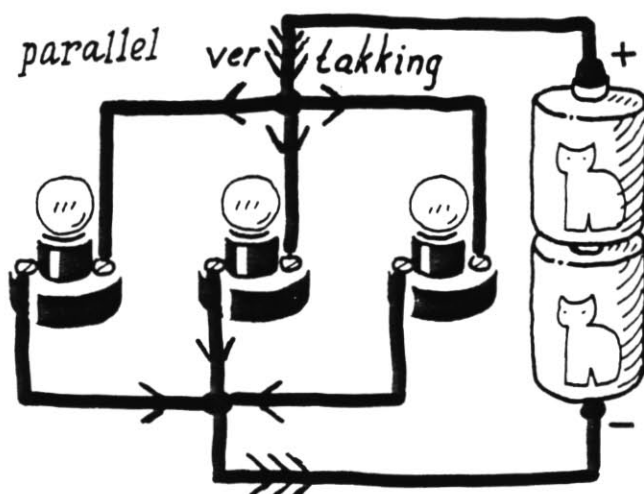
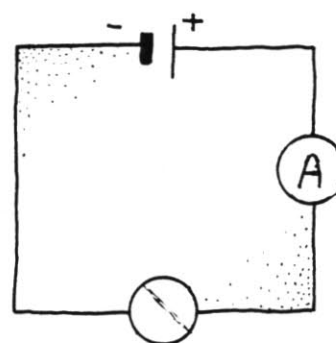
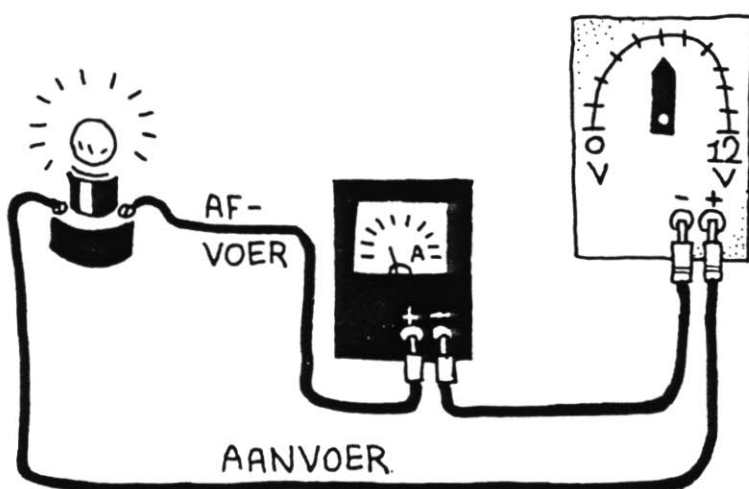
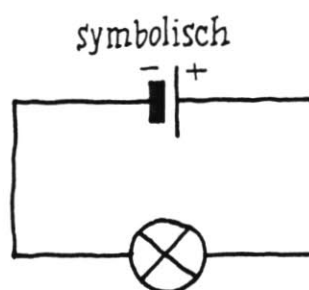
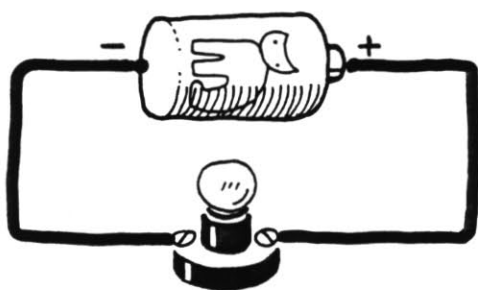
Voorbeelden van symbolen in tekeningen van elektrische schakelingen.

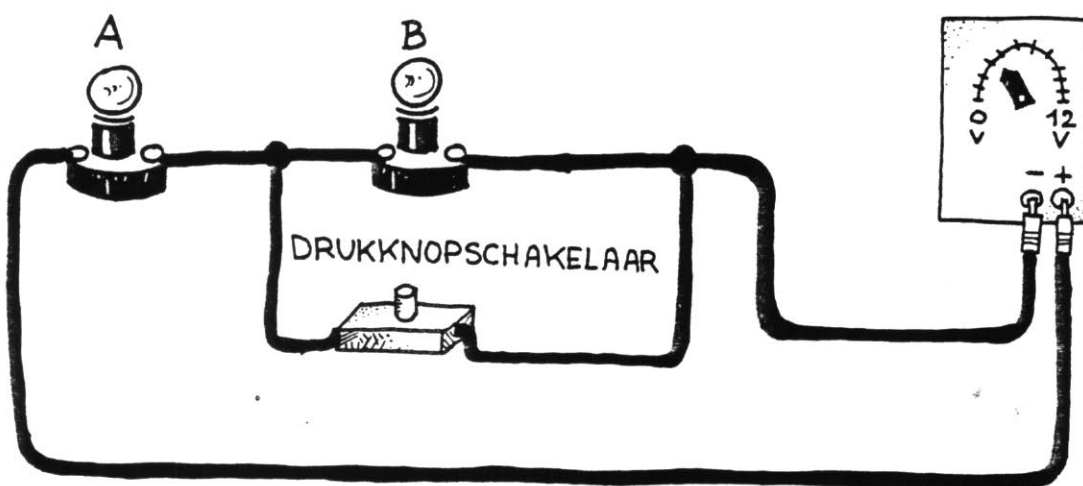
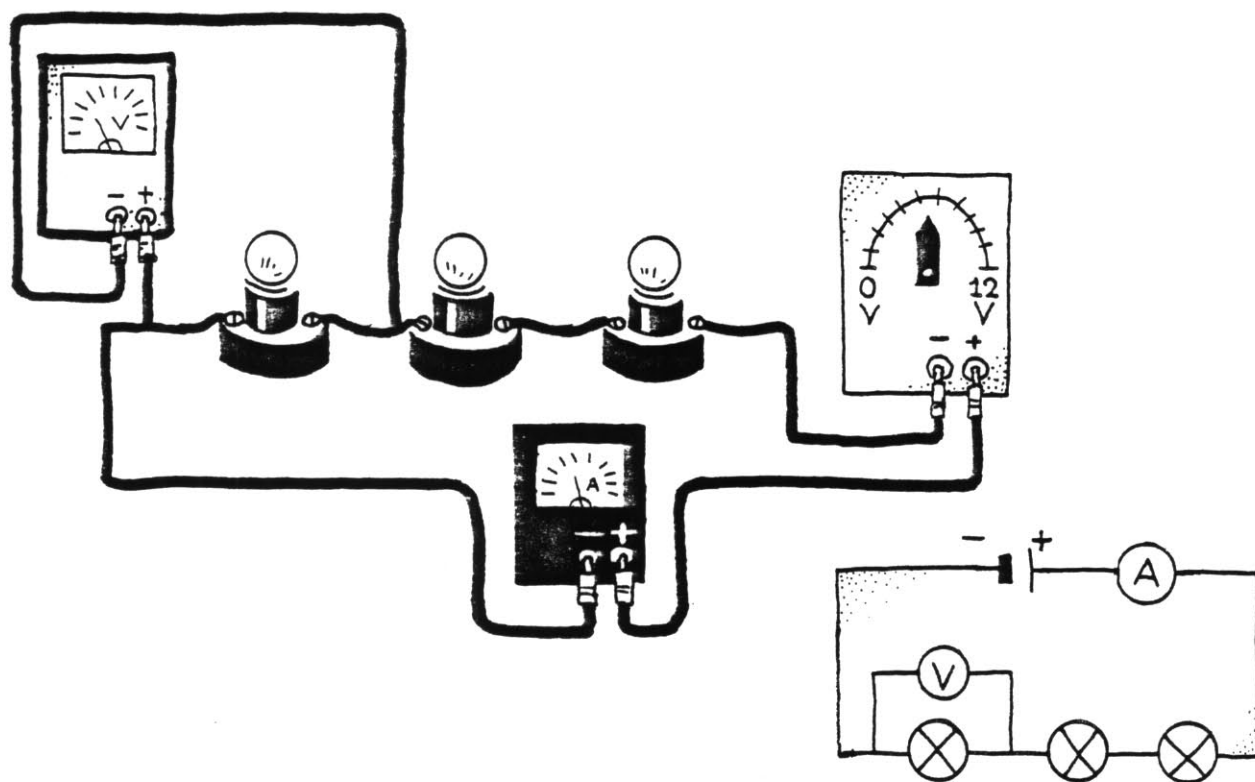
7 schakelingen tekenen

Het tekenen en fotograferen van de schakelingen, die in dit boekje staan, is een tijdrovend karwei. Toch zijn duidelijke tekeningen nodig om fouten in de opstelling te voorkomen.

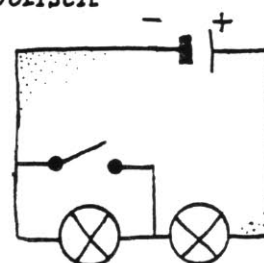
Meestal werkt men daarom met symbolen (zie blz. hiernaast).

Met symbolen kun je snel een duidelijke tekening van een schakeling maken. Hieronder vind je wat voorbeelden van schakelingen, waarin met symbolen wordt gewerkt (rechts).

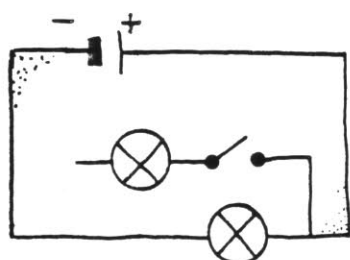


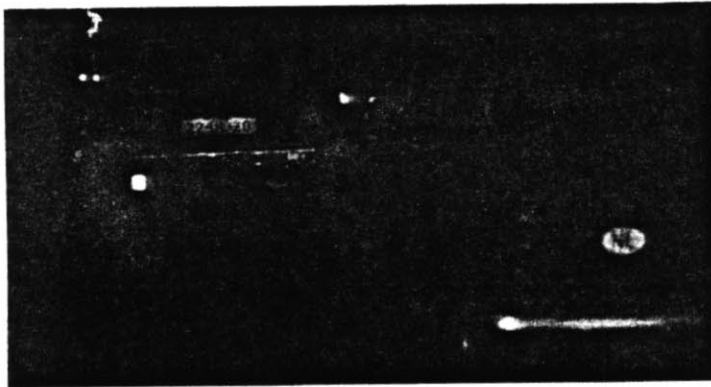


symbolisch



PROEF 14.
Bouw de volgende schakeling.





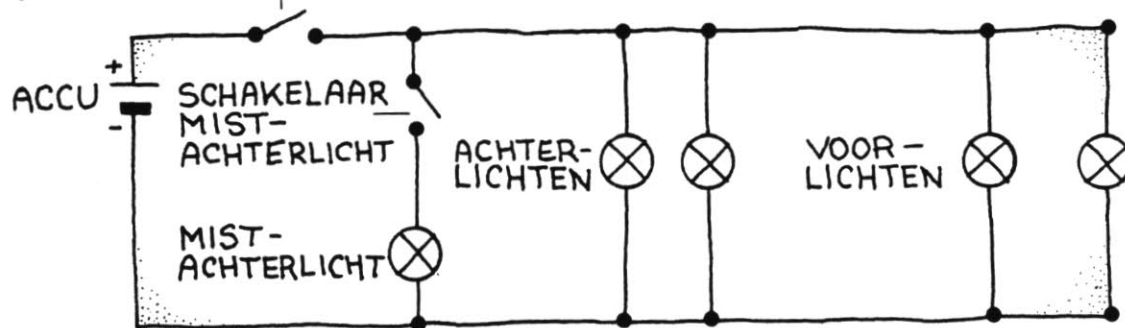
Auto met brandend mistachterlicht. Het mistachterlicht mag alleen branden als de voor- en achterlichten ook branden

PROEF 15.

Een mistachterlicht van een auto mag alleen branden als de voor- en achterlichten ook branden. Door de lampen te schakelen zoals in het schema hieronder doet de bestuurder van de auto dit altijd goed.

1. Bouw de schakeling.
2. Controleer dat het mistachterlicht alleen brandt als de voor- en achterlichten ook branden.

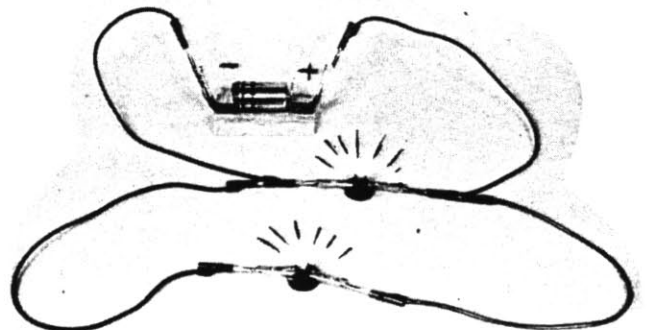
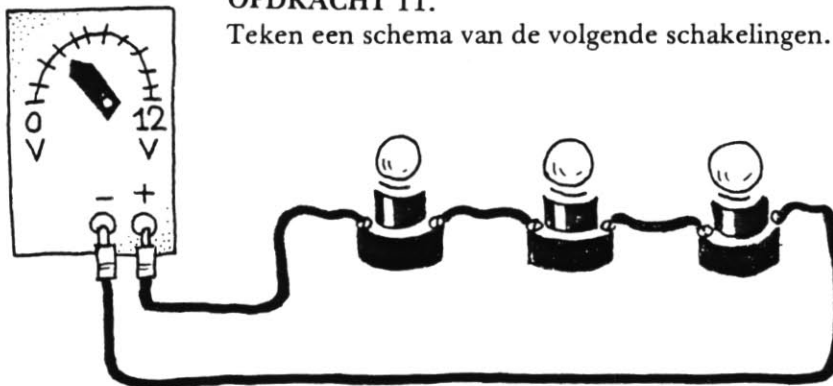
SCHAKELAAR VOOR- EN ACHTERLICHTEN

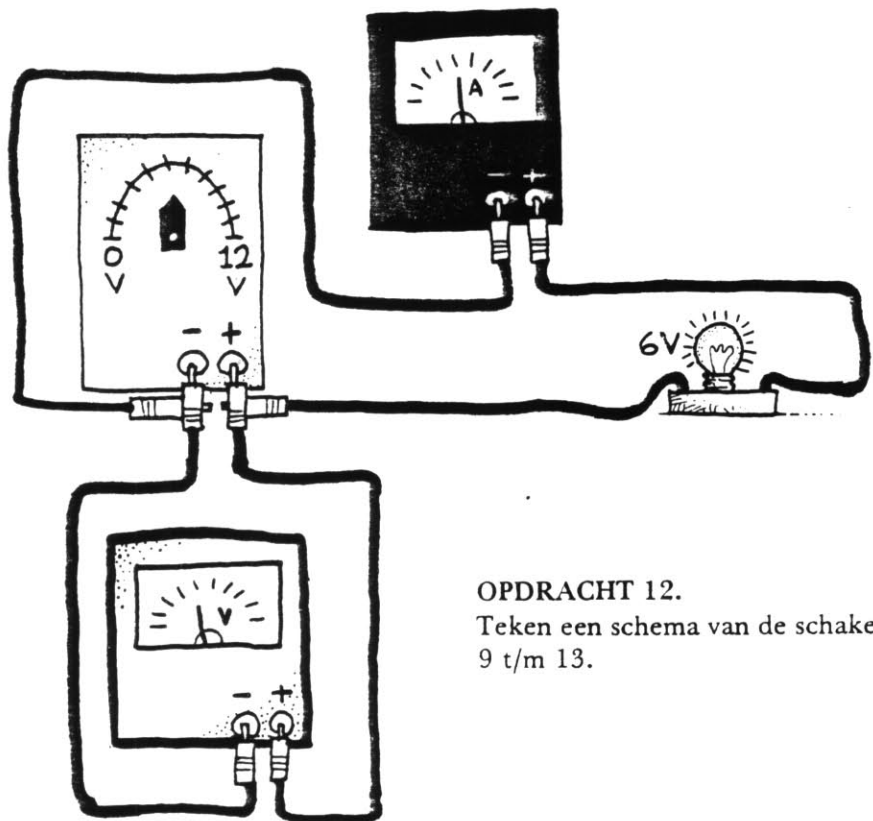
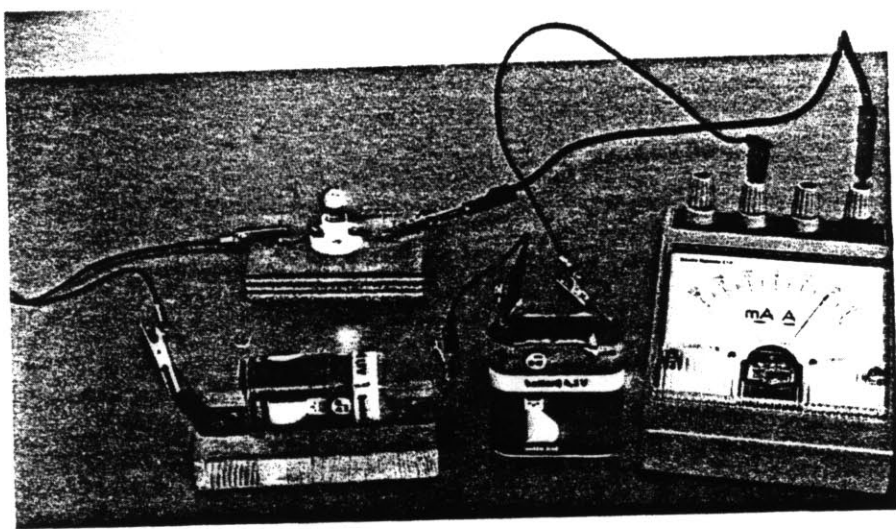
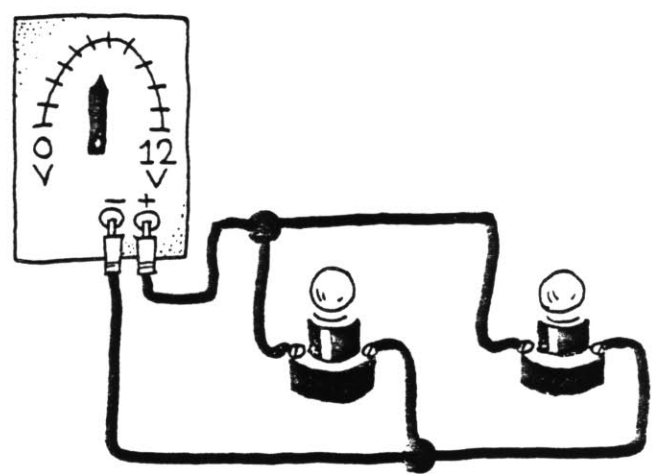
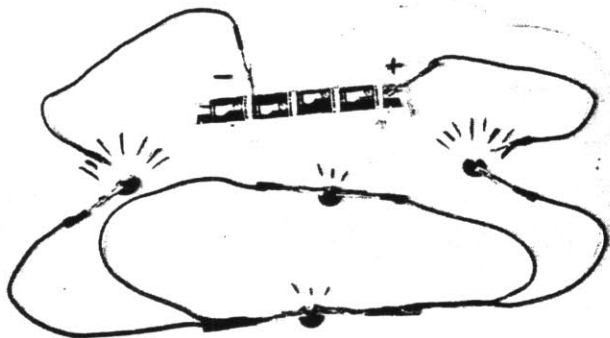


Schakeling van de verlichting van een auto met mistachterlicht.

OPDRACHT 11.

Teken een schema van de volgende schakelingen.





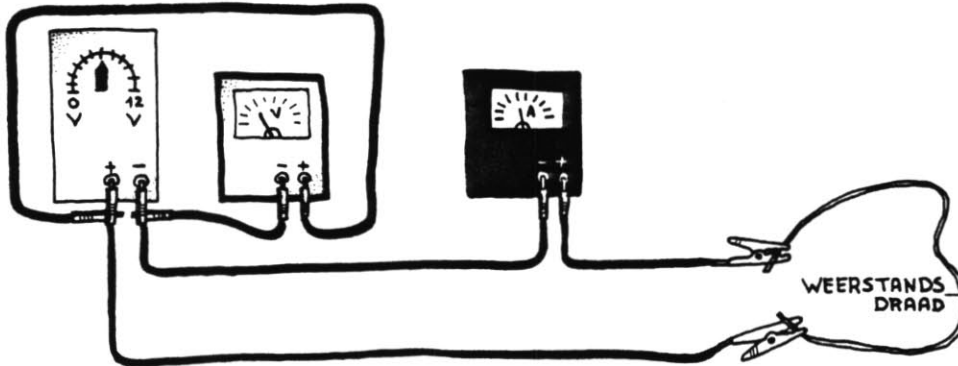
OPDRACHT 12.

Teken een schema van de schakelingen van proef 3, 7, 9 t/m 13.

8 meten en rekenen aan spanning en stroom

8.1. SPANNING EN STROOM

Een belangrijk verband in de natuurkunde is het verband tussen de spanning over een draad en de stroom door die draad.



PROEF 16.

Spanning en stroom (1)

1. Maak bovenstaande schakeling.
2. Stel de spanning in op 1,0 V en meet de stroom.
3. Doe dit ook voor 2,0 V, 3,0 V en 4,0 V.
4. Hoe verandert de stroomsterkte als de spanning 2x zo groot wordt?
Wat valt je op in de laatste kolom?

SPANNING	STROOM	<u>SPANNING</u> <u>STROOM</u>
1,0 V		
2,0 V		
3,0 V		
4,0 V		

PROEF 17.

Spanning en stroom (2)

Herhaal proef 16 met een andere draad.

Als de spanningsbron aanstaat, loopt er een elektrische stroom door de weerstands-draad. Zo'n elektrische stroom moet je je voorstellen als een stroom electronen (zie leestekst 1). De grootte van de stroomsterkte is een maat voor het aantal electronen dat elke seconde een bepaald punt van de weerstandsdraad passeert.

De grootte van de spanning geeft aan hoeveel energie de spanningsbron aan elk electron meegeeft.



Je kunt de weerstand vergelijken met een plastic buis. De buis is gevuld met knikkers (de electronen) die erdoor geduwd worden. Als je 2x zoveel knikkers door de buis wilt laten lopen in dezelfde tijd, moet je 2x zo hard duwen. Zo kun je ook begrijpen dat je de spanning 2x zo groot moet maken om de stroom te verdubbelen. Als je de spanning 3x zo groot maakt, gaan er 3x zoveel electronen door de weerstandsdraad; de stroom wordt 3x zo groot. De verhouding tussen spanning en stroomsterkte voor één draad is dus constant.

8.2. SPANNING, STROOM EN WEERSTAND

De verhouding tussen de spanning over een draad en de stroom door die draad is constant.* Deze zin heet de Wet van Ohm.** De constante noemt men de *weerstand* van de draad. De Wet van Ohm kun je ook als formule opschrijven, als je voor spanning, stroom en weerstand symbolen hebt ingevoerd.



Symbolen voor spanning, stroomsterkte en weerstand



De Wet van Ohm

De verhouding tussen spanning (V) en stroom (I) is de weerstand (R) wordt dan: $\frac{V}{I} = R$.

De eenheid van weerstand is ohm (afgekort: Ω , spreek uit „oom”).

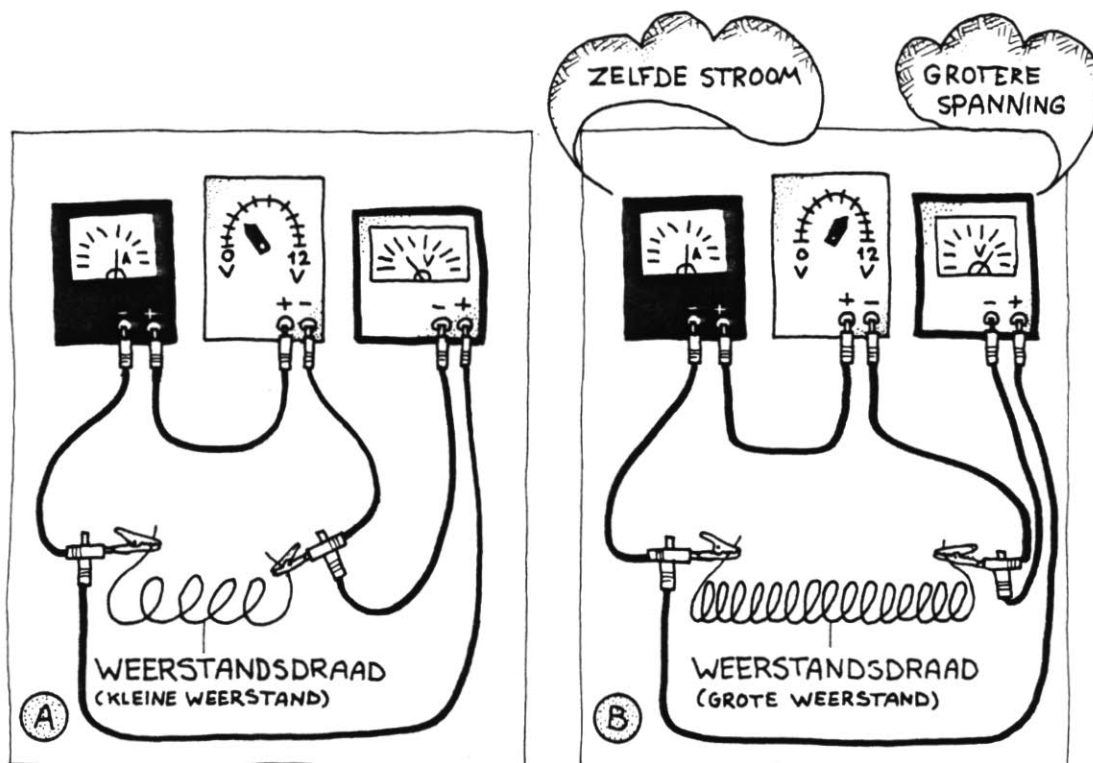
De weerstand geeft aan in welke mate een draad electronen die erdoor heengaan, tegenwerkt.

Als een weerstandsdraad de electronen die erdoor heengaan maar een klein beetje tegenwerkt, heeft hij een kleine weerstand. De spanningsbron hoeft niet zo hard te duwen om de electronen door de draad te krijgen. Een weerstandsdraad die electronen sterk tegenwerkt, heeft een grote weerstand. De spanningsbron moet dan weer harder duwen om hetzelfde aantal electronen door de draad te krijgen. Als hij dat niet doet, gaan er veel minder electronen door de draad en is de stroomsterkte dus kleiner.

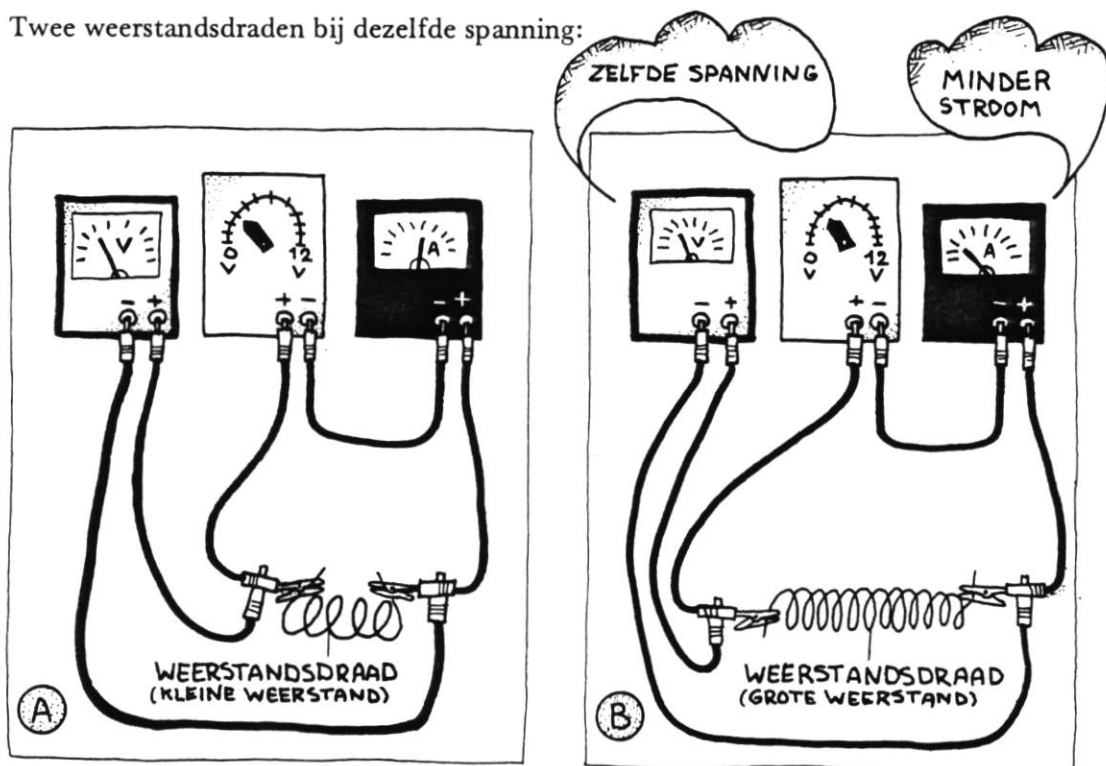
* Mogelijk zijn jouw getallen in de kolom spanning/stroom niet *precies* gelijk. Vraag aan je leraar hoe dat komt.

** Deze wet geldt alleen als de temperatuur constant is; zie het hoofdstuk 8.3. „Weerstand en temperatuur” hierna.

Twee weerstandsdraden bij dezelfde stroom:



Twee weerstandsdraden bij dezelfde spanning:



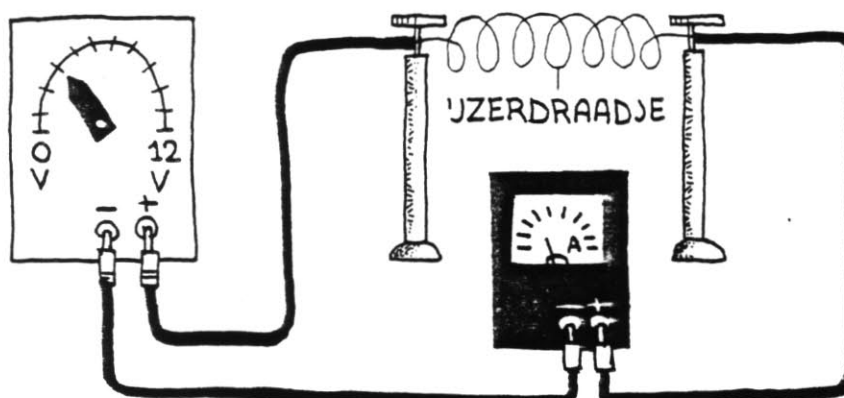
OPDRACHT 13.

Wat is de weerstand van de draad uit proef 16 en uit proef 17?

8.3. WEERSTAND EN TEMPERATUUR

PROEF 18: de stroom opblazen

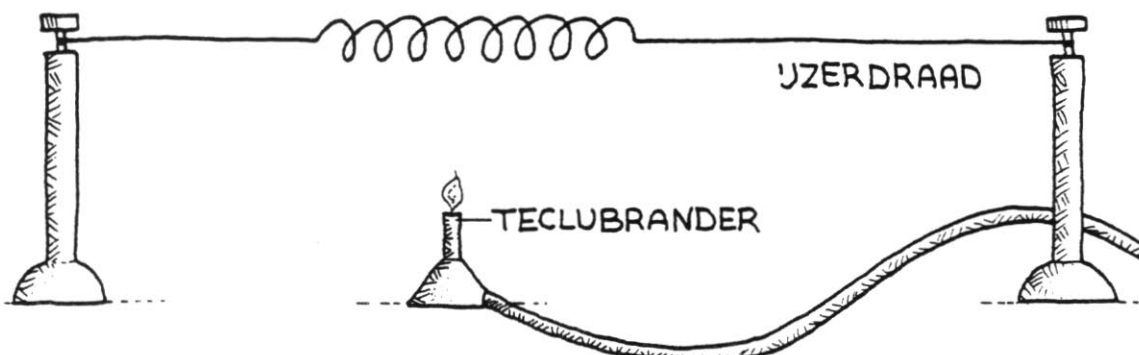
1. Maak de volgende opstelling (voedingskastje uit).



2. Schakel de spanning aan, en let op de stroomsterkte terwijl je de spanning aanzet.
3. Probeer de stroom „op te blazen” door tegen het ijzerdraadje te blazen. Zorg dat de uitwijking van de stroommeter niet te groot wordt.

PROEF 19: weerstand en temperatuur

1. Maak de volgende opstelling



2. Bepaal de weerstand van je ijzerdraad (teclubrander uit).
3. Steek de teclubrander aan.
Bepaal de weerstand van de ijzerdraad.

Uit de proef blijkt: De weerstand van een ijzerdraad is groter als de temperatuur van de draad hoger is. Omdat de moleculen heftiger heen en weer bewegen, kunnen de elektronen er moeilijker langs.

De weerstand hangt dus af van de temperatuur van de draad.

Bij proef 18 kon je de stroom „opblazen”. Door te blazen koelt het ijzerdraadje af. Daardoor wordt zijn weerstand kleiner en de stroom in de stroomkring groter.

In de vorige paragraaf heb je geleerd dat de weerstand van een draad gelijk is aan de spanning over die draad gedeeld door de stroom door de draad. Als de weerstand verandert bij temperatuurverhoging, dan verandert dus ook de verhouding van spanning en stroom. Bij temperatuurverandering geldt dus niet meer dat de verhouding van spanning en stroom constant is: de Wet van Ohm geldt dus niet meer.

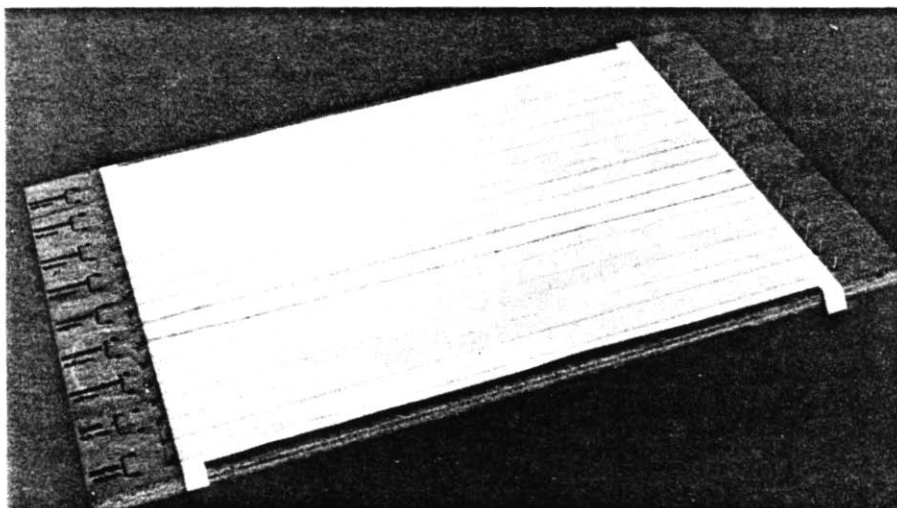
$$\frac{V}{I} = R$$

De Wet van Ohm. Deze wet geldt alleen als de temperatuur constant is.

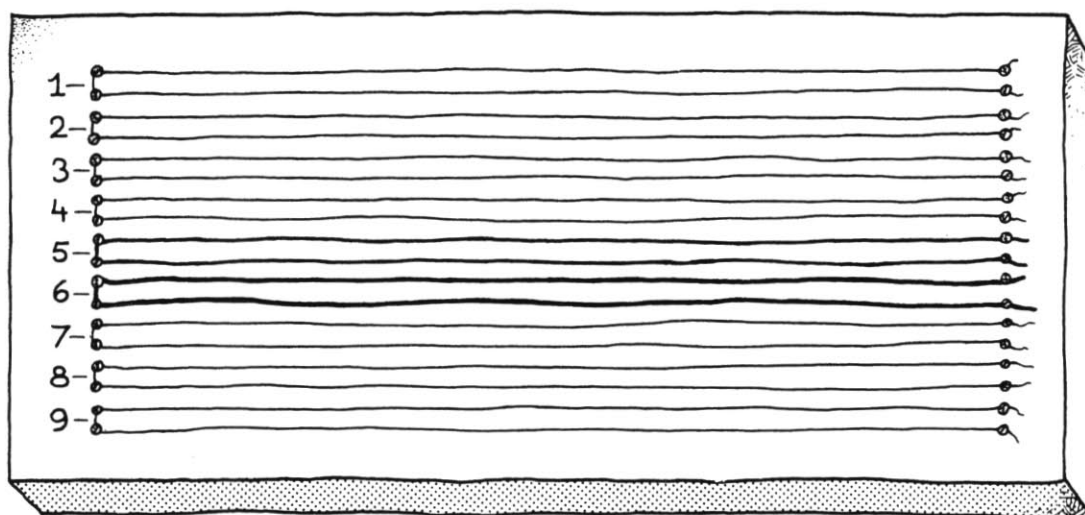
De Wet van Ohm geldt alleen bij constante temperatuur.
 Zie ook de leestekst op blz. 57.

8.4. DE WEERSTAND VAN GELIJKE DRADEN IN SERIE

Bij proef 20, 21, 22 en 23 gebruiken we een plank met verschillende weerstandsdraden, zoals op de foto hieronder.



Dradenplank.



	MATERIAAL	DIKTE
1, 2, 3, 4	NICHROOM	0,2 MM.
5	NICHROOM	0,4 MM.
6	NICHROOM	0,6 MM.
7	KOPER	0,2 MM.
8	IJZER	0,2 MM.
9	CONSTANTAAN	0,2 MM.

VRAAG JE LERAAR
 OF DE OPGAVE
 KLOPT VOOR
 JOUW
 DRADENPLANK !

SERIESCHAKELING		
AANTAL DRADEN	STROOM-STERKTE	WEERSTAND
1		
2		
3		
4		

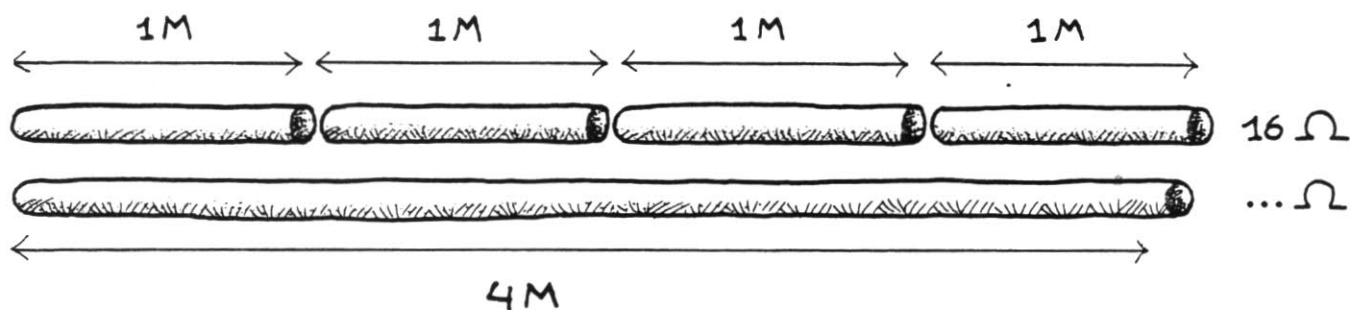
PROEF 20: de weerstand van draden in serie

1. Sluit draad 1 van de dradenplank aan op een voedingskastje. Stel de spanning in op 1,0 V en meet de stroomsterkte. Bepaal de weerstand van de draad.
2. Als je twee of meer draden achter elkaar schakelt, hebben de draden samen een grotere weerstand dan 1 draad.

Meet de stroomsterkte bij 2, 3 en 4 gelijke draden in serie. Stel de spanning steeds op 1,0 V.
Bepaal de weerstand in elk van de gevallen.

Er blijkt dat bij serieschakeling van twee gelijke draden de stroomsterkte de helft wordt van wat hij was bij één draad. De beide draden in serie maken het de spanningsbron 2x zo moeilijk om de electronen rond te pompen.

De weerstand van twee draden in serie is 2x zo groot als de weerstand van één draad. Bij serieschakeling van drie draden ...



Een lange draad van 4 m lengte kun je voorstellen als 4 korte draden van elk 1 m lengte, direkt achter elkaar (in serie).

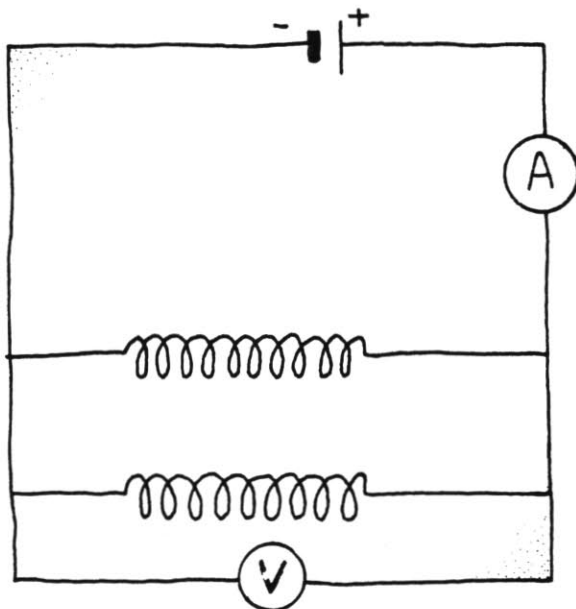
OPDRACHT 14.

Beredeneer of een lange draad een grotere of een kleinere weerstand heeft dan een korte draad.

OPDRACHT 15.

Hoe groot is de weerstand van de lange draad uit de tekening?

8.5. DE WEERSTAND VAN GELIJKE DRADEN PARALLEL



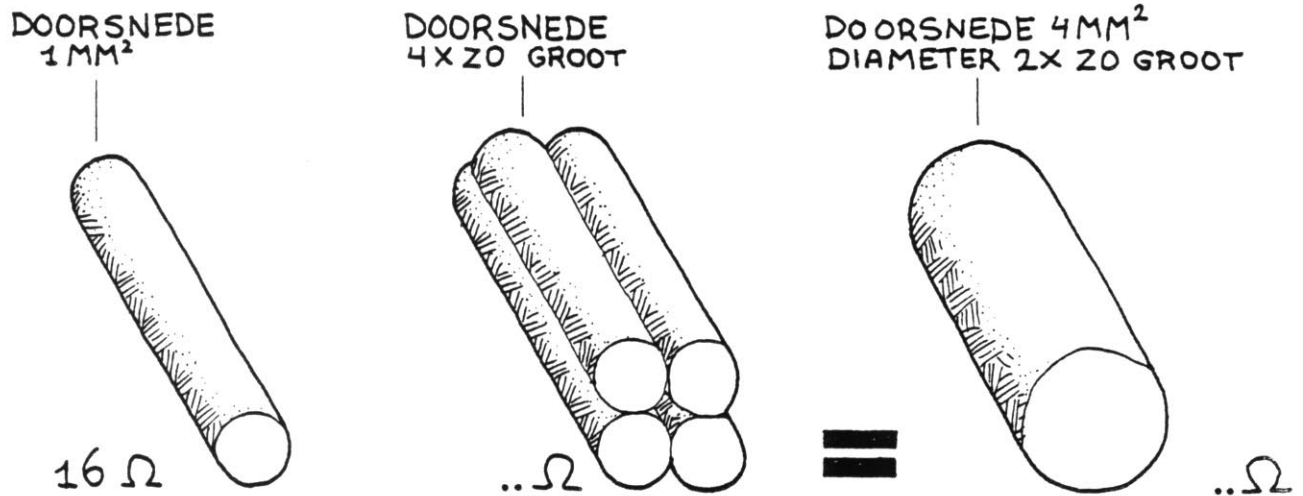
PROEF 21: De weerstand van draden parallel

1. Sluit een draad aan op een voedingskastje. Stel de spanning in op 1,0 V en meet de stroomsterkte.
2. Meet de stroomsterkte bij 2, 3 en 4 draden parallel. Stel de spanning steeds in op 1,0 V. Bepaal de weerstand in elk van de gevallen. Noteer de gevonden waarden in de tabel op de volgende bladzijde.

Bij de draden blijkt dat bij parallelschakeling van twee draden de stroomsterkte verdubbelt. De weerstand van twee draden is precies de helft van de weerstand van één draad. Bij parallelschakeling van drie draden . . .

PARALLELSCHAKELING		
AANTAL DRADEN	STROOM-STERKTE	WEER-STAND
1		
2		
3		
4		

8.6. DE WEERSTAND EN DIKTE VAN EEN DRAAD



Een dikke draad van 4 mm^2 doorsnede kun je voorstellen als 4 dunne draden van elk 1 mm^2 doorsnede direkt naast elkaar (parallel).

OPDRACHT 16.

Beredeneer of een dikke draad een grotere of een kleinere weerstand heeft dan een dunne draad.

OPDRACHT 17.

Hoe groot is de weerstand van de dikke draad uit de tekening?

OPDRACHT 18.

Wat is het verband tussen de weerstand van een draad en de doorsnede van die draad?

PROEF 22. Weerstand en dikte van een draad.

Bepaal het verband tussen de weerstand van een draad en de doorsnede van die draad met behulp van draad 4, 5 en 6 van de dradenplank. Stel de spanning steeds in op $1,0 \text{ V}$.

8.7. WEERSTAND EN MATERIAAL

Om na te gaan of de weerstand van een meter draad afhangt van het materiaal waarvan de draad is gemaakt, doen we de volgende proef.

PROEF 23. Weerstand en materiaal.

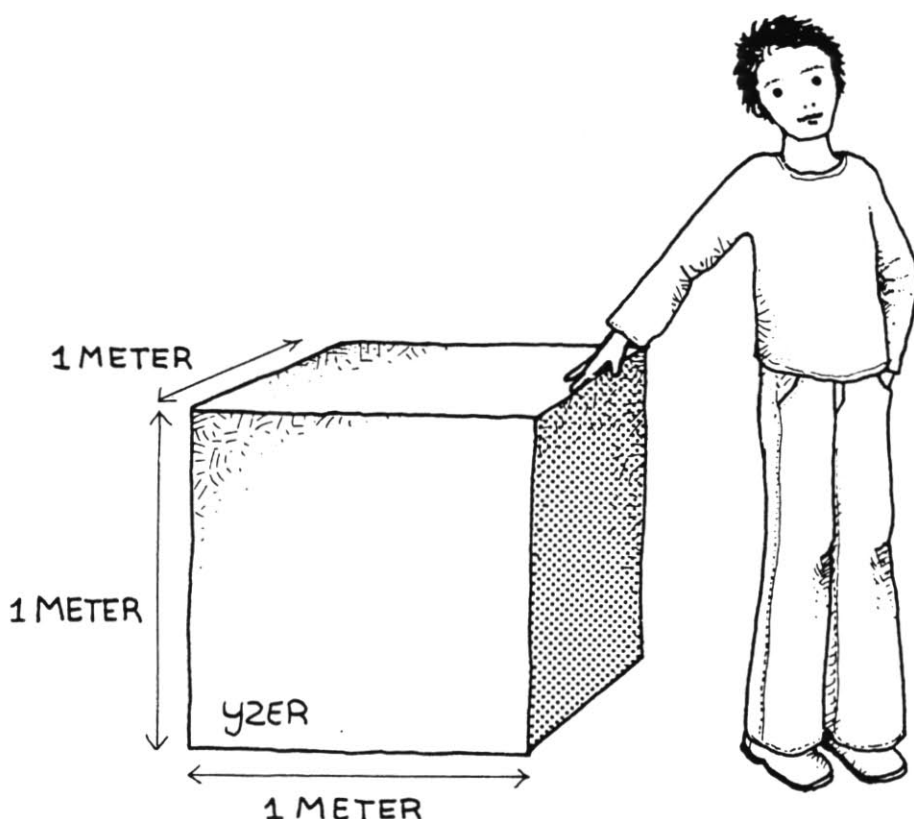
1. Bepaal de weerstand van 1 m draad met een diameter van $0,2 \text{ mm}$ voor nichroom, koper, ijzer en konstantaan. (draden 1, 7, 8 en 9 van de dradenplank)
2. Trek je konklusie uit deze proef.

Soortelijke weerstand.

Uit de voorgaande proef blijkt dat de weerstand van een draad afhangt van het soort materiaal waarvan het gemaakt is. Het kost een spanningsbron bijvoorbeeld meer moeite elektronen door een nichroomdraad te pompen dan elektronen door een koperdraad te pompen. Om de weerstand van verschillende materialen eerlijk te vergelijken moet je draden nemen die even lang zijn en even dik.

OPDRACHT 19.

Waarom moet dat?



Als soortelijke weerstand van een stof neemt men de weerstand van een kubus van 1 m^3 van die stof.

In proef 23 heb je dat ook gedaan. In tabellen zoals aan het eind van dit boek (zie blz. 62) wordt meestal de weerstand opgegeven van een blok van 1 m lengte met een doorsnede van 1 m^2 ! Deze weerstand heet de *soortelijke weerstand*. Het is een eigenschap van het soort materiaal en staat in de tabellen tussen alle andere eigenschappen van datzelfde materiaal (zoals de dichtheid, smeltpunt enz.). De eenheid van soortelijke weerstand is $\Omega \text{ m}$ (ohm meter).

In de tabel vind je voor de soortelijke weerstand van nichroom $110 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$.

Dat betekent dat een nichroom blok van 1 m lengte en een doorsnede van 1 m^2 een weerstand heeft van $110 \times 10^{-8} \Omega$.

De weerstand van een nichroomdraad van 1 m lengte en een doorsnede van 1 mm^2 is 10^6 (één miljoen) $\times$ zo groot, dus $1,10 \Omega$. Is de doorsnede $0,1 \text{ mm}^2$ en de lengte 1 m, dan is de weerstand 11Ω . Een nichroomdraad van 2 m lengte en een doorsnede van $0,1 \text{ mm}^2$ heeft een weerstand van 22Ω .

OPDRACHT 20.

Vergelijk jouw resultaten van proef 6 met de in de tabel opgegeven waarden voor de soortelijke weerstand. Bedenk dat een draad van 0,2 mm dik een doorsnede heeft van $0,03 \text{ mm}^2$.*

OPDRACHT 21.

Zoek in de tabellen achterin op welk metaal de grootste en welk metaal de kleinste soortelijke weerstand heeft.

OPDRACHT 22.

Hoe zie je aan de soortelijke weerstand welke stof een geleider en welke stof een isolator is?

OPDRACHT 23.

Waarom maakt men elektriciteitsdraden bij voorkeur van koper?

Oplossingen van de meter problemen op blz. 17 en 19.

De stroommeters (blz. 17)

1. $140 \text{ mA} = 0,140 \text{ A}$
2. $2,10 \text{ A} = 2100 \text{ mA}$
3. $0,50 \text{ A} = 500 \text{ mA}$
4. $18,0 \text{ mA} = 0,0180 \text{ A}$

De spanningsmeters (blz. 19 en 20)

1. $3,0 \text{ V}$
2. $4,4 \text{ V}$
3. $12,0 \text{ V}$
4. $22,4 \text{ V}$

* De draad is 0,2 mm dik. De straal is dus 0,1 mm en de doorsnede $\pi \times (\text{straal})^2 = 0,03 \text{ mm}^2$.

inhoud leesteksten

1. Atoom en stroom	blz. 43
2. Electriciteit in huis	blz. 49
3. Stroom door je lichaam	blz. 51
4. Volta, Ampère, Ohm	blz. 53
5. Edison	blz. 54
6. Gloeilampen en de wet van Ohm	blz. 57
7. Batterij en accu	blz. 59
8. Tabellen	blz. 62

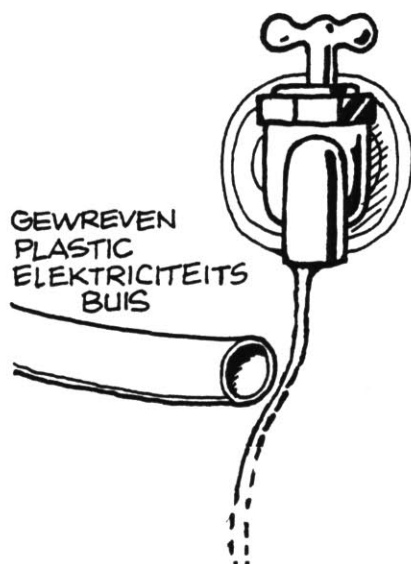
Electrische verschijnselen

Reeds 600 voor Christus was het een Griekse geleerde bekend dat je electriciteit kon opwekken door een stuk barnsteen te wrijven. De barnsteen bezat door het wrijven genoeg electrische kracht om een vogelveer aan te trekken. Veel later werd de wrijvingsmachine uitgevonden die grote electrische krachten kon opwekken en kon zorgen voor vonkontladingen in de lucht.

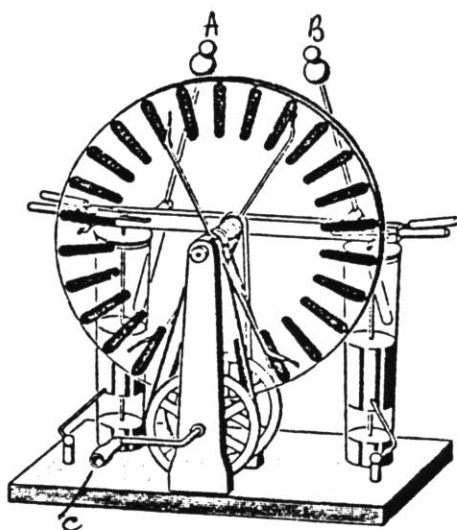
Verder had men ook al lang uitgevonden dat sommige stoffen de electriciteit goed geleiden en andere juist niet.

Men wist dus van electriciteit en electrische verschijnselen best veel. Toch kon men het verschijnsel niet goed verklaren.

Hier volgt een aantal proefjes die de verschijnselen van electrisch laden, die al lange tijd bekend zijn, nogmaals laten zien.

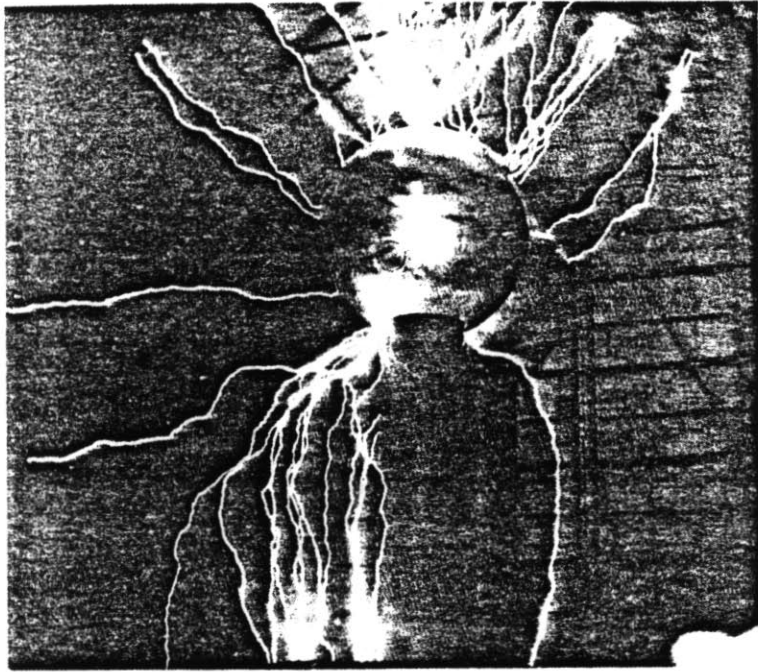


- Wrijf met een droge doek een plastic electriciteitsbuis (of een plastic kam of een plastic kogelpen) op en houd hem vlakbij een heel dun waterstraaltje uit de kraan.

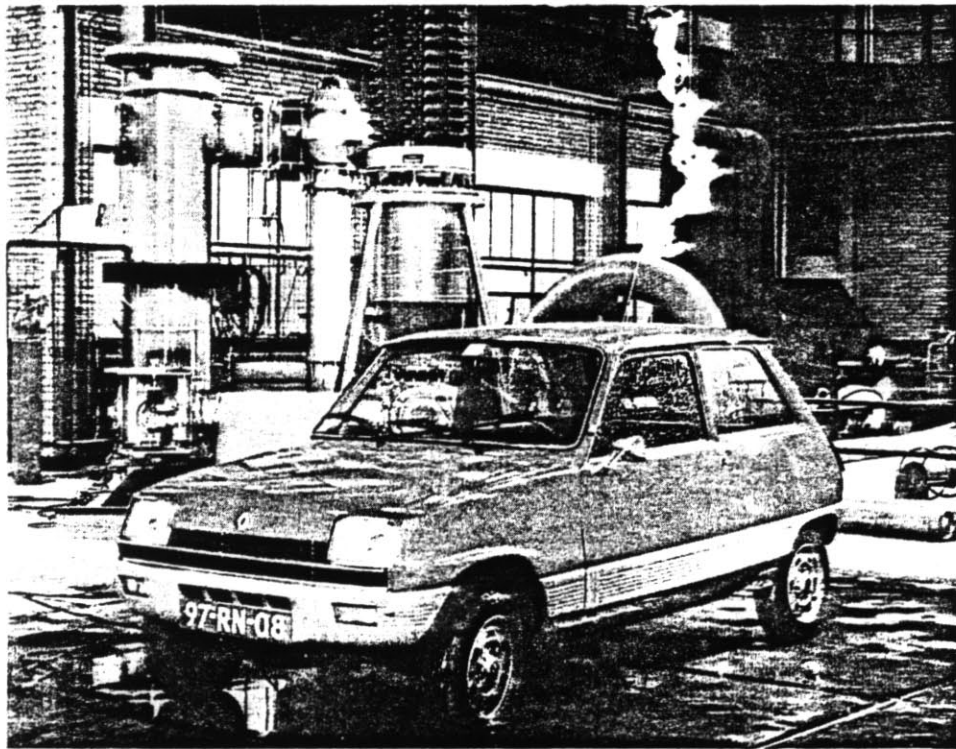


de electriseermachine

- Wrijf met een droge doek een plastic kam of kogelpen op en houdt deze tegen een heel klein snippertje papier. Til de kam of kogelpen op.
- Vraag je leraar om de electriseermachine en laat vonken tussen de beide bollen ontstaan. Laad iemand op zodat zijn/haar haren recht overeind gaan staan. Geef elkaar een hand als je electrisch geladen bent. Schakel bij deze proeven wel je leraar in.



met grote electriseermachines zijn grote ontladingen te verkrijgen



bliksemproef met een auto

Het atoom

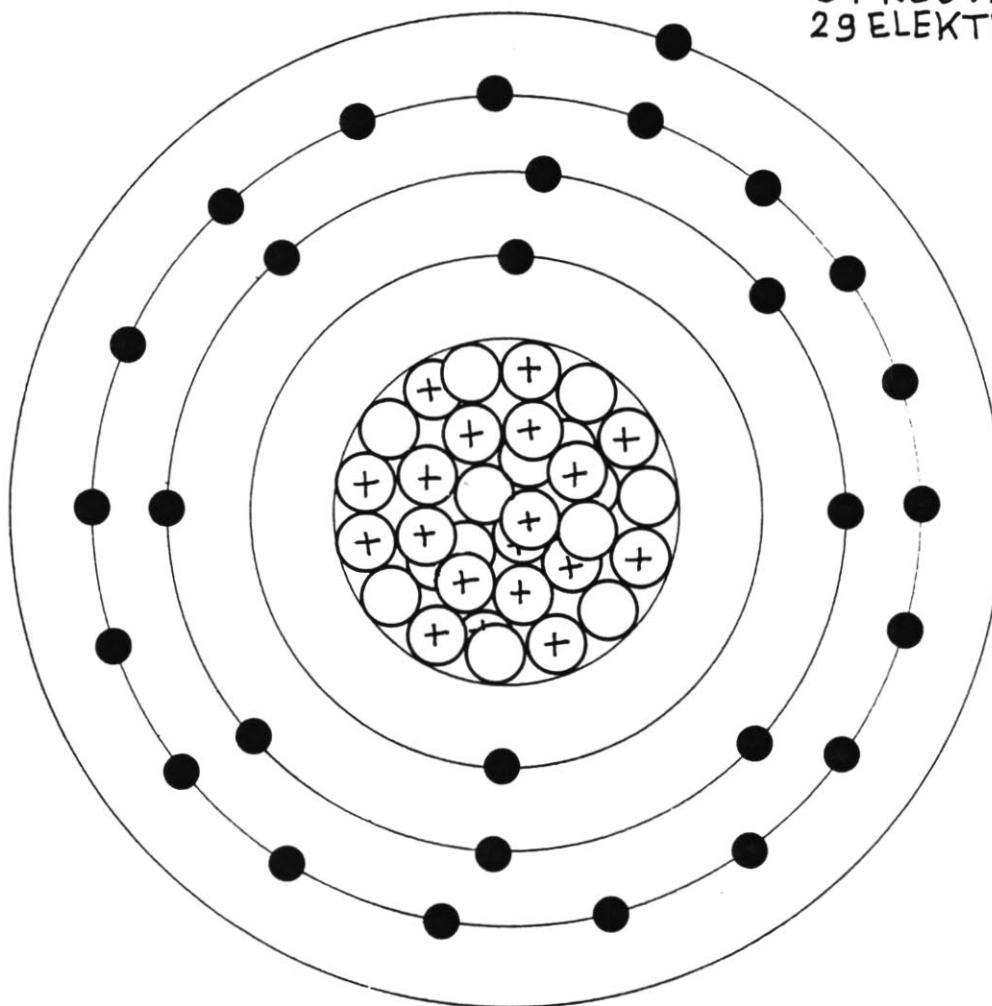
Pas sinds ongeveer 100 jaar heeft men voor deze verschijnselen meer preciese verklaringen gevonden. Voor die tijd wist men al van het bestaan van het atoom, maar men dacht dat een atoom ondeelbaar was (atomos' is het Griekse woord voor ondeelbaar).

Onze landgenoot Lorentz (1853–1923) toonde aan dat in het atoom een deeltje moest zitten, dat electron genoemd werd. Twee andere natuurkundigen, Bohr en Rutherford vulden de theorie van Lorentz aan. Nu stellen we ons het atoom ongeveer als volgt voor:

Een atoom bestaat uit een kern waaromheen één of meer electronen cirkelen. De kern van het atoom bestaat uit positief geladen deeltjes (*protonen* genoemd) en neutraal geladen deeltjes (*neutronen* genoemd). De neutronen houden de kern bij elkaar. Als geheel is de kern positief geladen. Om de kern cirkelen *electronen* in verschillende lagen. Deze hebben een negatieve lading. In een atoom zitten in principe evenveel protonen als electronen, zodat een atoom electrisch neutraal is.

HET ATOOM VAN KOPER MET:

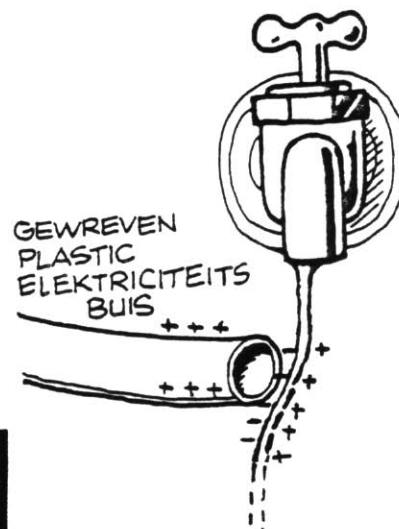
29 PROTONEN
34 NEUTRONEN
29 ELEKTRONEN



Omdat positieve en negatieve ladingen elkaar aantrekken, blijven de electronen om de kern cirkelen. De neutronen in de kern zijn nodig om de kern bij elkaar te houden, omdat gelijksoortige ladingen elkaar afstoten. Hierboven is een koper-atoom getekend.

Deze voorstelling helpt ons de electrische verschijnselen, die hiervoor genoemd zijn, te verklaren.

Door te wrijven, wrijf je electronen van de atomen af. De plastic staaf wordt daarvoor positief geladen, want er zijn meer protonen dan electronen. Hierdoor worden de negatieve deeltjes in het water aangetrokken en de positieve deeltjes afgestoten. Omdat de negatieve deeltjes dichterbij zitten, wordt de waterstraal aangetrokken. Strijk je met je hand over de staaf, dan neutraliseer je de staaf weer en de staaf is niet meer geladen.



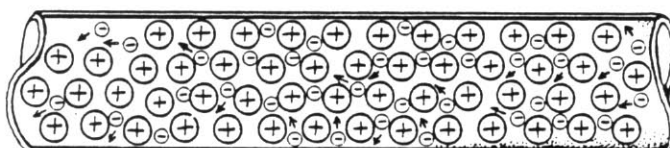
Doordat de haren electrisch geladen worden, gaan ze uit elkaar staan: ze stoten elkaar af.

Bij de electriseermachine laad je de ene bol door wrijven positief en de andere bol door wrijven negatief. Als de lading groot genoeg is, springen er electronen over en zie je een vonk.

Met behulp van de voorstelling van het atoom volgens Bohr en Rutherford kunnen we ook het verschijnsel van de electrische stroom verklaren. In een metaal (alle metalen zijn geleiders) kan een buitenste electron zich vrij door het metaal bewegen. Het electron is niet aan een atoom gebonden.



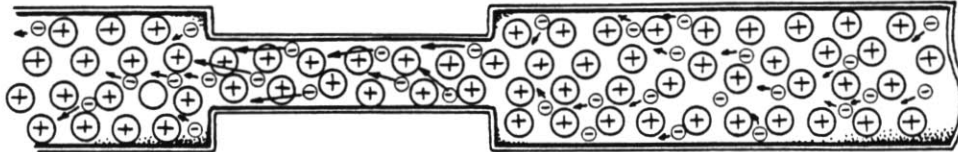
POSITIEVE
KANT
SPANNINGS-
BRON



NEGATIEVE
KANT
SPANNINGS-
BRON

Verbind je nu het metaal met een spanningsbron, dan worden de electronen door de positieve kant van de batterij aangetrokken en er loopt een stroom. De batterij zorgt ervoor dat de electronen weer in de draad komen aan de negatieve kant, zodat de stroom steeds kan doorlopen. De electronenstroom stroomt dus van $-$ naar $+$. Omdat men vroeger dacht dat positieve deeltjes stroomden, en dat is nog steeds spraakgebruik, zeggen we: stroom stroomt van $+$ naar $-$.

En op deze manier bevestigen we ook de stroom- en de spanningsmeter met de $+$ kant naar de $+$ van de spanningsbron en de $-$ kant naar de $-$ van de spanningsbron. Zo is ook te verklaren wat er in een weerstand gebeurt:



De weerstand in een stroomketen

Bij niet-geleiders (isolatoren) zoals plastics, droog hout, kunnen de electronen niet vrij door de stof bewegen. Ze zitten vast aan het atoom. Dat is de reden dat isolatoren de elektrische stroom niet kunnen geleiden.

Van isolatoren maak je dan ook overal gebruik waar de stroom niet geleid mag worden, bijvoorbeeld in hoogspanningskabels of het handvat van een schroevendraaier, die je gebruikt bij klussen aan elektrische apparaten.

Nieuwe kennis over het atoom

Met de voorstelling van het atoom van Bohr en Rutherford zijn veel verschijnselen te verklaren.

Er is echter met behulp van nieuwe technieken al weer een groot aantal nieuwe verschijnselen waargenomen, die niet met de atoomvoorstelling van Bohr en Rutherford verklaard kunnen worden.

Zo neemt men nu aan dat er in de atoomkern naast protonen en neutronen nog veel meer deeltjes zitten, bijvoorbeeld neutrino's, mesonen en pionen.

Ook heeft men rond 1940 ontdekt dat een atoomkern kan splitsen. Bij deze splitsing komen warmte en radio-actieve stoffen vrij. Deze kennis gebruikt men nu in een kernreactor, waar de warmte wordt gebruikt om electriciteit op te wekken. Deze kennis gebruikt men ook bij bestrijding van ziekte. Daarbij worden soms namelijk radio-actieve stoffen gebruikt.



Een miniatuur batterij werkend op radio-actieve stoffen, in dit geval Plutonium. Het voorziet een hartpacemaker 10 jaar van energie. Dit is een positieve toepassing van de kennis van het atoom.

Een kernexplosie. Een negatieve toepassing van de kennis van de bouw van het atoom.



Deze kennis gebruikt men echter ook bij het ontwerpen van kernwapens.

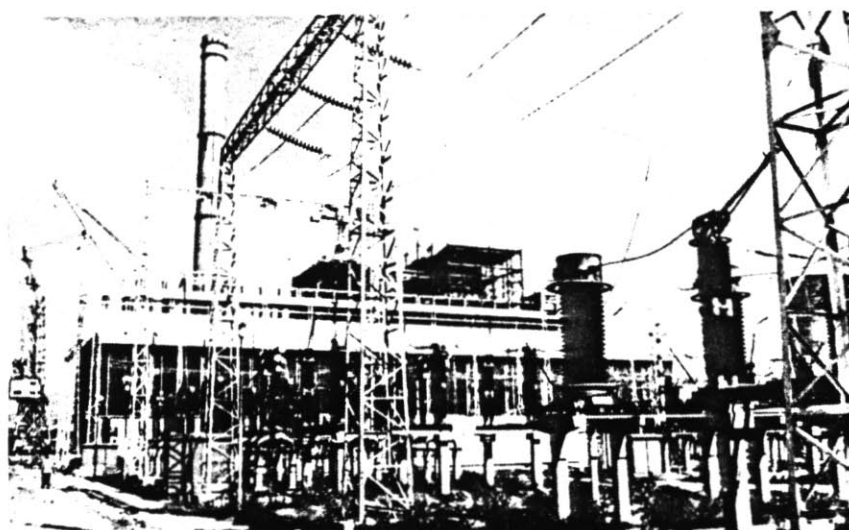
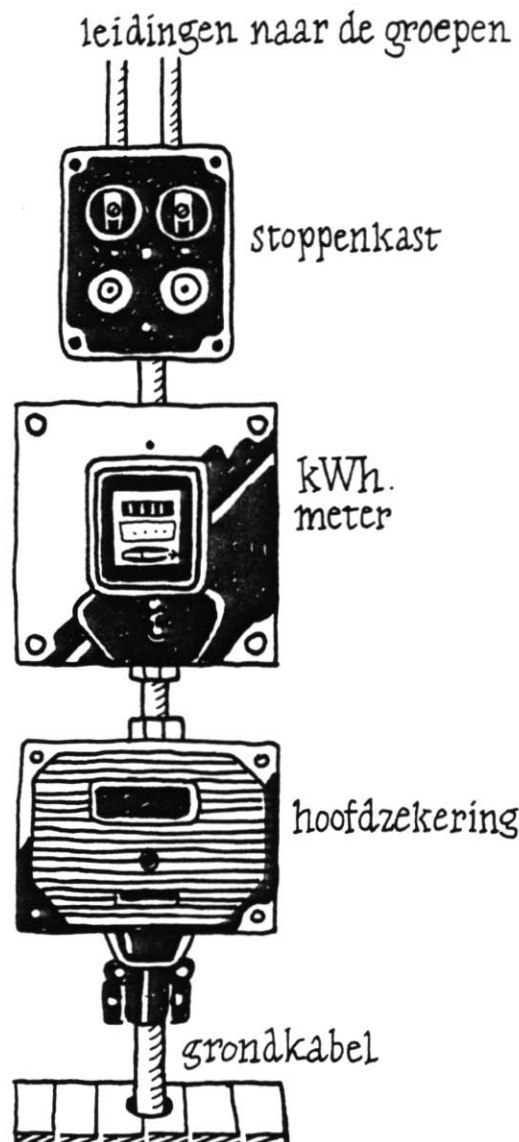
De nieuwste kennis over het atoom levert dus veel goeds op, maar kan ook op een manier gebruikt worden die voor de samenleving nare consequenties heeft. Hier noemen we de kernwapens en het probleem van het radio-actieve afval bij kernreactoren.

elektriciteit thuis

Bij de proeven in dit boek gebruik je steeds een batterij of een voedingskastje als spanningsbron. Thuis komt de elektrische energie uit het stopcontact. De electriciteit wordt opgewekt in electriciteitscentrales.

De elektrische energie komt vanuit de elektrische centrale via hoogspanningskabels (die je door het landschap ziet lopen) en tussenstations met transformatoren (die spanning verlagen tot uiteindelijk 220 Volt) je huis binnen. In de stad of in een dorp lopen de kabels meestal ondergronds. Van de centrale naar de stad meestal boven de grond. De electriciteit komt dan meestal via een ondergrondse kabel je huis of flat binnen.

Via de hoofdzekering, de kWh-meter en de stoppenkast gaat de electriciteit naar de stopcontacten. De hoofdzekering en de stoppenkast zorgen ervoor dat de stroomsterkte niet zo groot wordt dat de leidingen kunnen beschadigen of er brand uitbreekt. De meter meet hoeveel electriciteit je gebruikt en wat je dus moet betalen.

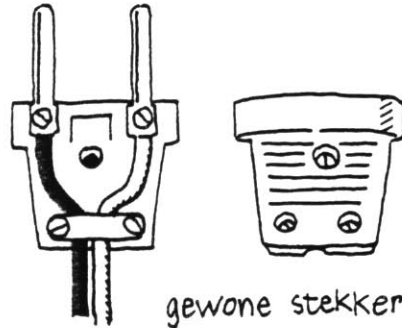
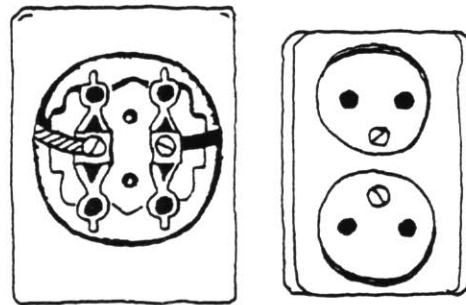


Electriciteitscentrale

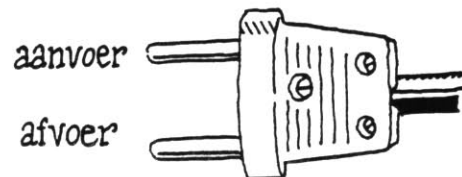
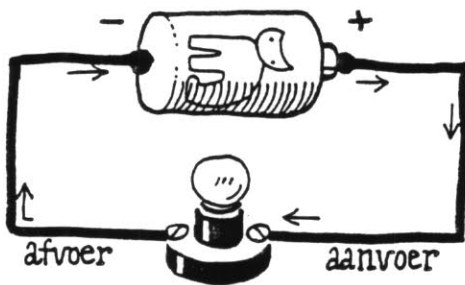
De binnen- en voorkant van een stopcontact.

Het stopcontact heeft twee aansluitingen. Eén voor de aanvoer van stroom en één voor de afvoer van de stroom. Als je de stekker in het stopcontact steekt, maken de penen in de stekker contact met de aansluitingen in het stopcontact.

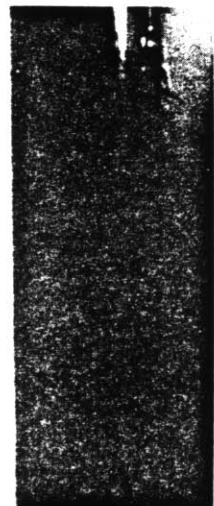
Met een schemerlamp of een electrisch apparaat ontstaat een gesloten keten. Daardoor gaat er een stroom lopen, zodat de lamp gaat branden of het apparaat gaat werken.



gewone stekker



Bij de vaste lampen in huis (bijvoorbeeld aan het plafond) sluit je de stroomkring door een schakelaar in de stand „aan” te zetten.



stroom door je lichaam

Als je een voorwerp aanraakt dat onder spanning staat voel je een schok. De grootte van de schok hangt af van de stroomsterkte, dus niet van de spanning zoals veel mensen denken. Het spierweefsel trekt samen als er een stroom door loopt. Het samentrekken van hart- of longspieren kan dodelijk zijn. Door het samentrekken van de spieren van de hand kan het slachtoffer het onder spanning staande voorwerp soms niet meer loslaten.

De tabel hieronder geeft een idee van de invloed van stromen van verschillende sterkte op het lichaam.

<i>stroomsterkte door het lichaam</i>	<i>invloed op het menselijk organisme</i>	<i>uithoudings tijd</i>
0,5 mA	voelbaar, begin schrikwerking	onbepaald
1 mA	duidelijk voelbaar	onbepaald
2 mA	begin kramp	onbepaald
5 mA	sterke kramp	onbepaald
10 mA	loslaten kost inspanning	onbepaald
15 mA	pijnlijke kramp	15 s
	loslaten onmogelijk	
20 mA	hevige pijn	5 s
30 mA	ondraaglijke pijn	1 s
40 mA	begin bewusteloosheid en levensgevaar	0,2 s

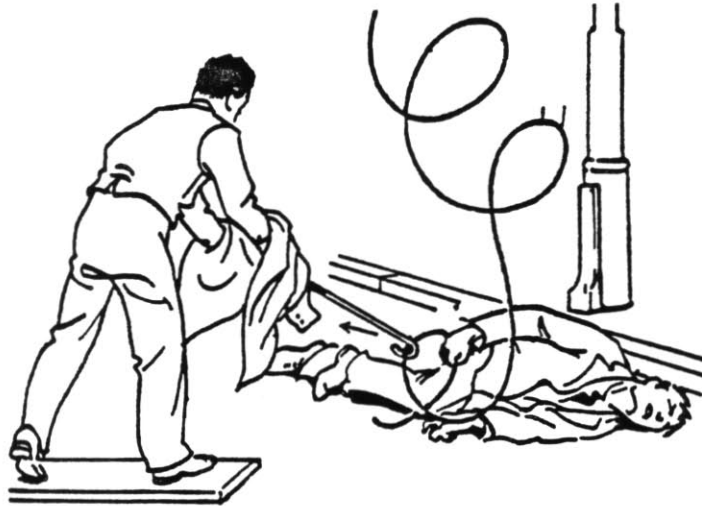


Als je een schrikdraad aanraakt, die onder spanning staat, krijg je een schok.

Om de stroomsterkte bij aanraken van onder spanning staande voorwerpen zo klein mogelijk te houden, moet de weerstand zo groot mogelijk zijn. Deze weerstand bestaat uit twee weerstanden in serie:

a. onze lichaamsweerstand, dus de elektrische weerstand van het menselijk lichaam zelf.

b. de contactweerstand. Het blijkt dat er bij overgangen tussen twee verschillende materialen soms vrij hoge weerstanden aan de contactoppervlakten optreden.



Ongeluk door het breken van een elektrische leiding

Leidsch dagblad 15-1-74

Opa knipte stroomdraad van tv door

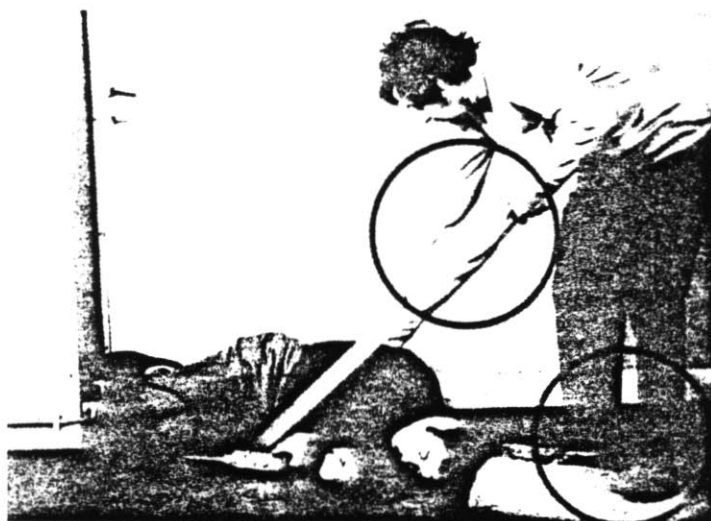
HOOGVEEN — De 72-jarige C. Munster uit Hoogeveen is gisteravond om het leven gekomen nadat hij met een nijptang de stroomdraad van zijn televisietoestel had doorgeknipt. De man was er kwaad over dat zijn bij hem inwonende kinderen de televisie hadden aanzet en wilde zo het apparaat uitschakelen. Hij liep nog naar de keuken, maar zakte

daar als gevolg van de elektrocutie in elkaar. Na enkele ogenblikken was hij overleden.

Aan het begin van de avond had hij gezegd dat hij de televisie niet aan wilde hebben. Dit gebeurde aanvankelijk ook niet. De man stapte even naar buiten en ontdekte toen dat de televisie toch aanstond. Zijn kleinkinderen keken naar Ti-Ta-Tovenaar.

In ons geval is er dus bijvoorbeeld een contactweerstand tussen het metalen voorwerp dat we aanraken en onze hand.

De lichaamsweerstand is wel min of meer constant maar de contactweerstand kan veranderen als er tussen de beide contactoppervlakken een laagje van een geleidende vloeistof aanwezig is (zoals leidingwater).



Ongeluk door het onder spanning staan van een elektrische boormachine. Binnen de cirkels zie je de maatregelen die de man rechts neemt om te voorkomen dat er stroom door zijn lichaam gaat.

volta, ampère en ohm

Onderzoekers als Volta, Ampère en Ohm hebben belangrijk werk gedaan op het gebied van de electriciteitsleer. Daarom werden belangrijke eenheden naar hen genoemd:

de volt voor spanning (blz. 15)

de ampère voor stroom (blz. 18) en

de ohm voor weerstand (blz. 32).

Hieronder vind je een korte beschrijving van de levensloop van deze natuurkundigen.



Volta (1745-1827)



Ampère (1775-1836)



Ohm (1789-1854)

Volta, Alessandro (18-02-1745 Como — 05-03-1827 Como) was een geniaal experimentator, die onze kennis van de elektrische verschijnselen een belangrijke stap heeft vooruitgebracht. Na zijn studie werd hij leraar te Como, in 1799 hoogleraar te Pavia. Napoleon benoemde hem tot senator van het koninkrijk Italië en verhef hem in de adelstand.

Ampère, André Marie (22-01-1775 Lyon — 10-06-1836 Marseille), zoon van een koopman, bracht zijn jeugd in eenzaamheid op een klein landgoed door. Zijn veelzijdig genie richtte zich achtereenvolgens op de encyclopedie van d'Alembert en Diderot, plantkunde, latijnse dichters, scheikunde, wiskunde en tenslotte, in 1820 op de electromagnetische verschijnselen. Hier toonde hij zich de meester: hij gaf duidelijk inhoud aan het begrip „stroom”, leerde het onderscheiden van „spanning” en ontdekte de kracht tussen stroomgeleiders.

Ampère had een zachtmoedige, eenzellige natuur. Vele van zijn fantastische ideeën zijn later juist gebleken. De terechtstelling van zijn vader als aristocraat, de vroege dood van zijn vrouw en religieuze twijfel hebben hem diep aangegrepen.

Ohm, Georg Simon (16-03-1789 Erlangen — 07-07-1854 München) heeft zijn belangrijkste onderzoeken verricht terwijl hij leraar was. Zijn vader, die meester-slotenmaker was, leerde op zijn oude dag wis- en natuurkunde en onderwees Simon en zijn broer Martin, die een bekend wiskundige werd, daarin. Op zijn zestiende jaar ging hij naar de universiteit. Twee jaar later werd hij leraar.

Ondanks zijn vele baanbrekende en diepgaande onderzoeken duurde het tot 1833 voor hij, als resultaat van vele verzoekschriften, een betere positie kreeg aan de polytechnische school te Neurenberg. Dit is niet het enige voorbeeld uit die tijd, dat de Duitsers de laatsten waren om hun grote wetenschappelijke landgenoten te erkennen. Pas op zijn tweeënzestigste jaar werd hij hoogleraar te München. Hij wijdde zijn leven geheel aan het onderzoek, leefde uiterst sober en bleef ongehuwd.

Thomas Alva Edison (geboren 11 februari 1847, Milan, Ohio, overleden 18 oktober 1931, Llewellyn Park, West Orange, New Jersey, beide U.S.A.) was uitvinder van beroep. Eén van zijn uitvindingen was de elektrische gloeilamp (1878).

Eén van zijn uitvindingen, want hij deed er vele; hij bemachtigde zo'n 1400 patenten. Uit dat laatste mag wel blijken dat uitvinden in die tijd zeker niet het uitwerken van „die ene geniale inval” was. Het was hard werken om tot verbetering van oude instrumenten of het creëren van nieuwe te komen. Uitvinden was een beroep met veel concurrentie. Zo vonden twee tijdgenoten van Edison, Bell en Gray, ongeveer tegelijk de telefoon uit. Edison werkte op dat moment trouwens ook aan een bruikbare telefoon.

Ook bij de gloeilamp was het niet zo dat slechts één man in de goede richting experimenteerde. Maar Edison slaagde er als eerste in een bruikbare gloeilamp te fabriceren, verwierf het patent en staat bekend als de uitvinder van de gloeilamp. Het is echter waarschijnlijk dat ook zonder Edison omstreeks 1880 de elektrische gloeilamp „ontdekt” zou zijn.

Twee andere dingen die bij Edison speelden zijn eigenlijk nog belangrijker geweest dan de uitvinding van de gloeilamp.

Ten eerste was daar de professionele aanpak van het uitvinden die Edison ten toon spreidde, een aanpak die tegenwoordig gemeengoed geworden is, maar die toen uniek was. Hij werkte niet in z'n eentje, maar had in West Orange, New Jersey, een fabriekje gesticht, waar hij met een wisselend aantal medewerkers samenwerkte. Een deel van zijn tijd besteedde hij aan het verwerven van de voor zijn onderzoeken benodigde financiën. Hij probeerde, niet zonder succes, steeds opnieuw bedrijven en individuele geldschieters te interesseren voor juist zijn (en niet andermans) onderzoek, door ze er van te overtuigen dat zijn manier van werken de meeste kans van slagen had.

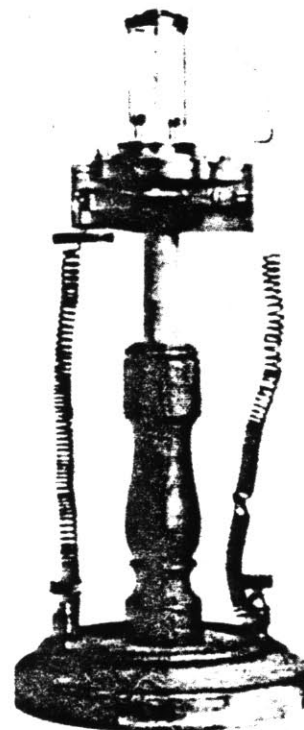
Edison wachtte met het in de openbaarheid brengen van zijn vondsten vaak net zo lang totdat hij er van overtuigd was dat de, steeds weer verbeterde, vinding echt toepasbaar, en liefst ook commercieel aantrekkelijk was.

De uitvinding van de gloeilamp is hiervan een goed voorbeeld.

Om de concurrentie niet verder op weg te helpen werden de resultaten van de onderzoeken zorgvuldig geheim gehouden.



Edison



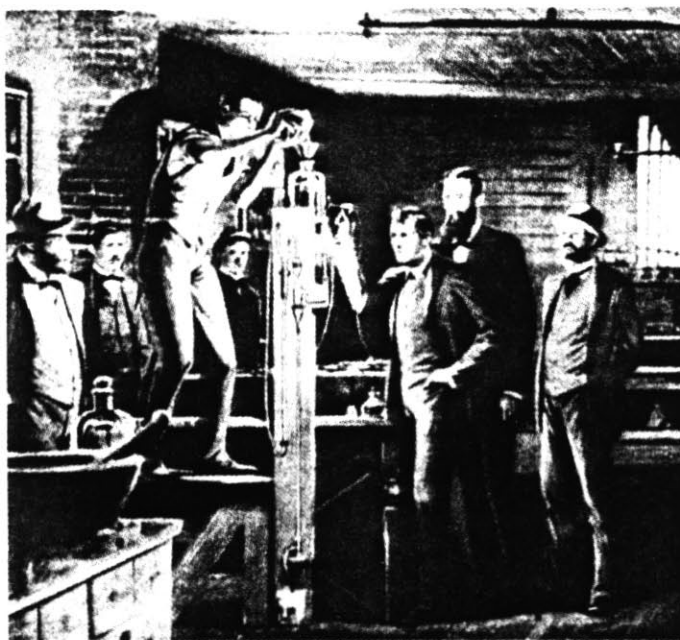
Lamp van Edison uit 1878 met platina gloeidraad.

Onder: Een microscoop-opname van een gloeidraad. De gloeispiraál is zelf nog eens in een spiraál gewonden.

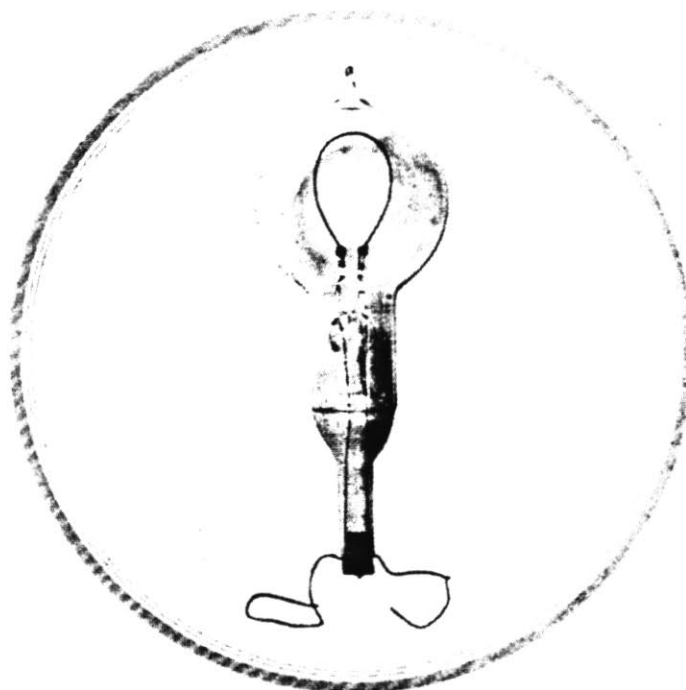


De eerste gloeilamp brandde in Edison's fabriek in 1878. Omdat reeds zeer snel de gloeidraad doorbrandde en deze bovendien van zeer kostbaar materiaal was, was de lamp zeker nog niet geschikt voor toepassing op grote schaal. ('t Doorbranden van de gloeidraad is overigens ook nu, 100 jaar later, nog altijd het zwakke punt van de gloeilamp). De lamp werd dan ook niet op de markt gebracht. Pas nadat in oktober 1879 een gloeilamp langer dan veertig uur bleef branden, werd de vinding in de openbaarheid gebracht. Op oudejaarsavond 1879 toonde Edison de gloeilamp in New York City aan het grote publiek. Een tweede belangrijk aspect van Edison's werken was zijn vooruitdenken. Terwijl de ontwikkeling van de gloeilamp nog in volle gang was, richtte Edison een electriciteitsmaatschappij op met het oogmerk een uitgebreid electriciteitsnet op te zetten. Dat zou het mogelijk maken dat iedereen gebruik ging maken van de elektrische gloeilamp. Maar ook dat electriciteit in huis voor velelei doeleinden gebruikt zou gaan worden. Nog voordat de eerste gloeilamp brandde en nog voordat de eerste electriciteitskabel gelegd werd, voorspelde Edison al dat er in de toekomst zelfs dingen als eten koken op electriciteit gedaan zouden gaan worden.

Achteraf is het op grote schaal gaan gebruiken van electriciteit waarschijnlijk het gevolg van de uitvinding van de gloeilamp geweest. Nadat Edison's vin-

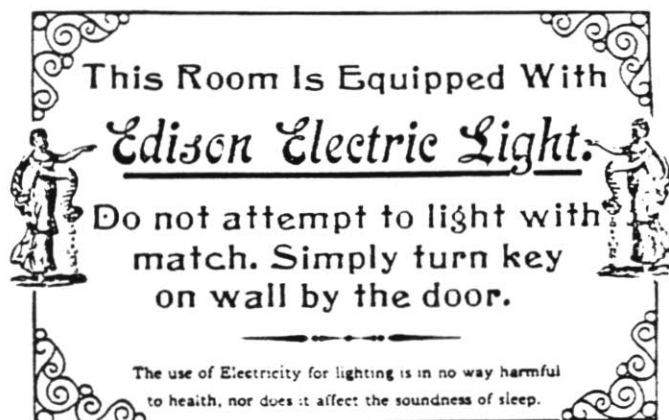


Experiment met een gloeilamp in de fabriek van Edison in 1879. De lamp bleef 40 uur branden.



Lamp van Edison uit 1879.

ding op grote schaal toepassing vond en woonhuizen in grote getale van electriciteit werden voorzien, is er een ware stortgolf van elektrische apparatuur op gang gekomen. In het laatste thema voor de derde klas kun je bij het onderzoek „Hoe ziet de wereld er zonder electriciteit uit?” nagaan voor hoeveel zaken we nu al electriciteit gebruiken.



Mededeling in hotelkamers uit 1893:

Deze kamer is voorzien van Edison Electrisch Licht. Het licht niet aansteken met een lucifer, maar gewoon de knop omdraaien in de muur bij de deur. Het gebruik van elektrische verlichting is volstrekt onschadelijk voor de gezondheid en heeft geen invloed op de slaap.

Thomas Alva Edison in zijn laboratorium te West Orange. Edison was degene die het meest aan de weg timmerde met zijn lamp. Het succes van de gloeilamp is dan ook voor een groot deel aan hem te danken.



gloeilampen en de wet van ohm

In proef 16 op blz. 31 heb je gemeten hoe de stroom door een weerstandsdraad veranderde als je de spanning over de draad veranderde.

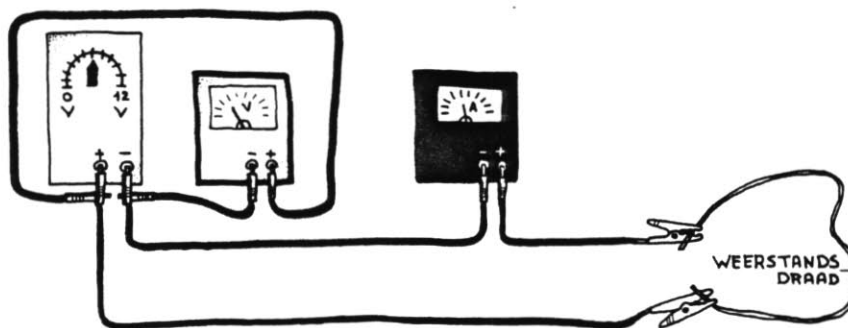
De verhouding $\frac{\text{spanning}}{\text{stroom}}$ bleek constant te zijn.

Waarom gebruiken we hier een weerstandsdraad en niet gewoon een lampje?

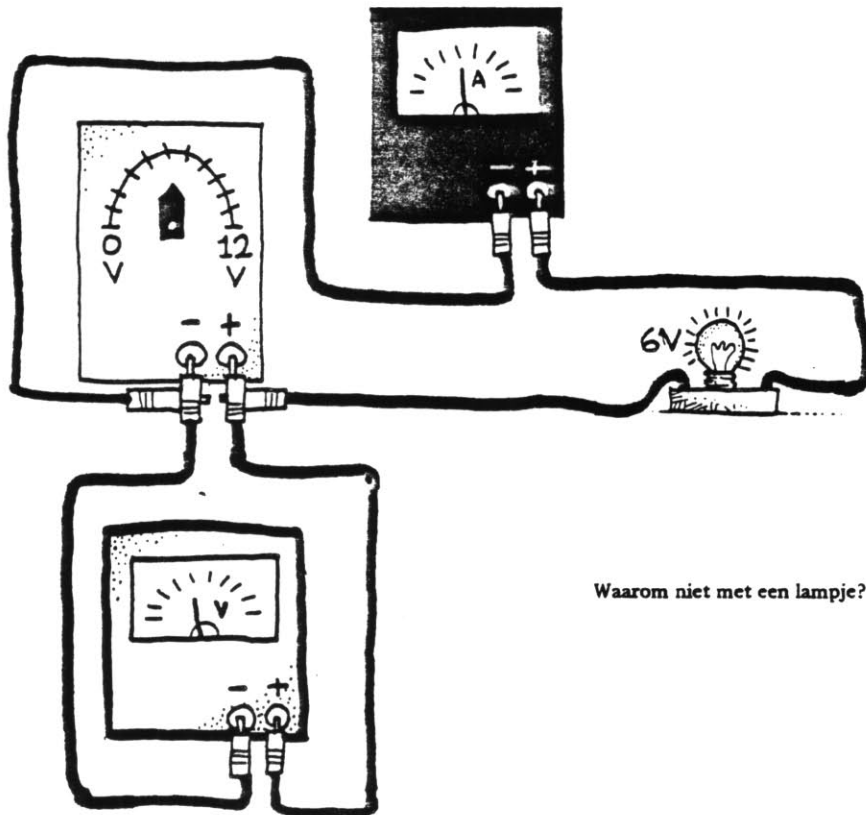
De tabel geeft de resultaten van de proef, uitgevoerd met een lampje. De verhouding spanning/stroom is niet constant. Je kunt dat begrijpen als je „Weerstand en temperatuur” (blz. 34) hebt gelezen. Daar blijkt dat de weerstand van een draad groter is als de temperatuur hoger is. Bij hogere temperatuur is dus ook de verhouding $\frac{\text{spanning}}{\text{stroom}}$ groter.

Het gloeilampje brandde het felst bij 6 V; de temperatuur van de gloeidraad was het hoogst bij 6 V. De weerstand van de gloeidraad moet dus bij 6 V het grootst zijn. Uit de tabel blijkt dat dit klopt. Bij lagere spanningen gloeit het minder fel, is de temperatuur dus lager en de weerstand kleiner.

SPANNING (V)	STROOM (A)	$\frac{\text{SPANNING}}{\text{STROOM}}$ (Ω)
1	0,194	5,15
2	0,253	7,90
3	0,300	10,00
4	0,35	11,45
5	0,40	12,50
6	0,45	13,33



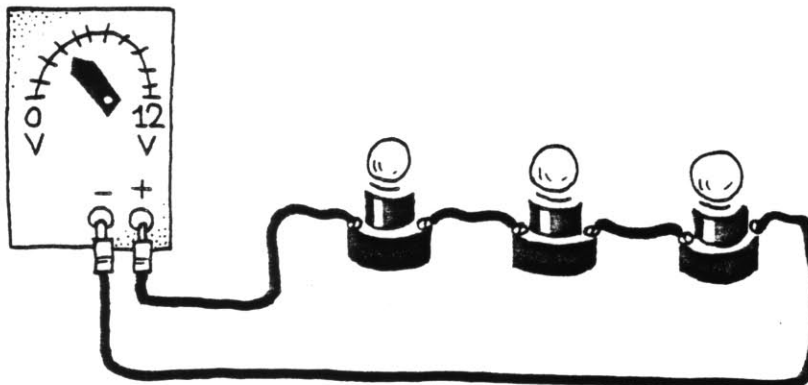
Waarom met een weerstandsdraad?



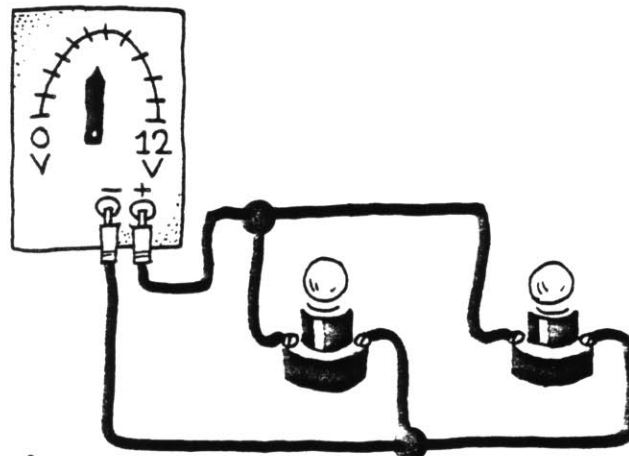
Waarom niet met een lampje?

De opstelling met een lampje is dus niet geschikt om de Wet van Ohm af te leiden. De opstelling met een weerstandsdraad is wel geschikt als de temperatuur van de draad tenminste constant blijft.

Geldt het bovenstaande ook voor proef 20 en 21 (blz. 36 en 37) of mogen we daar de weerstandsdraden wel door lampjes vervangen?



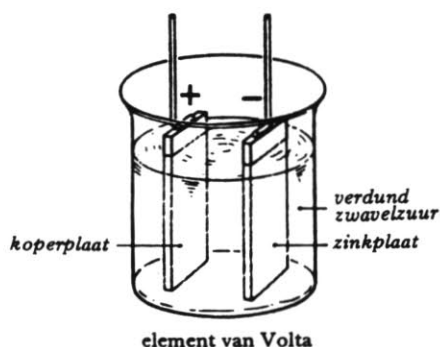
Kan proef 20 op blz. 36 ook zo?



Kan proef 23 op blz. 38 ook zo?

batterij en accu

Spanningsbronnen waarin net als in batterijen en accu's scheikundige veranderingen optreden, zijn reeds lang bekend. De eerste ontdekkingen op dit gebied werden in de 18e eeuw gedaan, onder andere door de Italiaan Galvani (1737-1798). Volta (1745-1827), eveneens een Italiaan, vervaardigde een spanningsbron die bekend staat als het element van Volta.

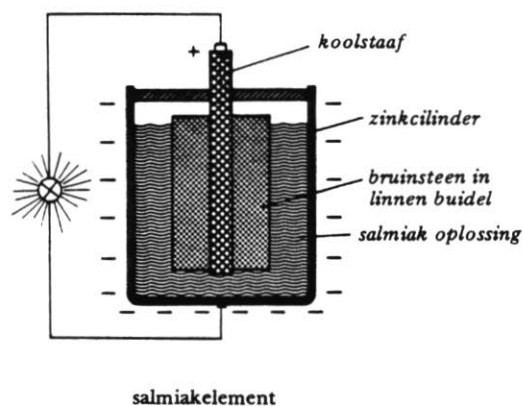


Er vindt tussen de platen en het zuur een chemische reactie plaats. Deze zorgt ervoor dat er tussen het koper en het zink een spanningsverschil ontstaat. Als er stroom loopt slaat op de koperplaat zink neer, bij de zinkplaat ontstaat waterstof H_2 .

In de praktijk worden de elementen van Volta niet gebruikt. Het bezwaar is onder andere dat er bij stroomlevering waterstof ontstaat, waardoor het spanningsverschil sterk vermindert.

Hoe werkt een batterij?

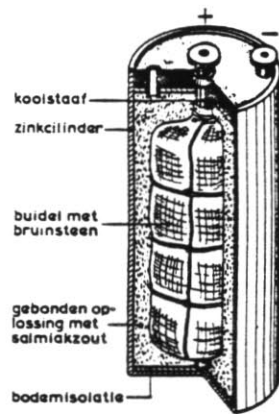
Als je een stuk zink in zoutzuur zet ontstaat een scheikundige werking, waarbij het zink langzaam maar zeker oplost. Het nog niet opgeloste zink krijgt nu teveel elektronen ten opzichte van de koolstof. Maken we nu een verbinding tussen de zinkplaat en de koolstaaf, dan gaan de elektronen van te veel naar te weinig, dus van het zink naar de koolstof. Het zink noemen we de negatieve (-) pool. Een element is uitgeput (leeg) als het zink is opgelost.



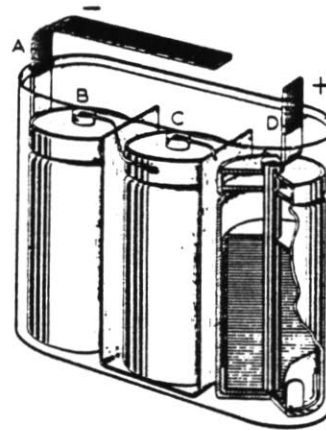
Om nu te voorkomen dat er steeds gasbelletjes op de koolstaaf gaan zitten is de koolstof verpakt in een linnen zakje met bruinsteen. Het bruinsteen heeft de eigenschap om het ontstaan van gasbelletjes tegen te houden.

De zure vloeistof (zoutzuur) heeft men vervangen door een papje om lekken te voorkomen.

Vaak voegt men verscheidene elementen samen tot één geheel. Men spreekt dan van een batterij. Halen we een platte batterij uit elkaar, dan blijkt dat er drie elementen in zitten. De koolstaaf van het eerste element is verbonden met het zinken busje van het tweede element, enz. De elementen zijn dus in serie geschakeld. Meten we het spanningsverschil tussen A en B, dan is dat $1\frac{1}{2}$ V. Tussen B en C ook, en tussen A en C $2 \times 1\frac{1}{2} = 3$ V. Bij serieschakeling neemt dus het spanningsverschil toe, evenredig met het aantal elementen in de batterij.



droog element



platte batterij van drie elementen

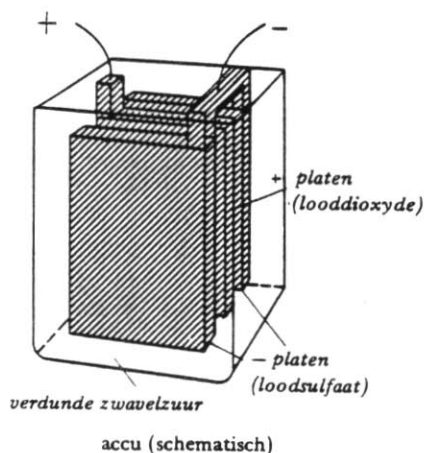
De lange koperstrip is de negatieve en de korte strip de positieve pool van de batterij.

Hoe werkt een accu?

Als je in een bakje met verdund zwavelzuur twee loodplaten plaatst, bestaat er tussen de gelijke platen geen spanningsverschil. Dat verandert als je de platen op een spanningsbron van bijvoorbeeld 4 V aansluit.



technische uitvoering van een accu (auto-accu)



accu (schematisch)

Tijdens het opladen vindt er een chemische reactie plaats tussen de oplossing en de loodplaten.

Daardoor wordt energie opgeslagen. Op één van de twee loodplaten wordt daarbij looddioxyde neergeslagen (GIFTSIG!)

Bij het laten branden van het lampje verdwijnt het weer.

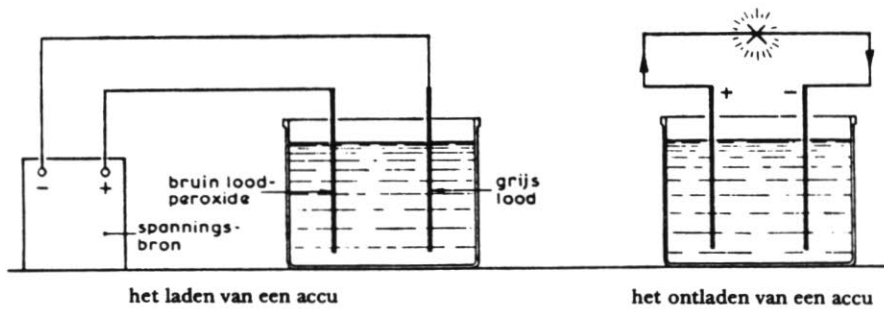
Na enige ogenblikken krijgt de positieve plaat (dat is de plaat die op de + pool van de spanningsbron is aangesloten) een bruine kleur; aan beide platen stijgen gasbelletjes op.

De platen zijn nu niet meer gelijk aan elkaar. Tussen beide platen blijkt een spanningsverschil van ongeveer 2 V te bestaan.

We hebben zo een accu gekregen. De accu is geladen door er een stroom doorheen te sturen. Daardoor werden de oorspronkelijke gelijke platen verschillend. Er is elektrische energie omgezet in chemische energie.

Sluiten we op de platen een lampje aan, dan brandt dit helder, maar na enige tijd neemt de lichtsterkte af. De accu raakt ontladen, het spanningsverschil tussen de platen vermindert.

We kunnen de accu weer opnieuw laden door er in tegengestelde richting een stroom doorheen te sturen. Het voordeel van een accu is dat men hem vele malen opnieuw kan opladen. Daarbij veroorzaakt de stroom die er doorheen gaat, een chemische verandering van de platen (zie fig. hieronder, links). De sterkte van het zuur neemt toe. Het ontladen van de accu ontstaat doordat het spanningsverschil tussen de platen een stroom veroorzaakt (zie fig. hieronder, rechts). Daarbij verschijnt er op beide platen loodsulfaat. De sterkte van het zuur neemt af.



Gegevens van vaste stoffen, vloeistoffen en gassen

aggregatietoest. ($T = 293\text{ K}$)		dichtheid ($T = 293\text{ K}$) 10^3 kg m^{-3}	lineaire uitzettingscoëfficiënt 10^{-5} K^{-1}	kubieke uitzettingscoëfficiënt K^{-1}	soortelijke warmte (smelttemperatuur) $10^3\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$	smeltpunt K	smeltwarmte 10^3 J kg^{-1}	verdampingswarmte bij kookpunt 10^3 J kg^{-1}	dichtheid t.o.v. waterstof ($T = 293\text{ K}$)	soortelijke weerstand ($T = 293\text{ K}$) $10^{-9}\Omega\text{ m}$	zamenstelling massa - %
aardgas (Gron.)	g	$0,83 \cdot 10^{-3}$		$1/273$							
aceton	l	0,79		$1,5 \cdot 10^{-3}$	2,2	178	0,92	329	5,2		
alkohol (ethanol)	l	0,80		$1,1 \cdot 10^{-3}$	2,4	159	1,1	351	8,4		
aluminium	s	2,7	2,4		0,88	932	4,0			2,7	
ammoniak	g	$0,77 \cdot 10^{-3}$		$1/273$		195		240	13,7	8,5	
argon	g	$1,8 \cdot 10^{-3}$		$1/273$						20	
benzeen	l	0,88		$1,2 \cdot 10^{-3}$	1,7	279	1,3	353	3,9		
benzine	l	0,72									
bismut	s	9,8	1,3		0,12	545	0,54			119	
brons	s	8,9	1,9		0,38	1280					90 Cu, 10 Sn
cadmium	s	8,6	3,1		0,23	594	0,57			7,5	
calcium	s	1,6	2,2		0,65	1123	3,3			4,3	
chloor	g	$3,21 \cdot 10^{-3}$		$1/273$		172		239	2,9	35,5	
chrom	s	7,1	0,7		0,45	2176	2,8			13	
constantan	s	8,9	1,5		0,41	1540				45	54 Cu, 45 Ni, 1 Mn
diamant	s	3,5	0,13		0,49	3900	170			10^{21}	
eboniet	s	1,2	8,5		1,7					10^{16}	
ether	l	0,71		$1,7 \cdot 10^{-3}$	2,3	157	1,2	308	3,8		
fosfor (wit)	s	1,8	12		0,79	317	0,22			10^{25}	
glas gewoon	s	2,6	0,80		0,84					10^{20}	
glas flint	s	3,6	0,80		0,50						
glycerol	l	1,3		$0,5 \cdot 10^{-3}$	2,4	292	1,8	563			
goud	s	19,3	1,4		0,13	1336	0,66			2,2	
grafiet	s	2,3	0,20		0,69	3820	170			10^5	
graniet	s	2,7	0,70		0,82						
helium	g	$0,18 \cdot 10^{-3}$		$1/273$		1,0 ³		4,3	0,21	2,0	
hout balsa-	s	0,15									
ebbe-	s	1,3	0,4								

aggregatietoestand (T = 293 K)	dichtheid (T = 293 K)	lineaire uitzettingscoëfficiënt	kubieke uitzettingscoëfficiënt	soortelijke warmte (smeltemperatuur)	smeltpunt	smeltwarmte	dichtheid v.d.v. waterstof bij kookpunt (p = p ₀)	verdampingswarmte bij kookpunt	soortelijke weerstand (T = 293 K)	zamenstelling
	10 ³ kg m ⁻³	10 ⁻³ K ⁻¹	K ⁻¹	10 ³ J kg ⁻¹ K ⁻¹	K	10 ³ J kg ⁻¹	K	10 ³ J kg ⁻¹	10 ⁻⁴ Ω m	massa - %
hout eike-vure-	s 0,78	0,4								
invar	s 0,58	0,5		0,50	1720					
keukenzout	s 2,2	0,2		0,88	1081					64 Fe, 36 Ni
kobalt	s 8,7	1,4		0,42	1768	2,6				
koolstofdioxide	g 2,0 · 10 ⁻³ ⁴⁾		^{1/273}						22	6,5
koper	s 8,9	1,7		0,39	1356	2,1				1,7
kurk	s 0,20									
kwarts	s 2,5	0,040		0,75	1880					10 ²⁸
kwik	l 13,5 ¹⁾		0,18 · 10 ⁻³	0,14	234	0,12	630	3,0		96
lood	s 11,3	2,9		0,13	601	0,25				21
lucht	g 1,3 · 10 ⁻³ ⁴⁾		^{1/273}						14	
magnesium	s 1,7	2,7		1,0	923	3,7				4,6
manganen	s 8,5	1,6		0,41	1270					43
marmer	s 2,7	1,2		0,88						10 ¹⁷
messing	s 8,5	2,1		0,38	1170					6,0
natrium	s 0,97	7,1		1,3	371	1,2				4,7
nichroom	s 8,2	1,3								110
nieuwzilver	s 8,9	1,8		0,40						33
nikkel	s 8,8	1,3		0,46	1728	3,0				7,8
olijfolie	l 0,92		0,72 · 10 ⁻³	1,7						
paraffine	s 0,89	11		2,9	325					10 ²³
petroleum	l 0,79			2,1						
platina	s 21,4	0,90		0,13	2043	1,1				11
plexiglas (perspex)	s 1,2	8,0		1,5						> 10 ²⁷
polyetheen	s 0,93	18		2,2						
polyvinylchloride (pvc)	s 1,3	2,4		1,0						10 ²²
porselein	s 2,4	0,35		0,80	1900					10 ²⁰
rubber	s 1,2	20		1,6						10 ²¹
staal (roestvrij)	s 7,8	1,0		4,6	1780					
steen bakstikstof	s 1,8	0,6					77		14	85 Fe, 13 Cr, 0,2 C
	g 1,3 · 10 ⁻³ ⁴⁾		^{1/273}							
tetra	l 1,6			0,84	250	0,17	350	1,9		
tin	s 7,3	2,2		0,23	505	0,59				11,5
water	l 1,00		0,21 · 10 ⁻³ ³⁾	4,2	273	3,3	373	23		
waterstof	g 0,090 · 10 ⁻³ ⁴⁾		^{1/273}				20		1	
wolfram	s 19,3	0,45		0,13	3650	1,9				5,5
ijs	s 0,92 ²⁾	5,0 ²⁾		2,2	273	3,3				
ijzer	s 7,9	1,2		0,46	1812	2,7				11
zand	s 1,6			0,80						
zilver	s 10,5	1,9		0,24	1234	1,1				1,6
zink	s 6,9	3,0		0,39	693	1,1				6,2
zuurstof	g 1,4 · 10 ⁻³ ⁴⁾		^{1/273}				90		16	
zwavel	s 2,0	8,0		0,74	392	0,46				10 ²¹
zwaveldioxide	g 2,9 · 10 ⁻³ ⁴⁾		^{1/273}				263		32	
zwavelzuur	l 1,8		0,56 · 10 ⁻³	1,4	284		603	5,1		

¹⁾ bij T = 273 K : 13,6

²⁾ bij T = 269 K

³⁾ bij T = 293 K

⁴⁾ p = p₀

⁵⁾ p = 2,5 · 10⁶ Pa

s = vast (solid)

l = vloeibaar (liquid)

g = gasvormig (gaseous)