

Opmerking:

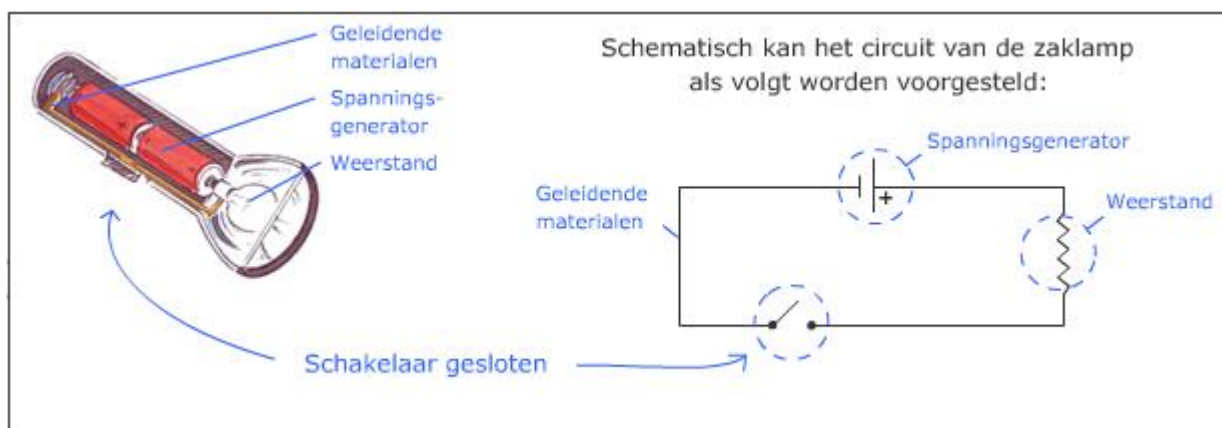
Alle informatie op deze pagina's is beschikbaar als Flash-animatie op het volgende adres:
<http://www.bbemg.be/nl/startpagina-emv/elektriciteit-velden/elektriciteitsbegrippen.html>

Inleiding

Elke dag gebruiken wij heel wat energievormen: olie, wind, water en de zon zijn energievectoren, net als de energie van ons eigen lichaam of het lichaam van dieren. Dankzij deze energie kunnen wij een werk uitvoeren (bijvoorbeeld een beweging, licht of warmte).

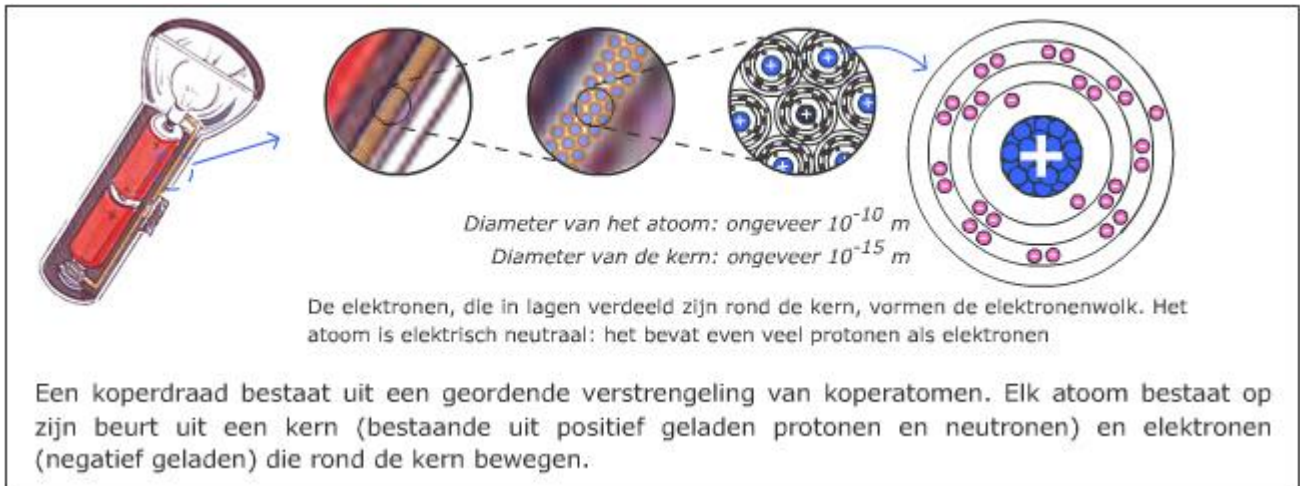
Een van deze energievormen gebruikt de energie van de elektronen: dat is elektriciteit. Die kan worden geproduceerd, vervoerd en gebruikt dankzij de eigenschappen van het elektromagnetisme. Elektriciteit en elektromagnetisme zijn nauw met elkaar verbonden. In deze animatie kunt u (opnieuw) kennismaken met de elektriciteitsbegrippen die u moet kennen voordat we verder ingaan op het elektromagnetisme en zijn elektrische en magnetische velden.

We zullen deze begrippen illustreren aan de hand van een eerste zeer eenvoudig elektrisch circuit: dat van een zaklamp.

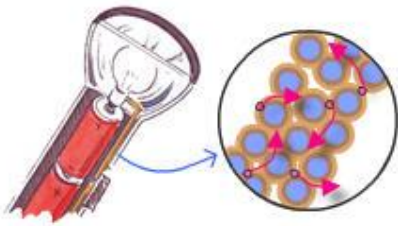


Elektrische stroom

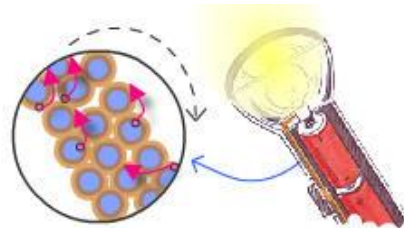
Om goed te begrijpen waar elektrische stroom vandaan komt, gaan we binnenin de koperdraden kijken die het circuit van de zaklamp vormen. Beeld u in dat u met een superloop naar iets kijkt wat oneindig klein is.



Als de lamp gedoofd is doen er zich ongeordende bewegingen voor in de koperlamellen.



Brandt de lamp dan zijn de bewegingen gecoördineerd. Het zijn deze bewegingen die de elektrische stroom genereren.



De bewegende deeltjes zijn de elektronen.

Elk elektron heeft een elektrische lading. De stroomsterkte in een deel van het circuit stemt overeen met de hoeveelheid elektrische ladingen die in één seconde door deze oppervlakte gaan.

$$\text{Stroomsterkte (in ampère, A)} \leftarrow I = \frac{q}{t} \begin{array}{l} \rightarrow \text{Elektrische lading (in coulomb, C)} \\ \rightarrow \text{Tijd (in seconde, s)} \end{array}$$

De elektrische lading van een elektron is gelijk aan $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Op basis van deze formule kan men zeggen dat een stroom van 1 A gelijk is aan de doorvoer van $6,25 \times 10^{18}$ elektronen per seconde:

De elektrische lading q is gelijk aan $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ vermenigvuldigd met het aantal elektronen n .

Dus, $I = \frac{1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \times n}{t}$

Na omzetting van de formule bekomt men $n = \frac{I \times t}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}}$

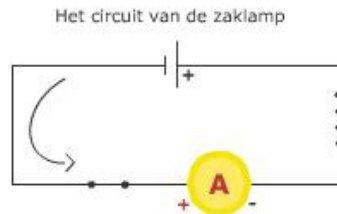
Als $I = 1 \text{ A}$ en $t = 1 \text{ sec}$, dan is $n = 6,25 \times 10^{18}$ elektronen

De stroomsterkte wordt gemeten met een ampèremeter. Er bestaan verschillende modellen. Hierna volgt het algemene principe:



Hoe meten we een stroom met behulp van een ampèremeter?

- De ampèremeter wordt parallel geschakeld in het circuit
- Men moet rekening houden met de richting van de stroom
- De ampèremeter kan om het even waar in het circuit worden geplaatst
- In onze zaklamp bedraagt de stroomsterkte 700 mA



De stroomsterkte bedraagt:

- enkele honderden milliampères (mA) in een zaklamp,
- enkele ampères (A) in een huishoudelijk apparaat,
- enkele honderden ampères in een hoogspanningslijn.

Opmerking:

De stroomsterkte speelt een belangrijke rol in de ernst van een elektrocutie, maar ook andere factoren moeten in aanmerking worden genomen. Het elektrocutierisico hangt af van de spanning van de getroffen bron en de weerstand van ons lichaam tegen de stroom die door het lichaam gaat.

In de zaklamp die werkt op 2 batterijen van 1,5 V bedraagt deze spanning 3 V. Omdat onze huid een hoge elektrische weerstand heeft, zijn de stromen bijzonder zwak.

Nog andere factoren spelen een rol in de ernst van een elektrocutie, zoals bijvoorbeeld de frequentie van de spanning. In de volgende animaties zullen we uitvoeriger ingaan op de verschillende begrippen.

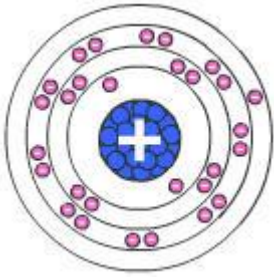
Geleidende en isolerende materialen

In onze zaklamp circuleert de elektrische stroom in koperdraden: koper is een materiaal dat de elektriciteit geleidt. Omdat er geen elektrocutiegevaar is, zijn de draden niet bedekt met een beschermend isolerend materiaal (bijvoorbeeld PVC) zoals wel het geval is voor alle elektrische kabels die zijn aangesloten op het net.

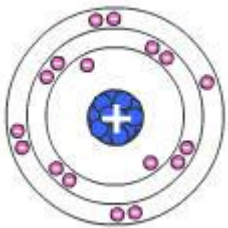
Laten we eens kijken waar dat verschil tussen geleidende en isolerende materialen eigenlijk vandaan komt.

De chemische, fysische en elektrische eigenschappen van een atoom of een molecule zijn verbonden aan het aantal elektronen en aan hun verdeling over verschillende lagen.

De elektronen van de buitenste laag, de valentia laag genoemd, dragen bij tot de bindingen tussen de atomen. Deze laag bevat maximaal 8 elektronen. Aan de hand van het aantal elektronen in de valentia laag kan een onderscheid worden gemaakt tussen een geleidend en een isolerend materiaal.



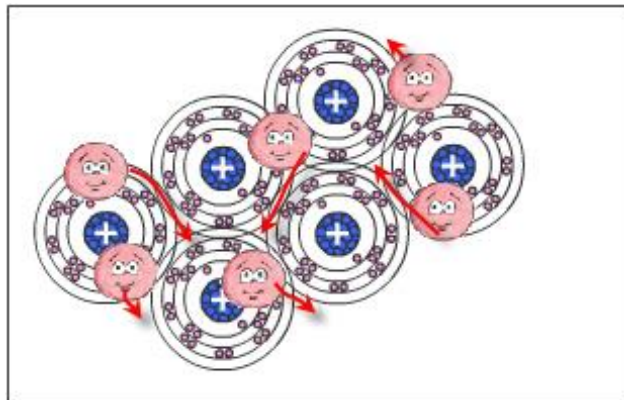
Als er minder dan 4 elektronen aanwezig zijn in de valentielaag (in het voorbeeld hiernaast is er maar één elektron), zijn ze vrij om zich te verplaatsen tussen de atomen en dragen ze bij tot de geleiding van de stroom. Het materiaal is elektrisch geleidend.



Bevat de valentielaag meer dan 4 elektronen (7 elektronen in het voorbeeld hiernaast) dan zijn deze elektronen nauwer gebonden aan hun atoom/molecule en zijn ze betrokken bij sterkere bindingen met de naburige atomen (of moleculen). Er zijn dus weinig of geen vrije elektronen en dus ook weinig of geen elektronenoverdrachten tussen de atomen/moleculen. Het materiaal is elektrisch isolerend.

Het koperatoom dat deel uitmaakt van het elektrische circuit van de zaklamp, heeft 29 elektronen.

Zijn valentielaag bevat één elektron dat vrij is om van het ene koperatoom naar het andere te circuleren. Het is dit elektron dat bijdraagt tot de geleiding van de elektrische stroom.



Goud, ijzer of aluminium zijn voorbeelden van geleidende materialen.

PVC, polyvinylchloride, is samengesteld uit een keten van koolstofatomen die zijn gebonden aan waterstof- en chlooratomen. De elektronen van de valentielagen van de drie atomen zijn sterk betrokken bij de bindingen tussen de moleculen: ze verplaatsen zich niet.

PVC (of polyvinylchloride) is in tegenstelling tot koper samengesteld uit een georganiseerde opeenvolging van verschillende atomen: koolstof-, waterstof- en chlooratomen.

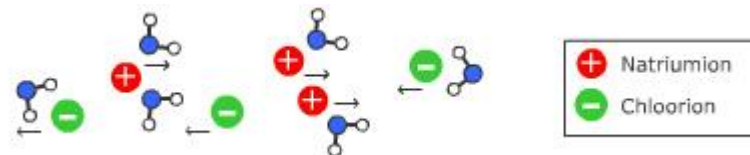


● Koolstofatoom
○ Waterstofatoom
● Chlooratoom

Droog hout, papier, porselein, glas, zuiver water of ijs zijn voorbeelden van isolerende materialen. Isolierend materiaal verhindert dat we onopzettelijk in contact komen met de geleidende delen: omdat ons lichaam elektriciteit geleidt, zou beschadiging van het isolerend materiaal elektrocutiegevaar veroorzaken.

In een koperdraad dragen de elektronen rechtstreeks bij tot de geleiding van de stroom. In een vloeistof zijn dat de ionen. Een ion is een atoom dat ofwel een elektron heeft erbij gekregen (negatief ion) ofwel een elektron heeft verloren (positief ion).

Zuiver water is, net als ijs, een goede elektrische isolator: de twee waterstofatomen zijn sterk gebonden aan het zuurstofatoom (covalente verbinding). Er zijn geen vrije elektronen of ionen ... en dus geen geleiding van de elektriciteit. Onzuiverheden zoals bijvoorbeeld zout of lood maken het water geleidend: het zijn deze elementen, in de vorm van ionen, die de nodige ladingen aanbrengen voor de geleiding van de stroom.



Kraantjeswater, fleswater of rivierwater vervoert dus de elektrische stroom.

Het zijn ook ionen die verantwoordelijk zijn voor de elektrische geleiding van het menselijk lichaam.

		<p>De moleculen van vloeibaar water blijven niet vastliggen ten opzichte van elkaar. Ze verplaatsen zich, de waterstofbindingen komen los en worden opnieuw gevormd tussen de moleculen.</p>
		<p>In de vorm van ijs zijn de watermoleculen georganiseerd in een kristallijn netwerk. De waterstofbindingen zijn alomtegenwoordig.</p>
		<p>In de vorm van stoom daarentegen zijn de watermoleculen vrij ten opzichte van elkaar.</p>

Als het gaat om atomen zijn 'geleidend' en 'isolierend' complexe begrippen. Via de slagboom hiernaast verneemt u meer over de verschillen tussen deze materialen.

Opmerking: Halfgeleidende materialen hebben eigenschappen die het midden houden tussen geleidend en isolierend. De geïnteresseerde lezer vindt meer nuttige informatie door te klikken op de slagboom hiernaast.

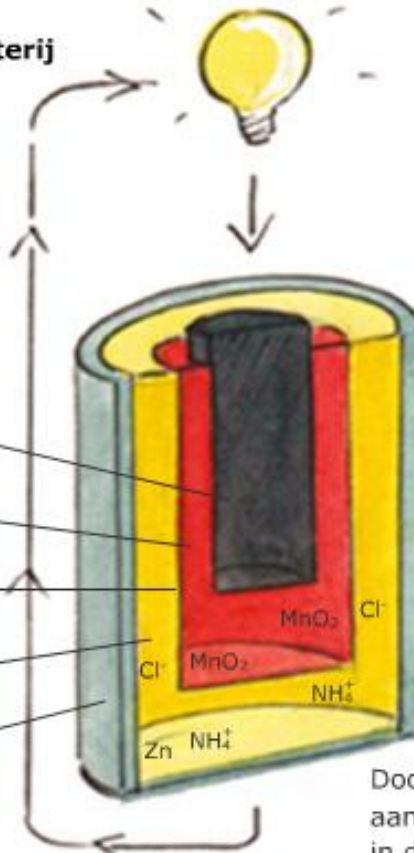
De spanningsgeneratoren

Elektrische generatoren zijn apparaten om elektrische energie te produceren op basis van een andere energievorm. We zagen al dat in een gedoofde zaklamp de bewegingen van de vrije elektronen in de koperdraad ongeordend zijn. Als de zaklamp brandt, worden de verplaatsingen van de elektronen in dezelfde richting georiënteerd ... ze verplaatsen zich van de negatieve pool van de batterij naar de positieve pool (*).

(*) Dat is de werkelijke richting waarin de elektronen zich verplaatsen. Elektriciens gebruiken echter de conventionele richting waarbij de stroom zich verplaatst van de positieve naar de negatieve klem. Deze conventionele richting is het gevolg van het feit dat de 19de-eeuwse natuurkundigen de structuur van de materie niet kenden en voorstelden om de stroom te laten overeenstemmen met een verplaatsing van positieve ladingen.

Door de chemische reacties in de batterij krijgen de elektronen de nodige energie om het circuit van de zaklamp te doorlopen. Deze energie is het elektrische potentiaal. Het potentiaalverschil tussen de positieve en de negatieve pool van de batterij wordt behouden tot de reactiestoffen zijn opgebruikt.

**Werkingsprincipe:
Voorbeeld van de salinebatterij**



Er doen zich tegelijk twee belangrijke chemische reacties voor: een aan de **positieve pool** (kathode) en een aan de **negatieve pool** (anode).

Reactie aan de kathode

$$2 \text{MnO}_2 + 2 \text{NH}_4^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3 + 2 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$$

Reactie aan de anode

$$\text{Zn} + 4 \text{NH}_3 \rightarrow \text{Zn}[(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2 \text{e}^-$$

Door deze reacties komen 2 elektronen vrij aan de anode. Zij zullen het circuit doorlopen in de richting van de kathode.

Labels in het diagram:

- Grafietkoolstof
- Mangaandioxide (MnO₂)
- Poreuze wand
- Ammoniumchloride (NH₄Cl → NH₄⁺ + Cl⁻)
- Zink (Zn)

Om goed te begrijpen wat het elektrisch potentiaal precies is, maken we een vergelijking tussen het water in een watertoren en de elektrische ladingen in de batterij van de zaklamp.

“Stel dat ...”

Het elektrisch potentiaal het hoogteverschil is tussen het hoogste peil van het water in het reservoir en de sproeislang.

De batterijen zijn dan de watertoren.

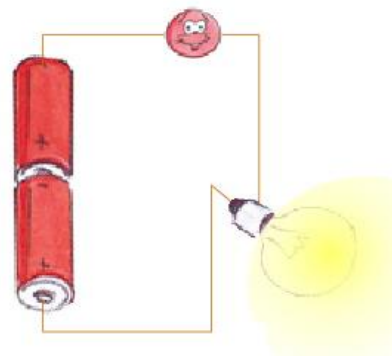
De elektronen zijn de watermoleculen.

De stroomsterkte is het waterdebiet bij het verlaten van de sproeislang

Het reservoir is volledig gevuld. De watermoleculen stromen op volle snelheid uit het reservoir. Het waterdebiet is maximaal.



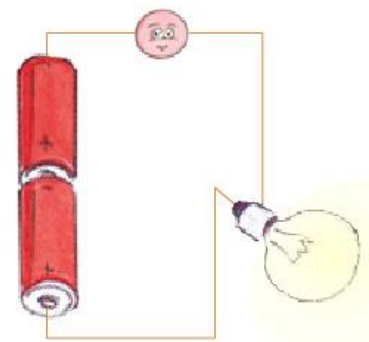
De batterijen zijn nieuw en bevatten de nodige reactiestoffen. Bij het verlaten van de batterij zijn de elektronen talrijk en hebben ze voldoende energie om het circuit te doorlopen. De stroomsterkte is maximaal: de lamp brandt op volle kracht.



Het reservoir is bijna leeg. Het waterdebiet is zwakker.



De batterijen zijn nieuw en bevatten de nodige reactiestoffen. Bij het verlaten van de batterij zijn de elektronen talrijk en hebben ze voldoende energie om het circuit te doorlopen. De stroomsterkte is maximaal: de lamp brandt op volle kracht.



Het elektrische potentiaalverschil tussen twee punten van een circuit wordt uitgedrukt in volt (V).

Eén batterij van de lamp is in staat om een potentiaalverschil van 1,5 V aan te houden tussen de positieve en de negatieve pool: dat is de elektromotorische kracht (EMK). Het potentiaalverschil is klein: de batterij is een laagspanningsgenerator. (*).

(*)"Spanning/elektrisch potentiaal", "potentiaalverschil" en zelfs "elektromotorische kracht"... Het zijn allemaal heel verschillende termen die nochtans verwijzen naar eenzelfde concept!

Een beetje woordenschat lijkt ons niet overbodig!

Het elektrisch potentiaal is de potentiële elektrische energie per laadeenheid.

De elektromotorische kracht (EMK) duidt vaak de spanning aan die wordt geleverd door een elektrische generator.

De elektrische spanning is de evolutie van het elektrisch veld langs een circuit:

- stationair, d.w.z. als de werkingsvoorwaarden stabiel blijven, is de elektrische spanning gelijk aan het potentiaalverschil,
- niet-stationair is het mathematisch een flink stuk complexer! In het kader van deze animatie gaan we hier niet verder op in.

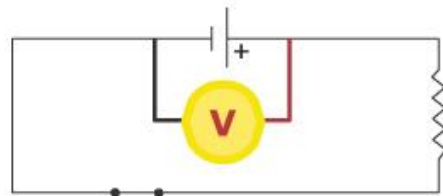
Het circuit van de zaklamp, die werkt op 2 batterijen van 1,5 V, heeft een potentiaalverschil van 3 V. Het potentiaalverschil tussen twee punten heeft te maken met de energie die een elektron nodig heeft om zich tussen deze twee punten te verplaatsen.

De spanning wordt gemeten met een voltmeter. Er bestaan verschillende modellen. Dit is het algemene principe:



Hoe meten we een spanning met behulp van een voltmeter?

- De voltmeter wordt parallel in het circuit geplaatst
- Men moet rekening houden met de richting van de stroom
- Hij moet worden geplaatst aan de klemmen van een elektrisch element. Als hij wordt aangesloten op de koperdraden zal hij de waarde 0 weergeven
- In onze zaklamp bedraagt de spanning 3 V.



De spanning bedraagt:

- enkele volt (V) in een elektronisch circuit en in een zaklamp,
- 230 V tussen de fase en de nulleider van onze stopcontacten (120 V in de VS)
- 15 tot 380 kilovolt (kV) tussen de fasen van een hoogspanningslijn

Opmerking:

Het potentiaal, hoe hoog het ook is, is geen risicofactor voor elektrocutie. Het is het potentiaalverschil waartegen men zich moet beschermen. Stel dat een vogel op een hoogspanningslijn zit.

Hoe komt het dat hij niet geëlektrocuteerd wordt?

Voor elektrocutie moet er stroom worden doorgevoerd en moet er dus een potentiaalverschil bestaan tussen twee punten. Omdat de twee poten van de vogel zich op dezelfde elektriciteitskabel bevinden, hebben ze hetzelfde potentiaal. Als de vogel door met zijn vleugels te slaan echter een andere kabel raakt, is er een potentiaalverschil tussen zijn vleugel en zijn poten en wordt er stroom doorgevoerd. Hetzelfde geldt als de vogel tegelijk in contact komt met de paal en de kabel (de paal is geïsoleerd van de kabels en verbonden met de aardleiding, hij heeft dus het potentiaal van de aarde).

Niet het potentiaal waarop men zit is gevaarlijk, wel het potentiaalverschil. De intensiteit van de stroom die door het lichaam gaat, staat immers in verhouding tot het potentiaalverschil tussen de contactpunten.

Een ander voorbeeld zijn haren die recht omhoog staan op het hoofd: ons lichaam wordt eveneens onder zeer hoge spanning gebracht zonder dat wij er de effecten van merken.



(Source: Maison de la Science, Université de Liège)

Gelijkspanning en wisselspanning

Er bestaan twee grote families van elektrische generatoren: met gelijkspanning en met wisselspanning.

Men spreekt van gelijkspanning (of gelijkstroom) als de elektronen altijd in dezelfde richting bewegen, van de negatieve naar de positieve klem van de generator. Dat is het geval voor de zaklamp. De batterijen zijn gelijkspanningsgeneratoren.

De situatie is anders voor de apparaten die zijn aangesloten op het elektriciteitsnet: hier veranderen de elektronen hun verplaatsingsrichting 100 maal (in de VS 120 maal) per seconde: men spreekt van wisselspanning aan de frequentie van 50 Hz (hertz). In 50 Hz gaat de spanning afwisselend door een positieve topwaarde, vervolgens door nul, vervolgens door een negatieve topwaarde, vervolgens door nul enz... 50 cycli per seconde (sinusoïdale vorm).

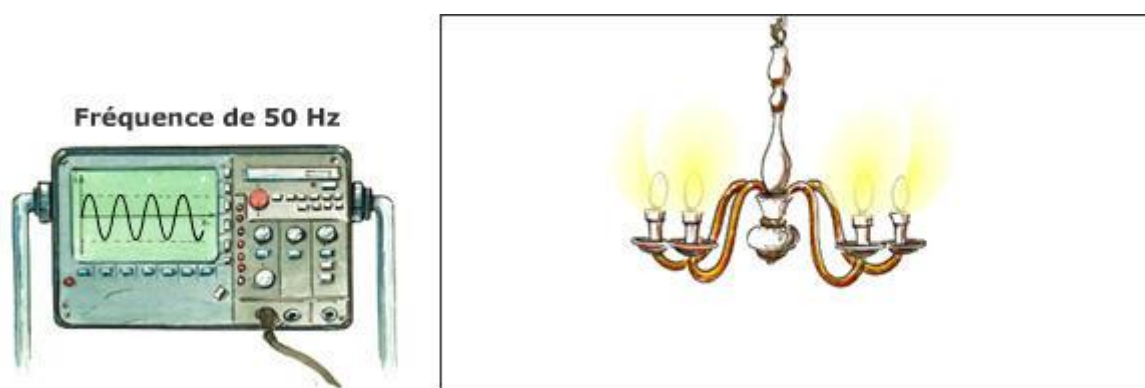
Wat gebeurt er op het niveau van de elektronen?

Als we een schakelaar activeren gaat het licht onmiddellijk aan. Vervolgens zeggen dat de stroom (en dus de elektronen) zich verplaatst aan de snelheid van het licht is slechts één stap ... die wij niet zullen nemen omdat we op atoomniveau denken.

De elektronen verplaatsen zich in de richting van de stroom met slechts een kleine meter per uur, in gelijkstroom. Als de elektronen, "voortgedreven" door de generator of de alternator, in het elektrisch circuit binnenkomen, doet zich een keten van schokken voor tussen de elektronen. De beweging verplaatst zich werkelijk aan de snelheid van het licht ... maar dat heeft niets te zien met de snelheid van de elektronen in de richting van de stroom.

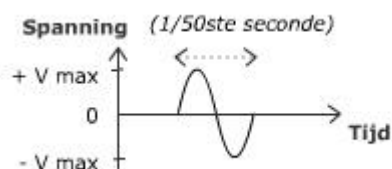
Opmerking: de elektronen verplaatsen zich in feite zeer snel maar in zigzag: hun baan is niet rechtlijnig maar ze worden ervan afgeleid door de schokken die zich voordoen wanneer ze elkaar ontmoeten. In wisselstroom blijven de elektronen, die oscilleren aan 50 Hz, praktisch op hun plaats. Hun beweging lijkt op een trilling.

De frequentie kan worden weergegeven met behulp van een oscilloscoop. Dat is een geperfectioneerde voltmeter waarmee de evolutie van de spanning van een elektrisch signaal kan worden gevolgd in de tijd. In de bovenstaande illustratie zien we dat de spanning van de luster sinusoidaal evolueert aan een frequentie van 50 Hz



Evolutie op sinusoidale wijze bij een frequentie van 50 Hz

Dat betekent dat de spanning 50 keer per seconde de cyclus "positieve topwaarde / 0 V / negatieve topwaarde / 0 V" aflegt.



Let op: Het elektrische apparaat dat de wisselspanning ontvangt, heeft geen maxima, minima of nulwaarden nodig. Daarom werd een nuttige, effectieve grootheid gedefinieerd. De effectieve waarde is een beeld van het equivalent in continue grootte van een niet-continue grootte. De effectieve waarde van een sinusoidaal oscillerende grootheid is equivalent aan zijn topwaarde gedeeld door wortel 2, d.w.z. 1,41. De waarde van de wisselspanningen die is aangeduid op de voedingen of op de gewone receptoren zijn effectieve waarden.

230 V tussen de fase en de nulleider van onze stopcontacten is de effectieve waarde van de spanning. De topwaarden of piekwaarden bedragen +325 en -325 V.

Aan de frequentie van het elektriciteitsnet (50 oscillaties per seconde) kunnen we de opeenvolgende ontstekingen van de lamp niet waarnemen. De gloeidraad heeft immers niet de tijd om af te koelen en dus uit te gaan. Het verschijnsel van de lichtnawerking op het netvlies zorgt er ook voor dat ons oog niet gevoelig is voor zo'n snelle variaties.

Wisselspanning wordt geproduceerd in elektriciteitscentrales. Ze wordt bewaard tijdens het hele traject van de elektriciteit naar onze huizen.



De productie van de elektriciteit aan een frequentie van 50 Hz gebeurt in de centrales met behulp van een hoogspanningsgenerator. Die is samengesteld uit een turbine en een alternator:

- De turbine draait onder de inwerking van water (Hydro-elektrische centrale), wind (windmolen), stoom (thermische centrale, turbine-gas-stoom, kerncentrale) ... In de alternator wordt de opgenomen mechanische energie omgezet in elektrische energie.
- De alternator is samengesteld uit een vast deel, de stator, en een mobiel deel, de rotor. We kunnen eenvoudig stellen dat de rotatiesnelheid van de rotor leidt tot de generatie van een sinusoidale spanning aan de frequentie van 50 Hz in de stator.

Energie en vermogen

Energie

De energie die nodig is om de lamp en om het even welk elektrisch apparaat te doen werken wordt aangevoerd door de ladingen die erdoor stromen en door het elektrisch potentiaal van deze ladingen:

Het vermogen

Het vermogen van een elektrisch apparaat wordt gedefinieerd als het energiedebiet, d.w.z. de energie die wordt verbruikt per tijdseenheid. Het wordt uitgedrukt in watt.

$$\text{Vermogen (in watt, W)} \leftarrow P = \frac{E}{t}$$

Energie
(in joule, J)
Tijd
(in seconde, s)

Het vermogen van een verwarmingsapparaat is de hoeveelheid warmte die het apparaat kan leveren per tijdseenheid. Een elektrische oven van 2200 watt verbruikt per seconde 2200 joule energie.

Het vermogen van een apparaat dat wordt aangedreven door een motor geeft de arbeid aan die de motor kan leveren per tijdseenheid. Een boormachine van 500 W of 500 joule/seconde gaat moeizamer door een stenen muur dan een boormachine van 1000 W of 1000 joule/seconde.

Bij gelijkstroom wordt het vermogen bepaald door de spanning (V) en de stroom (I) op basis van volgende verhouding (*):

$$\text{Vermogen (in watt, W)} \leftarrow P = V \cdot I$$

Stroomsterkte
(in ampère, A)
Elektrisch potentiaal
(in volt, V)

(*) Bij wisselstroom ziet de berekening van het vermogen iets anders berekend: hier moet rekening worden gehouden met de faseverschuiving tussen spanning en stroom. Afhankelijk van het apparaat dat wordt gevoed (bijvoorbeeld een motor), zijn de twee grootheden niet altijd tegelijk maximaal. De formule wordt:

$$\text{Vermogen (in watt, W)} \leftarrow P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Stroomsterkte
(in ampère, A)
Spanning
(in volt, V)
Verschuivingsfactor
(waarde tussen -1 en 1)

We zullen hierop terugkomen bij de beschrijving van de werking van motoren.

Een voorbeeld: in onze zaklamp, onder een potentiaalverschil van 3 V (2 batterijen van 1,5 V), gaat er een stroom van 0,7 A door de lamp. Het vermogen bedraagt dus 2,1 W. De lichtsterkte hangt af van het

elektrisch vermogen.

Het vermogen wordt aangevoerd door de elektrische generator: de batterijen of de accu's in de zaklamp, de alternator van de elektriciteitscentrales voor de luster en alle apparaten die zijn aangesloten op het net.

Vermogen van de batterijen en accu's

Voor zaklampen worden vaak alkalibatterijen of accu's gebruikt. Het vermogen van deze generatoren bedraagt enkele watt tot enkele tientallen watt.

Welk type batterijen of accu's gekozen wordt, hangt af van hun respectieve eigenschappen die moeten aangepast zijn aan wat we ermee willen doen.

Van de elektrische eigenschappen onthouden we hun spanning (in V), hun capaciteit (in mA.h) en de maximumstroom die ze kunnen leveren (in A). Andere eigenschappen zoals hun omvang en hun gewicht of, voor de accu's, de zelfontladingstijd of het toegestane aantal ladings/ontladingscycli kunnen eveneens doorslaggevend zijn bij de keuze.

De eigenschappen van de batterijen en accu's hangen vooral af van de aanwezige reactiestoffen.

Vermogen van het net

In 2004 bedroeg de productiecapaciteit in België meer dan 15 000 megawatt.

(Bron: Synergrid)

De tabel hiernaast geeft een idee van de productiecapaciteit per primaire energiebron (in MW of megawatt, d.w.z. miljoenen watt)	Per primaire energiebron * Voorlopige cijfers					MW
	2004*	2003	2002	1999	1994	
Nucleair	5.801,5	5.761,0	5.761,0	5.713,0	5.528,0	
Klassiek thermisch	6.800,3	6.800,1	6.845,9	7.226,4	7.427,5	
Biogas	25,9	25,9	25,9	11,8	1,8	
Afval en recuperatiestoom	201,3	200,1	196,9	147,1	124,0	
Warmtekrachtkoppeling	1.340,8	1.339,6	1.272,7	1.057,4	410,1	
Waterloop- en stuwdamcentrales	107,6	107,6	106,0	97,0	95,5	
Pompcentrales	1.307,0	1.307,0	1.307,0	1.307,0	1.307,0	
Windkracht	92,8	66,9	31,0	9,3	5,2	
BELGIE	15.677,2	15.608,2	15.546,4	15.569,0	14.899,1	

Omdat elektriciteit niet kan worden opgeslagen moet de productie worden afgestemd op de vraag: ze moet in evenwicht zijn met het verbruik. De nationale transmissienetten voor elektriciteit zijn onderling gekoppeld of geïnterconnecteerd. Dankzij de interconnectie kan elk land snel het hoofd bieden aan onevenwichten tussen productie en verbruik: de landen wisselen onderling elektriciteit uit.

Opmerking:

Elk onevenwicht tussen productie en verbruik vertaalt zich in een wijziging van de rotatiesnelheid van de alternatoren van de elektriciteitscentrales van de onderling verbonden netten.

Eenvoudig kan men stellen dat het evenwicht tussen de productie en het verbruik wordt gecontroleerd aan de hand van de frequentie (50 Hz in onze contreien). Een wijziging in de frequentie duidt op een onevenwicht: als de frequentie meer dan 50 Hz bedraagt, betekent dit dat de productie groter is dan het

verbruik; daalt ze onder de 50 Hz dan is het verbruik groter dan de productie. Het evenwicht wordt vertaald door een zeer kleine schommeling van de frequentie. Om dit evenwicht te behouden wordt de snelheid van de alternatoren permanent aangepast door de rotatie van de turbines op te voeren of te verminderen.

We zullen hier uitgebreider op terugkomen in de animatie over de productie en het vervoer van de elektriciteit ("Traject van de elektriciteit")

De weerstand

In gelijkstroom (*) is het verband tussen het elektrische potentiaalverschil en de stroom in een materiaal de elektrische weerstand van het materiaal. Dat is de wet van Ohm: (*)

$$\text{Elektrisch potentiaal (in volt, V)} \leftarrow V = R \cdot I \rightarrow \text{Stroomsterkte (in ampère, A)}$$

\nearrow
Weerstand
 (in ohm, Ω)

(*) Bij wisselstroom spreekt men niet van weerstand maar van impedantie. De wet van Ohm wordt dan:

$$\text{Elektrisch potentiaal (in volt, V)} \leftarrow V = Z \cdot I \rightarrow \text{Stroomsterkte (in ampère, A)}$$

\nearrow
Impedantie
 (in ohm, Ω)

De elektrische impedantie meet "de weerstand" die een elektrisch circuit biedt tegen de doorvoer van een sinusoïdale wisselstroom.

We zullen hierop terugkomen in de animatie over motoren.

Voor eenzelfde potentiaalverschil bewegen de elektronen in alle materialen niet op dezelfde manier: een materiaal met een hogere weerstand laat de elektronen minder makkelijk door. Materialen zijn min of meer bestand tegen de doorvoer van stroom. In een resistenter materiaal botsen de elektronen meer tegen elkaar en bewegen ze trager. Ze verliezen hun energie. Deze verloren energie wordt gaat over op het materiaal in de vorm van warmte.

De weerstand van een materiaal hangt af van verschillende parameters, volgens de wet van Pouillet:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

\nwarrow **Soortelijke weerstand** (Griekse letter ρ) (in ohm . meter, $\Omega \cdot m$) \nearrow **Lengte** (in meter, m)
 \swarrow **Weerstand** (in ohm, Ω) \searrow **Doorsnede** (in vierkante meter, m^2)

- De soortelijke weerstand (of de aard) van een materiaal: hoe groter de waarde, hoe meer het

materiaal bestand is tegen de doorvoer van stroom

- De lengte: hoe groter de lengte, hoe groter de weerstand
- De doorsnede: hoe kleiner de doorsnede, hoe groter de weerstand

Afhankelijk van de toepassing zal men geleidende materialen zoeken met een lage of hoge weerstand.

Lage weerstand

Een lage weerstand is bijzonder belangrijk bij kabels die bijvoorbeeld grote elektrische huishoudtoestellen voeden: als de kabel een te hoge weerstand heeft (in de elektrische betekenis van het woord), kan het toestel oververhit geraken en eventueel elektrocutiegevaar (beschadiging van de isolatie!) en brandgevaar veroorzaken.

In de zaklamp is het energieverlies ter hoogte van de koperdraad bijzonder gering. Men moet wel de kwaliteit van de contacten tussen de batterijen en de draad controleren: bij een slecht contact kan de weerstand zo groot worden dat de stroom niet meer kan circuleren.

Hoge weerstand

Het werkingsprincipe van gloeilampen is gebaseerd op het verlies van warmte-energie. Alles wordt in het werk gesteld om het verlies aan de gloeidraad zo groot mogelijk te maken:

- Hij bestaat uit wolfram, een materiaal met een grotere soortelijke weerstand dan koper en een hoge smeltemperatuur (3410°C)
- Hij is vrij lang: de gloeidraad van wolfram wordt opgewikkeld om de lengte en dus ook de hoeveelheid zichtbaar licht te verhogen
- Hij is heel dun (echter niet té dun anders smelt hij vlug tijdens de verhitting)

De gloeidraad heeft dus een weerstand tegen de doorvoer van de stroom. De elektrische energie wordt omgezet in warmte. De warmte is zo hevig dat zonder het luchtvacuüm in de lamp (of de aanwezigheid van een inert gas) de gloeidraad beschadigd zou worden en vuur zou vatten.

Een groot deel van de straling van de wolframgloeidraden wordt uitgezonden in infrarood ... dat verwarmt zonder te verlichten

Slechts een beperkt percentage (5 %) van de elektrische energie wordt omgezet in zichtbaar licht ter hoogte van de gloeidraad. De rest gaat op in warmte. Gloeilampen zijn uiteindelijk eerder verwarmings- dan verlichtingsapparaten! Vandaag bestaan er andere soorten lampen die niet gebaseerd zijn op de warmteomzetting van energie (bijvoorbeeld spaarlampen, LED's...) ... We zullen hierop terugkomen in de animatie "Gebruik van de elektriciteit".

Statische elektriciteit

Tot hiertoe hadden we het enkel over elektriciteit die wordt geassocieerd met een gecoördineerde beweging van de elektronen maar er bestaat nog een andere vorm van elektriciteit: de statische elektriciteit waarvan de elektronen niet kunnen circuleren. Dat is het geval in de isolerende materialen

(*): als deze materialen tegen elkaar worden gewreven worden de elektronen uit het ene materiaal losgerukt en door het andere materiaal gerecupereerd

(*) Dat is ook het geval bij geleidende materialen wanneer ze geïsoleerd zijn van andere geleidende materialen. De ladingen worden dan gelijkmatig verdeeld over het hele geleidende materiaal. Dat gebeurt bijvoorbeeld wanneer we bij droog weer met de wagen rijden: de wagen wordt geladen met statische elektriciteit. Het koetswerk is geleidend maar wordt van de grond geïsoleerd door de banden

De hoeveelheid uitgewisselde ladingen hangt af van de materialen die met elkaar in contact worden gebracht, hun oppervlakte, hun vochtigheidsgraad ... Sommige materialen ontladen of laden zich makkelijk en worden dus respectievelijk meer positief of meer negatief.

Materialen die eerder de neiging hebben om meer positief te worden dan negatief:

Konijnenbont – glas – nylon – wol – kattenhaar – katoen – zijde – dacron – pvc – polyethyleen – rubber – teflon.

Opmerking:

De wrijving is niet nodig om een verplaatsing van de ladingen van het ene materiaal naar het andere te veroorzaken. De wrijving versterkt enkel de verplaatsing van de ladingen die van nature gebeurt zodra twee materialen met elkaar in contact komen.

We nemen het voorbeeld van een ballon.



(1) De ballon en het haar zijn aanvankelijk (vóór de wrijving) neutraal, d.w.z. dat ze evenveel negatieve als positieve ladingen bevatten;

(2) Door de wrijving tussen het haar en de ballon gaan de elektronen van het haar naar de ballon: de ballon wordt negatief geladen;

(3) Wanneer de negatief geladen ballon het plafond nadert, zal hij er plaatselijk de verdeling van de ladingen wijzigen: de positieve ladingen van het plafond bewegen in de richting van de ballon terwijl de negatieve ladingen zich ervan verwijderen. De ballon kleeft aan het plafond door elektrostatische aantrekkingskracht.

De ballon wordt langzaam weer elektrisch neutraal: de ballon komt geleidelijk aan los van de muur.

De ontlading kan verschillende vormen aannemen naargelang de geometrie van de voorwerpen die met elkaar in contact komen, de geleidbaarheid van het medium tussen de geladen oppervlakken en de geleidbaarheid van de oppervlakken zelf. In ons voorbeeld maakt de vochtigheid van de lucht een verschuiving van de negatieve moleculen van de ballon naar de watermoleculen in de lucht mogelijk. Als de lucht zeer droog is, blijft de ballon langer aangetrokken.

Als de ballon bijna onmiddellijk weer elektrisch neutraal wordt, spreekt men van elektrostatische ontlading.

Tijdens de ontlading wordt het potentiaal tussen de twee materialen met aanvankelijk verschillende spanningen gecorrigeerd door de opeenstapeling van positieve ladingen aan de ene kant en negatieve ladingen aan de andere kant.

Hoe zit het met de ontlading die we voelen wanneer we bij het uitstappen het koetswerk van onze wagen aanraken, vooral wanneer het vriest (*)?

Door de wrijving van de lucht op het koetswerk tijdens het rijden wordt de auto geladen met statische elektriciteit. Omdat de banden isolerend zijn, krijgt de wagen een hoger elektrisch potentiaal dan de grond. Omdat wij in de wagen zitten krijgen wij hetzelfde potentiaal.

Zodra we uitstappen, als de elektrische weerstand van onze zolen niet erg groot is, gaan er ladingen verschuiven naar de grond zodat we weer het potentiaal van de grond krijgen.

Als we nadat we zijn uitgestapt het koetswerk aanraken, verschuiven de ladingen van de wagen naar de grond via de eenvoudigste weg: ons lichaam. Dit elektrisch contact kan door de doorslag van de lucht kort voor het lichamelijke contact ontstaan: Een goed elektrisch contact met het koetswerk (lage weerstand) gecombineerd met een zeer klein oppervlak waar de stroom doorgaat (hier = de vingertoppen) veroorzaakt een zeer sterke (enkele ampères) en zeer plaatselijke stroom die een onaangenaam maar ongevaarlijk gevoel geeft. De ontlading is bijna onmiddellijk (enkele miljardsten van een seconde).

Als we het koetswerk echter aanraken voordat we uitstappen, worden er zeer weinig ladingen uitgewisseld aangezien ons potentiaal nog ongeveer hetzelfde is als dat van de wagen. Bij het uitstappen zullen alle overtollige ladingen van ons lichaam en de wagen zich naar de grond verplaatsen. In de handen en voeten worden we niets gewaar omdat er al contact was met het koetswerk enerzijds en de grond anderzijds.

(*) Bij vorst wordt de auto sterker geladen met statische elektriciteit omdat er dan meestal minder vochtigheid is in de lucht die de elektrische ladingen kan laten verschuiven.

En in ons lichaam?

We hebben nu enkele begrippen overlopen: stroom, geleidende en isolerende materialen, potentiaalverschil, energie en vermogen, weerstand, ... Deze begrippen vindt men ook in het menselijk lichaam omdat wij op dezelfde manier functioneren als elektriciteit!

Het zenuwstelsel bijvoorbeeld is een prachtig elektrisch communicatienetwerk. De communicatie tussen de hersenen en het lichaam gebeurt aan de hand van elektrische en chemische signalen: het elektro-encefalogram registreert de elektrische activiteit van onze hersenen (EEG).

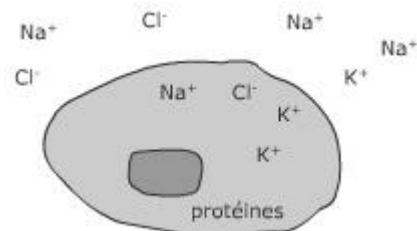
Het hart heeft gespecialiseerde cellen die automatisch elektrische impulsen genereren. Deze laatste liggen aan de basis van de elektrische activiteit in de verschillende hartcellen, waaronder de spiercellen die verantwoordelijk zijn voor de samentrekking van het hart. Het elektrocardiogram (ECG) registreert de globale elektrische activiteit van ons hart.

In een koperdraad ligt de beweging van de elektronen aan de basis van de elektrische stroom. In het menselijk lichaam dat grotendeels uit water bestaat, zijn het de ionen die deze rol vervullen.

De transmissie van het elektrisch signaal van de ene cel naar de andere is het resultaat van een verschillende verdeling van de ionen tussen de binnen- en de buitenkant van de cellen.

De concentraties van de positieve en negatieve ionen zijn aan weerskanten van het celmembraan verschillend:

- de ionen Na^+ en Cl^- zijn talrijker aan de buitenkant van de cel,
- de ionen K^+ en de negatief geladen proteïnen zijn talrijker aan de binnenkant.

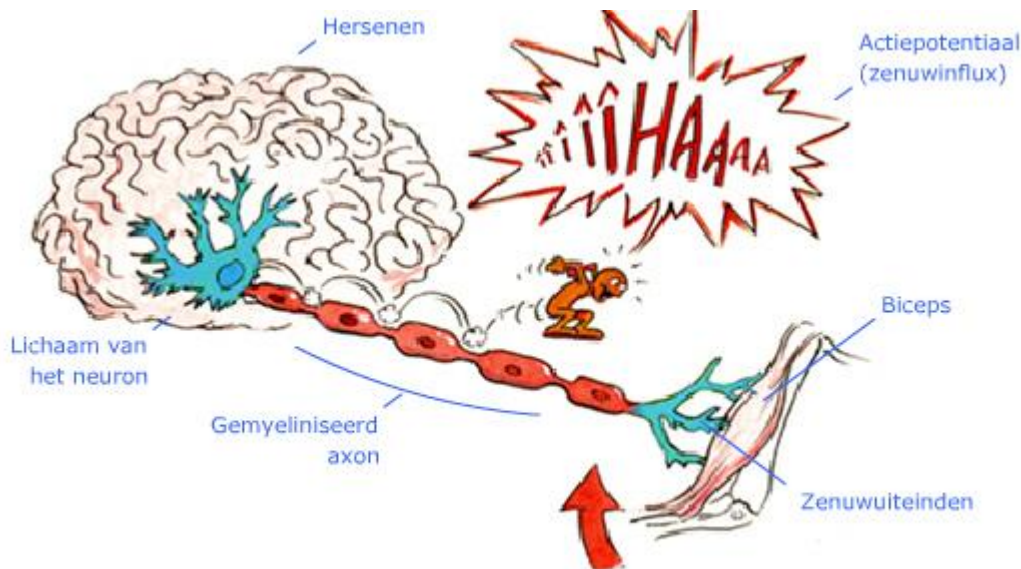


Door een microsonde aan de binnenkant van de cel te plaatsen en een andere aan de buitenkant, kan een potentiaalverschil worden gemeten: in rust is de binnenkant van de cel negatiever dan de buitenkant (tussen -20 en -100 mV). Dat is het rustpotentiaal.

Afhankelijk van de stimulering van de cel gaan de ionen volledig, veel of helemaal niet door de celmembranen. Het potentiaalverschil tussen de binnenkant en de buitenkant van de cel varieert met de verplaatsing van de ionen. Boven een bepaalde drempel ontketent de cel een actiepotentiaal.

De opwekbare cellen (zoals de neuronen, de hart- of de spiercellen) hebben het vermogen om de ionenconcentraties aan de binnen- en buitenkant van de cellen snel te doen variëren. Zo veroorzaken ze depolarisatie- en herpolarisatiecycli. Dit is het actiepotentiaal.

In het hierna geïllustreerde neuron verspreidt het actiepotentiaal dat in het lichaam van de neuron is ontstaan zich ter hoogte van het axon om de biceps te verwittigen dat hij zich moet samentrekken.



Ter hoogte van de zenuwuiteinden die in contact komen met de spier (de synapses) wordt het elektrisch signaal vertaald in een chemisch signaal: het actiepotentiaal veroorzaakt de vrijgave van moleculen (van de neurotransmitters), die de informatie doorgeven naar de spier.

De actiepotentialen hebben een zeer lage intensiteit maar lopen bij duizenden en op ieder moment door de neuronen van het menselijk lichaam. Hun verplaatsingssnelheid (*) hangt af van de eigenschappen van de axonen zoals hun doorsnede, de aan- of afwezigheid van een myelieschicht

(*Om de zenuwinflux zeer snel te geleiden hebben sommige axonen bepaalde troeven in handen zoals:

- een grotere doorsnede zodat de ionen vrijer zijn en zich sneller kunnen verplaatsen (iets gelijkaardigs zagen we bij de elektrische weerstand!),
- een myelineschicht rond het axon: dan zegt men dat het axon gemyeliniseerd is (zie illustratie). Deze schicht is elektrisch isolerend. Ter hoogte van de gemyeliniseerde axonen kan het actiepotentiaal dus niet dichterbij komen. Het verspreidt zich met sprongen ter hoogte van de zones, de “knopen van Ranvier”, waar de myeline dunner of afwezig is. Deze sprongsgewijze geleiding doet het actiepotentiaal sneller geleiden.

Opmerking: Bij multiple sclerose is de myelineschicht vernietigd. Dit veroorzaakt een vermindering of het verlies van de geleiding

Bij contact met een spanningsbron (bijvoorbeeld een slecht geïsoleerde elektrische kabel) gaat er stroom door het lichaam: men spreekt van elektrisatie (of elektrocutie wanneer de afloop fataal is). De stroom zal de aarde trachten te bereiken via het traject met de zwakst mogelijke weerstand.

De weerstand van het menselijk lichaam hangt met name af van de geleidbaarheid (of omgekeerd de soortelijke weerstand) van de doorvoerde weefsels.

Voorbeelden van weerstandswaarden van het menselijk lichaam (Dawson et al, 2001)

Weerstandswaarde als de stroom tussen een hand en een voet gaat	... van de ene hand naar de andere gaat
Kind (1,10 m en 18 kg)	1,9 kΩ	2,5 kΩ
Volwassene (1,77 m en 77 kg)	1,2 kΩ	1,6 kΩ

Voorbeelden van geleidingswaarden van de verschillende weefsels (Dawson et al, 1997)

	Geleidbaarheid in siemens/mètre (S/m)
Huid	0,1
Bot	0,04
Vetmassa	0,04
Spier	0,35
Hart	0,1

Opmerking:

Hoe groter de geleidbaarheid, hoe makkelijker het weefsel de stroom toelaat. De hiernaast vermelde waarden tonen aan dat de spieren goede geleiders zijn ten opzichte van bijvoorbeeld de beenderen.

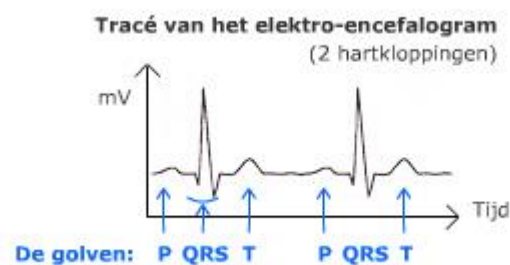
Deze stroom zal inwerken op de spieren, net als de actiepotentialen: de spieren zullen samentrekken en zelfs verkrampen (*) zodat het slachtoffer de spanningsbron niet kan loslaten.

(*) Boven 40 samentrekkingen per seconde heeft de spier niet de tijd om zich te ontspannen: ze is verkrampd. Een elektrisatie aan 50 Hz kan dus verkramping veroorzaken. Deze is volledig omkeerbaar zodra het contact met de spanningsbron verbroken is.

Opmerking: De situatie is heel anders ter hoogte van de hartspier vanwege de langere duur van de refractaire periode van de samentrekking, d.w.z. de periode tijdens welke de hartspier niet opnieuw wordt gestimuleerd. Deze spier kan zich dus niet samentrekken tot ze verkrampd.

Ter hoogte van het hart kan de elektrisatie snel dramatisch worden, vooral als ze plaatsvindt op het moment van de T-golf. Het risico van ventriculaire fibrillatie is in deze periode immers zeer hoog, waardoor de bloedsomloop stilvalt. De ventriculaire fibrillatiedrempel bedraagt ongeveer 50 mA en wordt gedurende een seconde aangehouden.

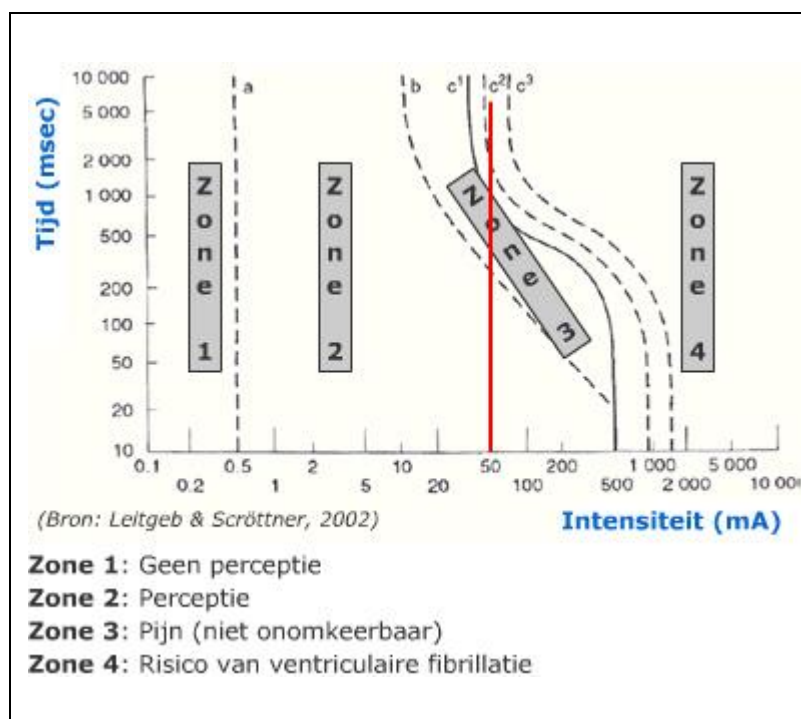
Ventriculaire fibrillatie is een hartritmestoornis die overeenstemt met een snelle, ongeordende en inefficiënte samentrekking van de hartkamers.



De T-golf stemt overeen met het moment in de hartcyclus waarop de ventrikels zich ontspannen en het bloed in de hartoren stroomt. Dat is het begin van de hartcyclus (zie de volledige cyclus in de beschrijving van het ECG).

Een ander gevaar van de elektrisatie is het risico van brandwonden: door zich onder het effect van het potentiaalverschil te verplaatsen produceren de ionen een verhitting, net als de elektronen in een wolframdraad.

De ernst van een elektrisatie hangt af van de stroomsterkte en ook van de duur van het contact, het huidtype en de huidvochtigheid.



Als de elektrisatie, door de samentrekking van de spieren te veroorzaken, het contact verlengt (de hand sluit zich rond de draad), neemt het risico van ernstiger schade toe. De ernst van een elektrisatie hangt af van de stroomsterkte en van de duur van het contact.

De hoeveelheid stroom die door het lichaam gaat, hangt ook af van het huidtype en de huidvochtigheid. In de badkamer zijn we met blote voeten die rechtstreeks in contact komen met water kwetsbaarder.

Daarom zijn de beveiligingsniveaus in de badkamer hoger (zie "Traject van de elektriciteit").

Opmerking:

Door ons lichaam kan ook stroom gaan zonder dat wij het merken. Dat is de contactstroom. De stroom gaat door het menselijk lichaam tussen twee contactpunten (meestal een hand en een voet of tussen de twee handen / de twee voeten) met geleidende voorwerpen met verschillende potentialen (een machine en de grond, een kraan en de grond, een radiator en de grond, enz.) terwijl dit potentiaalverschil a priori niet evident is aangezien geen enkel voorwerp is verbonden met een spanningsbron (*).

(* De contactstroom heeft niets te maken met het contact met delen onder spanning (zoals het geval is tijdens een elektrocutie), noch met elektrostatische ontladingen.

Het is een stroom van 50 Hz die, in tegenstelling tot de stroom die een elektrisatie of elektrocutie veroorzaakt, ver onder de waarnemingsdrempel blijft: ze gaat door ons lichaam zonder dat wij het merken.

Naar deze contactstromen werd in onze onderzoeksgroep uitvoerig onderzoek gevoerd (zie pagina ingenieursteams op onze site).

De intensiteit van de contactstromen is meestal laag als de elektrische installatie goed ontworpen is en in een goede staat verkeert.

Quiz

Om aan de quiz deel te nemen, klikt u op het volgende adres:

<http://www.bbemg.be/nl/startpagina-emv/elektriciteit-velden/elektriciteitsbegrippen.html>

Bijlagen

Evoluties van het atoommodel

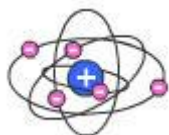
In tegenstelling tot wat velen denken, beschrijven de elektronen rond de kern geen elliptische beweging zoals die van de planeten rond de zon. De elektronen bewegen volgens de kwantummechanica. Dat betekent dat men de positie van de elektronen niet precies kan bepalen maar enkel de waarschijnlijkheid kent dat er zich een elektron in een bepaalde zone bevindt. Om de positie van de elektronen in deze elektronenwolk te bepalen spreekt men van atoomorbitalen. De theorie van de atoomorbitalen is ontstaan uit onderzoek in het domein van de kwantummechanica.

Het atoommodel is in de loop der tijden geëvolueerd naarmate men de eigenschappen van de materie ontdekte.

In de Oudheid veronderstelde men dat de materie in kleine stukjes kon verbrossen tot er onscheidbare deeltjes werden gevormd, de atomen (de naam is afgeleid van het Griekse atomos, wat onscheidbaar, ondeelbaar betekent).



In 1897 beschreef JJ. Thomson de elektronen als deeltjes die zich van het atoom hadden afgescheiden. Het atoom wordt voorgesteld als een positieve bol bezaaid met negatieve lichaampjes (zoals pruimen in pudding ... vandaar ook de naam 'pudding' voor dit model). Het geheel was neutraal. Omdat latere experimenten hebben aangetoond dat de positieve ladingen in feite geconcentreerd zaten in de kern, werd dit model opgegeven.



In 1911 stelde E. Rutherford het planetaire atoommodel voor: de negatieve elektronen zouden rond de positieve kern bewegen zoals de planeten rond de zon. Tussen de elektronen en de kern is er enkel een vacuüm. Zijn model steunt op de klassieke mechanica. Volgens de klassieke mechanica echter verliest een draaiend elektron energie. Het elektron zou zich dus geleidelijk aan in de richting van de kern moeten bewegen ... tot het met deze laatste in botsing komt. En dan ... is er niets meer!



Waterstofatoom

In 1913 beschreef N. Bohr het waterstofatoom als bestaande uit een positief geladen kern en een elektron dat rond deze kern draait. Zijn model van waterstof blijft dus planetair, maar hij vult het aan door het elektron te situeren op elektronenschillen met constante energie. Het elektron behoudt dus zijn energie zolang het zich op een bepaalde baan bevindt. Het kan echter van de ene baan naar de andere gaan door energie te absorberen of uit te zenden. Aan de hand van dit model konden de waarnemingen op het waterstofatoom worden verklaard, maar niet de bewegingen van de elektronen in de atomen met meer dan één elektron.

Vorbeelden van orbitalen



s-orbitaal p-orbitaal

Sinds de jaren 30 en het model van Schrödinger heeft de kwantummechanica het overgenomen. In het model van Schrödinger worden de welomschreven banen van Bohr waarschijnlijkheidswolken: de elektronenbanen. Zij geven de waarschijnlijkheid weer dat een elektron aanwezig is op een bepaalde afstand van de kern. In tegenstelling tot de klassieke mechanica is het moeilijk om zich een visueel beeld te vormen van de kwantummechanica. Daarom wordt vandaag nog steeds het planetaire model gebruikt.

Aantal elektronen en hun verdeling in de atomen: de periodieke tabel van Mendeljev

Wie een beetje scheikunde heeft geleerd op school zal zich deze fameuze tabel zeker herinneren!

We spreken van een 'periodieke' tabel omdat ze is opgebouwd rond een bepaalde herhaling van de eigenschappen van de elementen. Dimitri Mendeljev voltooide zijn indeling van de 63 elementen die destijds bekend waren in 1863. De elementen, verdeeld over 8 kolommen naargelang hun toenemende atoommassa, hadden chemische, fysische en elektrische eigenschappen die kolom na kolom vergelijkbaar waren. De periodieke tabel van de elementen was geboren.

In de tabel van Mendeljev liet de atoommassa van bepaalde elementen echter niet toe om ze te klasseren bij elementen met vergelijkbare eigenschappen. In het begin van de 20ste eeuw bleek dat het atoomnummer de periodiciteit van de eigenschappen van de elementen nauwkeuriger bepaalde.

De atoommassa wordt berekend op basis van de massa van de kern die protonen en neutronen bevat. Die hebben elk een massa van 1 atomeenheid (10⁻²⁴ g). De massa van de elektronen is zo klein dat ze als verwaarloosbaar wordt beschouwd: bij de berekening van de atoommassa wordt ze niet in aanmerking genomen.

Het atoomnummer duidt het aantal protonen aan van een bepaald atoom. Het eerste element, waterstof, bijvoorbeeld bevat één proton, koolstof 6, silicium 14, koper 29 ... Een atoom is neutraal als het even veel protonen als elektronen bevat. Het atoomnummer duidt dus het aantal elektronen aan dat rond de kern beweegt.

De huidige periodieke tabel bevat meer dan 100 elementen, waarvan 92 natuurlijke (de overige worden kunstmatig geproduceerd door een kernreactie). De elementen zijn als volgt georganiseerd:

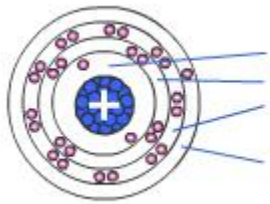
- De kolommen bevatten de elementen met hetzelfde aantal elektronen in de buitenste laag (de valentia laag) en
- De rijen bevatten de elementen naargelang het aantal elektronenlagen.

Toegestane en verboden energiebanden

Om het verschil tussen een isolerend en een geleidend materiaal goed te begrijpen keren we even terug naar de kwantummechanica. Bij het atoommodel van Bohr en vervolgens dat van Schrödinger hebben we gezien dat de elektronen zich binnen een atoom enkel kunnen verplaatsen op bepaalde energieniveaus.

De elektronen die rond de kern draaien, zijn in verschillende lagen verdeeld volgens bepaalde regels (*). Als de atomen samen een materiaal vormen, beïnvloeden ze elkaar. Men spreekt dan niet meer van energilagen maar van energiebanden die gelden voor het hele materiaal.

(*) In een atoom zitten de elektronen op lagen met een bepaald energieniveau. Deze lagen zijn vanaf de kern aangeduid door het hoofdkwantumgetal (n):



Het maximaantal elektronen dat mogelijk is voor laag n is $2n^2$:

- **1e laag K** (dicht bij de kern) : $n = 1$, dus maximaal 2 elektronen
- **2e laag L** : $n = 2$, maximaal 8 elektronen
- **3e laag M** : $n = 3$, maximaal 18 elektronen ...

De laatste bezette laag is de **valentia laag**. Deze laatste laag kan slechts **8 elektronen** bevatten. Het zijn zij die bijdragen tot de bindingen tussen atomen.

Opmerkingen:

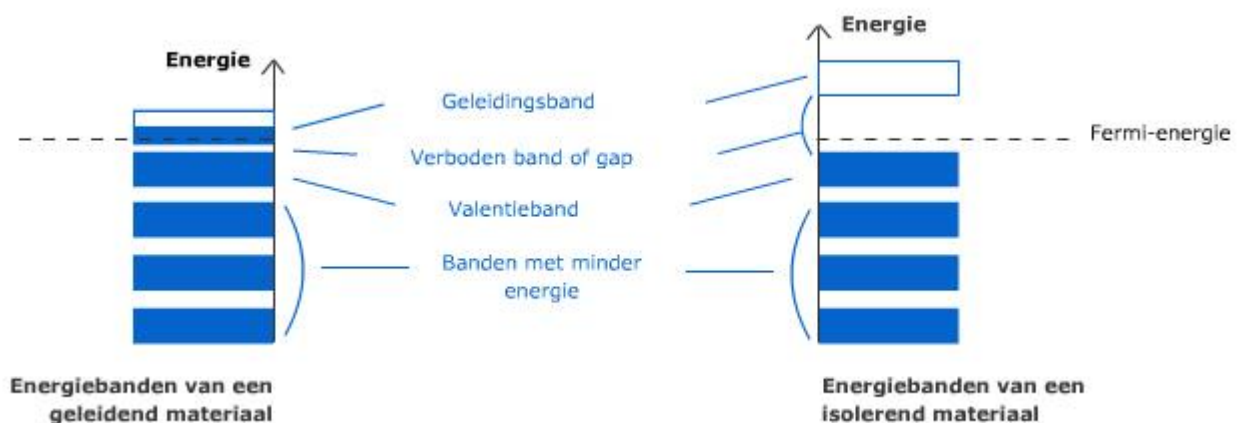
De elektronen worden in de verschillende lagen en sublagen verdeeld volgens de hierna volgende regels:

- Het uitsluitingsprincipe van Pauli: twee elektronen met dezelfde kwantumstaat mogen zich niet in dezelfde orbitaal bevinden.
- Het principe van de toenemende energie ("aufbau"): de orbitalen met de zwakste energie moeten eerst worden gevuld.
- De regel van Klechkowsky
- De wet van Hund.

Deze regels bepalen de plaats van de elektronen in de atoomorbitalen (in de fundamentele toestand). De courante energie-eenheid is de elektronvolt (eV), de energie die wordt opgenomen door een elektron dat een potentiaalverschil van 1 V heeft ondergaan: $1 \text{ eV} = 1 \text{ Volt} \times 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$

Voorbeeld van een geleidend materiaal: koperdraad

Wanneer een batterij is verbonden met de uiteinden van de koperdraad, krijgen de randelektronen energie. Ze verplaatsen zich in de geleidingsband en dragen zo bij tot de geleiding van de stroom. Dat is mogelijk omdat de nodige energie niet zo belangrijk is (het energieniveau van Fermi zit in de geleidingsband), maar ook omdat de laatste band slechts één elektron bevat in het koperatoom. Er is dus nog ruimte voor nieuwe elektronen (*).

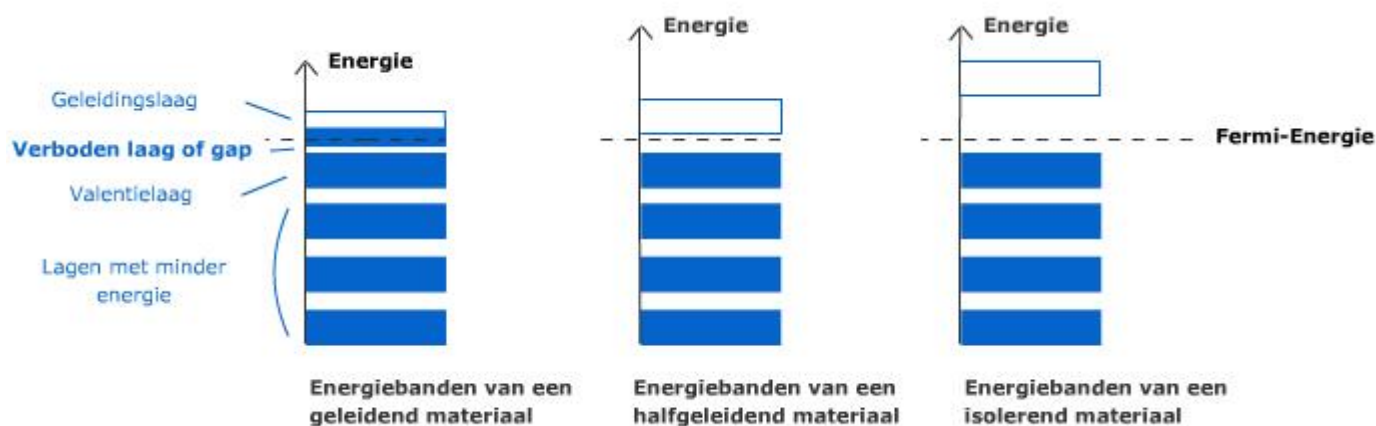


Voorbeeld van een isolerend materiaal

In een isolerend materiaal zijn de valentiebanden volledig. De elektronen zijn sterk betrokken bij de verbindingen tussen de atomen en de geleidingsbanden zijn leeg. Bovendien is de verboden band erg breed. Een isolerend materiaal kan de stroom enkel geleiden als het een grote hoeveelheid energie krijgt, bijvoorbeeld door het te verhitten. In de praktijk zijn de nodige temperaturen zo hoog dat het isolerend materiaal zou smelten voordat het de stroom zou kunnen geleiden.

De halfgeleidende materialen

Halfgeleidende materialen hebben eigenschappen die het midden houden tussen geleidend en isolerend.



Germanium und Silicium sind Beispiele für halbleitende Materialien. Ihre Valenzband ist nicht vollständig, es enthält 4 Elektronen und ihre verbotene Zone ist sehr klein. Das bedeutet, dass die Energie, um von der Valenzband zur Leitungsband zu gehen, nicht sehr groß ist. Die Elektronen können die notwendige Energie erwerben. Dank der aufgenommenen Energie brechen die Elektronen von der Valenzband die kovalente Bindungen und gehen zur Leitungsband. Einmal in der Leitungsband verhalten sie sich wie die freien Elektronen von Metallen: in Anwesenheit eines Potentialunterschieds tragen sie zur Stromleitung bei. Die Energie kann durch eine Temperaturerhöhung, Lichtphotonen ... Diese spielen eine Rolle in photovoltaischen Paneelen und ermöglichen die Produktion von Gleichstrom. Darauf werden wir später noch zurückkommen.

Hoe produceren we een gelijkspanning?

De elektrochemische generatoren

Zij behouden ein Potentialunterschied dank der chemischen Reaktionen, die gleichzeitig an der Anode und der Kathode stattfinden. Was die elektrochemischen Generatoren betrifft, haben wir das bereits über Batterien gesehen. Diese bieten jedoch den Nachteil, dass die Reaktionsstoffe nur in begrenzter Menge vorhanden sind. Sobald sie verbraucht sind, ist die Batterie nicht mehr nutzbar.

Auch Akkus (oder aufladbare "Batterien") sind elektrochemische Generatoren. Sie vermeiden den Nachteil der Batterien. Die chemische Reaktion, die die Produktion von Elektronen ermöglicht, kann umgekehrt werden; die Elektronen bewegen sich in die andere Richtung und der Akku wird geladen.

De fotovoltaïsche generatoren

Zij benutten de halfgeleidende eigenschappen van de materialen waaruit ze zijn samengesteld. De fotovoltaïsche zonnecellen zijn halfgeleiders die de lichtenergie onmiddellijk kunnen omzetten in elektrische stroom. Wanneer fotonen, d.w.z. lichtkorrels, in aanraking komen met een halfgeleidend materiaal kan de energie die zij aanvoeren ervoor zorgen dat de elektronen van de valentieband naar de geleidingsband gaan en dus de geleidbaarheid van het materiaal verhogen.

Halfgeleidende materialen zoals silicium hebben niet meteen de eigenschap dat ze elektrische stroom genereren. Ze moeten daarvoor immers onzuiverheden bevatten: men zegt dan dat ze gedopeerd zijn. Dat betekent dat ze elementen bevatten zoals fosfor die een globaal negatieve lading creëren (N gedopeerd) en andere zoals boor die een globaal positieve lading creëren (P gedopeerd).

Als de ene kant van de cel P gedopeerd is en de andere kant N gedopeerd veroorzaken de recombinaties van de vrije ladingen (elektronen en gaten) een intrinsiek potentiaalverschil. De elektronen, die terwijl ze de energie van de fotonen ontvingen naar de geleidingsband zijn gegaan, worden van de cellen N aangedreven naar de cellen P. Hieruit ontstaat een elektrische gelijkstroom die kan worden gebruikt door elektrische apparaten (na doorgang in een ondulator die gelijkstroom omzet in wisselstroom).

De dynamo

Dat is een machine die gelijkstroom produceert op basis van beweging. Ze werd eind 19de eeuw uitgevonden door Zénobe Gramme. Ondanks de schijnbare gelijkenis mag deze dynamo niet worden verward met de dynamo die soms op fietsen wordt geïnstalleerd. Die levert immers wisselstroom.

Wat is een joule?

Een joule is de energie die nodig is om een boek van 102 gram één meter op te tillen op onze goede oude aarde

(*). Het is ook de energie die nodig is om de temperatuur van één gram water met één graad Celsius te verhogen.

() Voor de nieuwsgierigen onder ons ... vanwaar dat boek van 102 g?*

De potentiële energie (E) die nodig is om het boek op te tillen wordt berekend volgens de formule:

$$E = m \cdot g \cdot h$$

waarin

- m de massa van het boek in kg is, onze onbekende
- g de versnelling van de zwaartekracht in m/s² die op onze aarde 9,81 m/s² bedraagt,
- h de hoogte in meter waarop het boek wordt getild,

$$m = E / g \cdot h = 1 / 9,81 \cdot 1 = 102 \text{ g} \dots \text{Quod erat demonstrandum ;-)}$$

Kortom, een joule is erg klein!

Energie neemt afhankelijk van het domein zo verschillende waarden aan dat de eenheid werd aangepast en we niet altijd beseffen dat we het over hetzelfde hebben. Bijvoorbeeld:

- In de voeding spreken we van calorieën of kilocalorieën (1 kcal = 4186 joule = 4,186 kJ). Per dag hebben we gemiddeld 2000 tot 2500 kcal nodig (8,4 tot 10,5 miljoen joule of megajoule, MJ). Het energieverbruik van een persoon met gemiddelde lichaamsbouw tijdens een halfuurtje rustig joggen

bedraagt ongeveer 350 kcal (of ongeveer 1400 kJ).

- Met betrekking tot olie spreken we van ton olie-equivalent (1 tep = 42 miljard joule of gigajoule, GJ). Als u 50 liter per week tankt, gebruikt u ongeveer 7 liter per dag, d.w.z. 7 kep (ongeveer 250 MJ). De energie in 1 l benzine is ongeveer gelijk aan die van 1 l stookolie
- Met betrekking tot elektriciteit spreken we van kilowattuur (vermogen * tijd) (of kWh = 3,6 MJ). In België verbruikt een gezin van 4 personen gemiddeld 3500 kWh. Per dag verbruikt dit gezin 10 kWh (equivalent van 7 lampjes van 60 W die permanent branden), d.w.z. ongeveer 3,6 MJ elektrische energie.

De energie in 1 l benzine of stookolie is ongeveer gelijk aan 10 kWh.

Samengevat, in hoeveelheid energie ...

1l benzine = 1 kep = 35 MJ = 8000 kcal (8 Mcal) = 10 kW h

Reactiestoffen van batterijen en accu's van courant gebruik, en enkele eigenschappen

	Salinebatterij	Alkalibatterij	Ni-Cd-accu	Ni-MH-accu	Li-ion-accu
Reactiefstof aan de kathode	Mangaan-dioxide	Mangaan-dioxide	Nikkeloxi-hydroxide	Nikkeloxi-hydroxide	Lithiumoxide
Reactiefstof aan de anode	Zink	Zink	Cadmium	Nikkellegering	Grafietskoolstof
Elektrolyt	Ammonium-chloride	Kalium-hydroxide	Kalium-hydroxide	Kalium-hydroxide	Lithiumzout (LIPF6...)
Nominale spanning per cel	1,5 V	1,5 V	1,25 V	1,25 V	3,6 V
Voordelen/nadele n			Lange levenscyclus, goedkoop/lage energiedensiteit, giftige metalen	Hoge energiedensiteit, geen giftige metalen/beperkte levenscyclus	Zeer hoge energiedensiteit/duur, gebruiksveiligheid ?!
Voorbeelden van gebruik	Speelgoed , ...	Radio, speelgoed, ...	Camera, draagbare medische apparaten, ..	gsm, laptop, camera, ...	gsm, laptop, elektrische voertuigen, ...



Op de markt zijn heel wat soorten batterijen en accu's verkrijgbaar die elk hun eigenschappen hebben. Niet alle batterijen of accu's zijn in elke situatie geschikt. Daarom moet men hun belangrijkste eigenschappen kennen voordat men het juiste materieel kiest.

Opmerking : het geheugeneffect

Als een Ni-Cd-accu (en in mindere mate een Ni-MH-batterij) regelmatig wordt opgeladen als ze niet volledig ontladen is, bewaart ze de tussentijdse herlaaddrempel “in het geheugen”. Dat impliceert dat ze zich enkel zal ontladen tot aan deze drempel en geen extra energie zal leveren (onder de “in het geheugen opgeslagen drempel”) terwijl er toch nog energie beschikbaar is. Dit geheugeneffect doet de autonomie van het gevoede apparaat aanzienlijk dalen.

De Ni-Cd-accu's moeten dus helemaal leeg zijn voordat ze opnieuw worden geladen