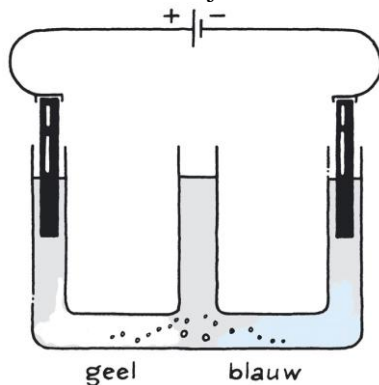


### Elektronen

Je weet dat er twee soorten ladingen zijn: positief (+) en negatief (-). Dat die in een vloeistof beide echt stromen, kun je zien aan dit experiment.



Vul een W-buis met een verzadigde oplossing van kaliumnitraat in water plus een scheut geconcentreerd ammonia. Laat er vervolgens een kristal kopersulfaat en een kristal kaliumbichromaat in vallen. Sluit de elektroden aan op 30 V gelijkspanning. Na een kwartier zie je links een gele en rechts een blauwe vlek opstijgen. De gele vlek bestaat uit negatieve chromaationen en de blauwe uit positieve koperionen.

Wat er in een metaaldraad stroomt en welke kant uit, kunnen we op zo'n manier niet aantonen. Omstreeks 1800 heeft men een vrij willekeurige afspraak gemaakt, namelijk: elektrische stroom bestaat uit positieve deeltjes die van + naar - stromen. Jammer genoeg bleek een kleine eeuw later dat in een metaaldraad de positieve deeltjes vastzitten en dat het juist de negatieve deeltjes zijn die bewegen. Thomson ontdekte namelijk in 1897 het elektron. Dat is het kleinste negatieve deeltje. In metaaldraden zorgen alleen de elektronen voor het transport van lading. Omdat elektronen die rechtsom lopen hetzelfde effect hebben als positieve deeltjes linksom, heeft men de afspraak maar zo gelaten.

Er doen zoveel elektronen mee aan de stroomgeleiding dat hun snelheid zéér klein is (ze kruipen ongeveer met 0,1 mm/s).

Later vond Millikan dat er  $6,25 \cdot 10^{18}$  elektronen in één coulomb gaan, de lading van het elektron is dus  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

### Stroom en spanning

Iedereen die met elektriciteit begint, vraagt zich af wat nou het verschil is tussen stroom, spanning, volt en ampère.

Aan het eind van een klassikale les – zeker aan het einde van de dag – heerst er in de klas een *spanning*: iedereen (zelfs de leraar) voelt dat hij weg wil.

Als de bel gegaan is (de schakelaar omgezet is), ontstaat er op de gangen een stroom. Hoe breder die gangen zijn (hoe minder weerstand ze hebben) hoe sneller de mensen naar de uitgang stromen.

Tussen binnen en buiten heb je dus de spanning die voor een stroom (mensen) zorgt, terwijl de gang weerstand biedt.

Al vóór je het licht aandoet, staat er spanning op de draden: de elektronen 'voelen' de drang zich te verplaatsen. Als de schakelaar overgehaald is, ontstaat er een *stroom*. Hoe dikker de draden (hoe minder *weerstand* ze hebben) hoe groter de stroomsterkte.

Bij *spanning* gebruiken we het woordje *over*: de spanning over de accu, over het lampje, over de meter.

Spanning meet je in volt.

Bij *stroom* hoort het woordje *door*: een stroom bestaat uit voorwerpen zoals mensen, auto's, water, elektronen die door een gang, door een tunnel, door een rivier of door een draad stromen. Stroomsterkte meet je in ampère.

### De eerste spanningsbronnen

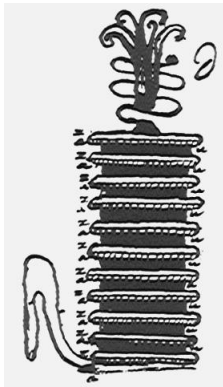
Vóór 1800 kon men geen blijvende stromen opwekken, wel vonken met behulp van soms enorme apparaten. Daarna werden een paar manieren ontdekt om stromen in stand te houden, maar toch duurde het nog lang voor elektriciteit op grote schaal met dynamo's in centrales werd opgewekt. Dat kwam doordat de stoommachine verbeterd was en men niet zo'n behoefte had aan nieuwe energiebronnen. De gloeilamp werd pas na 1880 populair. Nu zijn we enorm afhankelijk van elektriciteit, vooral omdat die energiesoort zo makkelijk te transporteren is.

### Batterijen

Toen Galvani een kikkerpoot zag samentrekken als die tegelijk met koper en ijzer in aanraking kwam, dacht hij met 'dierlijke elektriciteit' te doen te hebben. Ondanks veel proeven kwam hij niet veel verder. Wel spreken we nog steeds van galvaniseren als we een metalen voorwerp met behulp van elektrische stroom van een laagje ander metaal voorzien.

Zijn landgenoot Volta zag in dat het verschillend zijn van de metalen belangrijk was en dat de kikkerpoot vervangen kon worden door een geleidende vloeistof. Als je met een geplombeerde kies op een stukje 'zilverpapier' kauwt, dan reageer je net als de kikkerpoot. Samen met het speeksel in je mond vormen de twee metalen een spanningsbron. De koperen schroef en het stalen roerblad van een schip vormen samen met het water ook een 'galvanisch element'. Om te voorkomen dat het schip langzaam oplost tijdens de stroomdoorgang, plaatst men blokken zink in de buurt van de schroef als 'opofferingsmateriaal'.

In 1800 bouwde Volta een zuil van plaatjes zink en koper, telkens gescheiden door in zout gedrenkt karton. Dit was de eerste batterij. Zo'n 'element van Volta' helpt zichzelf om zeep doordat de stroomdoorgang een chemische reactie op gang brengt die de batterij uitput. Na enige tijd in gebruik te zijn geweest, stopt de werking dan ook.



Wat wij gewoonlijk een batterij noemen, heet eigenlijk een cel. Batterij is een woord uit de artillerie, het betekent: meer dan één (kanon). Oplaadbare cellen als Li-Ion en NiMH worden gebruikt in notebooks en mobieltjes. In NiMH bestaat de minpool uit nikkelhydroxide en de pluspool bevat een laag die waterstof absorbeert. De tussenstof is kaliumhydroxide. Ook auto-accu's en knoopcelbatterijen zijn verbeterde versies van het element van Volta.

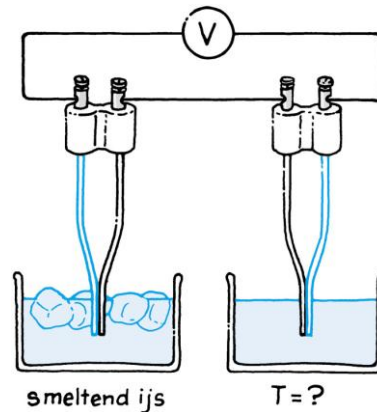
### Thermo-elektriciteit

In 1826 gebruikte Ohm de kort tevoren door Seebeck ontdekte thermospanning voor zijn proeven.

Als twee metalen of legeringen met elkaar in contact staan, neemt het edelste metaal elektronen op van het andere. Daardoor ontstaat een spanning. Dit effect is sterker bij hogere temperatuur, daarom spreken we van thermospanning.

Een thermokoppel bestaat uit twee van die contactplaatsen die op verschillende temperaturen worden gehouden. Zo'n opstelling is te gebruiken als energiebron. Ohm gebruikte een combinatie van bismuth en koper.

In ruimtevaartuigen worden thermokoppels toegepast waarbij de warmte wordt geleverd door het radioactieve plutonium. Deze toepassing is riskant omdat plutonium behalve radioactief ook zeer giftig is. Bij ongelukken met ruimtevaartuigen is al vaak plutonium in de dampkring terechtgekomen.



Thermokoppels zijn ook goed als thermometers te gebruiken. Eén contact wordt dan in smeltend ijs gehouden en het andere bij de onbekende temperatuur. In *Binas* staan ijktabellen voor een paar combinaties van metalen.

**Elektriciteit en ons lichaam**

De schadelijkheid van een wisselstroom hangt van de sterkte en de tijdsduur af. In de grafiek zijn vier gebieden te onderscheiden.

- 1 Hier voel je de stroom niet, ook niet als het lang duurt.
- 2 In de regel is er geen gevaar: je voelt een kriebeling bij kleine stroomsterkte tot pijnlijke kramp bij grotere stroomsterkte.
- 3 In dit gebied trekken je spieren zó krampachtig samen dat je niet meer los kunt laten.
- 4 Het hart 'fibrilleert' — het trekt ongecoördineerd samen. De hersenen krijgen geen zuurstof meer waardoor de ademhaling stopt.

Controleer in de grafiek: 200 mA gedurende 20 ms is meestal niet fataal, maar 100 mA gedurende 2 s wel degelijk.

Als je in contact komt met elektrische geleiders spelen drie serieweerstanden een rol: de twee 'overgangsweerstanden' bij de contactplaatsen en de weerstand binnen in je lichaam. Die laatste heeft een waarde van ongeveer  $1000 \Omega$  (tussen één hand en twee voeten). De overgangsweerstanden hangen af van de dikte en de vochtigheid van je huid en van de grootte van het contactoppervlak. Hoe groter en hoe vochtiger dat oppervlak is, des te kleiner is de overgangsweerstand.

Stel dat je een apparaat vastpakt dat onder spanning staat (100 V). De weerstand van  $1 \text{ cm}^2$  huid van je hand is  $100 \text{ k}\Omega$  en het contactoppervlak is  $50 \text{ cm}^2$ . De weerstand van een voet stellen we op  $20 \text{ k}\Omega$  en de weerstand in het lichaam is  $1 \text{ k}\Omega$ . De totale weerstand is dan

$$R = \frac{100}{50} + 1 + \frac{20}{2} = 13 \text{ k}\Omega$$

(je moet door  $A$  delen want  $A$  staat in de noemer bij  $R = \rho \frac{\ell}{A}$ ).

Bij  $13 \text{ k}\Omega$  en  $100 \text{ V}$  hoort  $I = 8 \text{ mA}$ . Je schrikt en het doet pijn, maar er is verder geen probleem. Sta je op blote voeten in de badkamer, dan wordt de totale weerstand slechts  $3 \text{ k}\Omega$ . In dat geval loopt er  $33 \text{ mA}$ . Als dat langer dan  $0,4 \text{ s}$  duurt, kun je niet meer loslaten. Bovendien verbrandt de huid direct en wordt de stroomsterkte nog groter.

Helaas heeft men te laat ontdekt dat  $50 \text{ Hz}$  de slechtste frequentie is die je voor wisselspanning kunt kiezen. Zowel bij hogere als lagere frequenties ligt de stroomsterkte waarbij je nog los kunt laten hoger dan  $15 \text{ mA}$ . Zelfs de  $60 \text{ Hz}$  uit de VS is al veiliger. Overschakelen op andere frequenties is nu echter onbetaalbaar

