

OVER BEWEGEN

1 WAT JE VOORAF OVER BEWEGEN MOET WETEN

1 Rust en beweging

Een persoon die in een zetel zit is in rust t.o.v. het huis. Staat de zetel echter in een trein dan is de persoon in beweging t.o.v. het station, maar in rust t.o.v. de trein. Rust en beweging zijn relatieve begrippen. Je moet ze altijd beschouwen t.o.v. een ander lichaam.

De kinematica, dit is het onderdeel van de mechanica dat we nu bestuderen, is de studie van de bewegingsleer t.o.v. de aarde. We beschouwen de aarde als een vast referentiepunt en alle bewegingen worden t.o.v. dit vast referentiepunt gemeten.

2 Baan en afgelegde weg

De baan is de verzameling van opeenvolgende standen door een voorwerp ingenomen. Een baan kan rechtlijnig zijn of kromlijnig.

De afgelegde weg is de afstand langs de baan tot een welbepaalde vast punt. Men noteert de afgelegde weg met als symbool x in meter (m)

$$dx = x_2 - x_1 \text{ of } dx = x - x_0$$

3 Tijdsverloop

Het is de tijd nodig om de afgelegde weg te doorlopen. Tijdsduur wordt uitgedrukt in seconde (s) met t als symbool.

$$dt = t - t_0$$

4 Star lichaam

Om juist te meten moet men de afmetingen van het voorwerp of lichaam verwaarlozen, maar met behoud van massa. Dit noemt men een star lichaam. bv. de aarde in beweging t.o.v. de zon kan je als de beweging van twee punten beschouwen.

5 Basisbewegingen

Onderzoeken we de beweging van een lichaam, dan stellen we vast dat er twee basisbewegingen zijn:

TRANSLATIE: het lichaam verplaatst zich evenwijdig met zichzelf

ROTATIE: het lichaam verplaatst zich rond een punt of rond een omwentelingsas

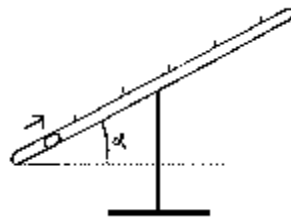
2 EENPARIG RECHTLIJNIGE BEWEGINGEN

1 Voorbeeld, proef en besluiten

Met de fiets moeten we 5 km afleggen. We starten aan kilometerpaal 1 en na 2 minuten bereiken we kilometerpaal 2. Na weer 2 minuten bereiken we kilometerpaal 3. Weer 2 minuten later staan we aan kilometerpaal 4. We kunnen hieruit vaststellen dat we een eenparige beweging uitvoeren: om de twee minuten wordt eenzelfde afstand afgelegd.

LABOPROEF

Om de eenparig rechtlijnige beweging te bestuderen voeren we in het labo de volgende proef uit. We nemen een glazen buis, gevuld met propaantriool, die we in een schuine stand plaatsen. We meten daarbij om de 10 cm de tijd die een luchtbel nodig heeft om die afstand af te leggen.



Uit de interpretatie van de tabel kunnen we hieruit besluiten dat de afgelegde weg evenredig is met de tijd:

$$dx \sim dt \quad \text{of} \quad dx/dt = \text{constante}$$

Dit is kenmerkend voor een eenparige beweging.

2 De eenparig rechtlijnige beweging (e.r.b.) in formulevorm

Uit de proef en het voorbeeld stellen we vast:

'een beweging is eenparig als in gelijke tijdsintervallen, hoe klein ook genomen, gelijke wegen worden afgelegd'

Merk op dat zo'n beweging in feite niet echt bestaat! Er zal immers altijd een kleine afwijking zijn.

Die constante uit de proef noemen we de snelheid van de beweging, als symbool gebruiken we v met eenheden m/s.

$$v = \frac{dx}{dt}$$

Snelheid wordt ook nog uitgedrukt in km/h en deze eenheid uit de praktijk zal je waarschijnlijk beter kennen. Het is nodig dat je km/h in m/s kunt omzetten en omgekeerd.

$$1 \text{ km/h} = 1000/3600 \text{ m/s}$$

$$\text{Bvb. } 36 \text{ km/h} = 36 \times 10/36 = 10 \text{ m/s}$$

$$20 \text{ m/s} = 20 \times 36/10 = 72 \text{ km/h}$$

3 Opgaven

Zet om in de andere eenheid van snelheid.

100 km/h; 25 km/h; 25 m/s; 100 m/s.

4 Afgeleide formules

Uit de formule $v = dx/dt$ halen we

$$dx = v \cdot dt$$

$$x - x_0 = v \cdot (t - t_0)$$

$$x = x_0 + v \cdot (t - t_0)$$

Is $t_0 = 0$ dan is $x = x_0 + v \cdot t$

Is ook $x_0 = 0$ dan is $x = v \cdot t$

5 Het x(t)-diagram

Het x(t)-diagram geeft een rechte door de oorsprong van de vorm $y = a \cdot x$ als t_0 en x_0 beiden gelijk aan nul zijn. De rechte is van de vorm $y = b + a \cdot x$ als ze niet gelijk nul zijn.

Kennen we de snelheid van het voorwerp dan kunnen we het x(t)-diagram tekenen.

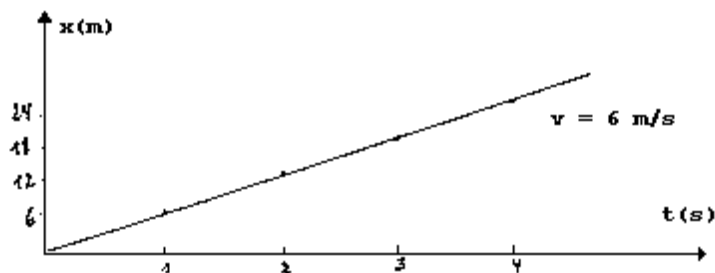
bv. $v = 6 \text{ m/s}$. Dit betekent dat na

$$1\text{s} \quad 6\text{m}$$

$$2\text{s} \quad 12\text{m}$$

$$3\text{s} \quad 18\text{m}$$

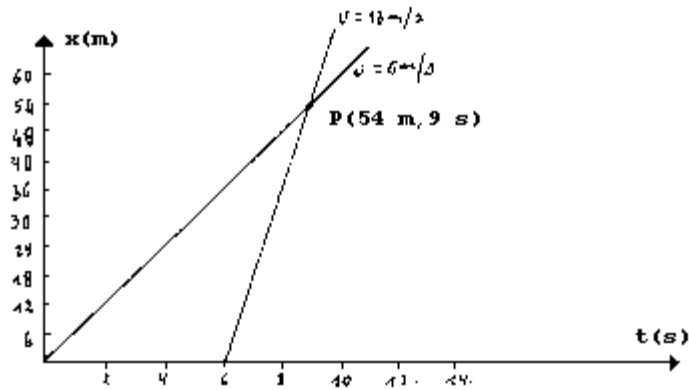
. .



6 Uitgewerkte voorbeelden

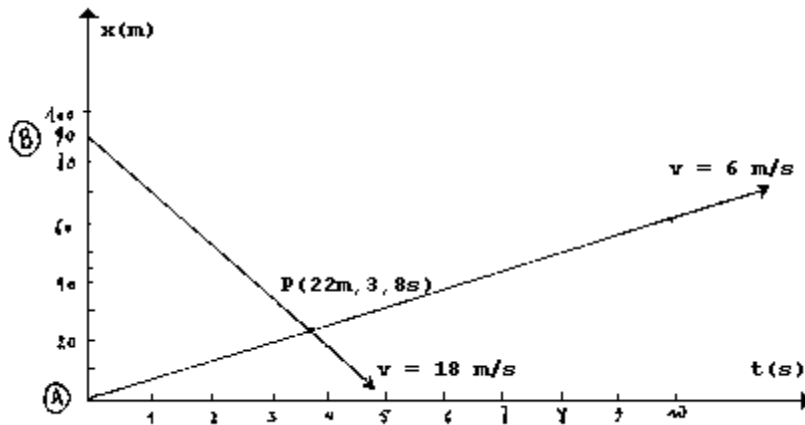
Voorbeeld 1

Een fietser vertrekt uit A aan 6 m/s. Zes seconden later vertrekt uit A een motorfiets aan 18 m/s. Waar en wanneer haalt de motorfiets de fietser in?



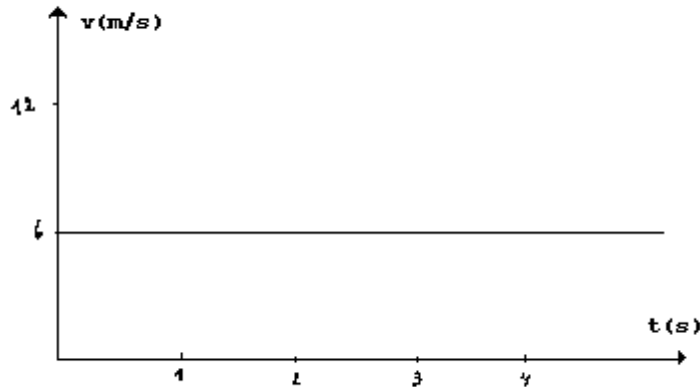
Voorbeeld 2

Een fietser vertrekt uit A aan 6 m/s. Op hetzelfde ogenblik vertrekt een motorfiets uit B op 90 m van A gelegen aan 18 m/s. Waar en wanneer ontmoeten ze elkaar?



7 Het $v(t)$ -diagram

Dit diagram levert een rechte die evenwijdig is met de t-as



8 Opgaven

1 Twee auto's moeten elk 200 km afleggen. De eerste rijdt steeds 100 km/h. De tweede legt 100 km af met een snelheid van 80 km/h. De laatste 100 km rijdt hij 120 km/h. Hoe lang zijn beiden onderweg en wie komt eerst aan?

2 Als het licht van de ster Sirius 8,76 jaar nodig heeft om de aarde te bereiken met de lichtsnelheid van $3,0 \cdot 10^5$ km/s, hoeveel bedraagt dan de afstand van Sirius tot de aarde in km?

3 De voortbewegingssnelheid van het geluid is 340 m/s. Men hoort de donder 5,0 s nadat men de bliksem zag. Hoever is de onweerswolk van de waarnemer verwijderd?

4 Een camera, met een belichtingstijd van $1/25$ s neemt een foto van een kogel, die met een snelheid van 120 m/s beweegt. Hoe lang is de afgelegde weg, die op de foto in beeld gebracht is? Welke belichtingstijd moet men nemen, opdat de kogel slechts over 10 cm zou bewegen gedurende de opname?

5 De voortbewegingssnelheid van radiogolven bedraagt $3,0 \cdot 10^5$ km/s. De radar van een schip registreert een tijdsverloop van $30,0 \mu\text{s}$ tussen het moment van de uitzending van een golf en het ogenblik van de ontvangst van de op een ander vaartuig teruggekaatste golf. Op welke afstand bevinden de schepen zich van elkaar?

6 Een auto vertrekt om 8,0 h uit Brussel naar Oostende (afstand 124 km) en rijdt met een gemiddelde snelheid van 60,0 km/h. Om 8 h 15 min rijdt een tweede auto hem uit Brussel achterna, met een snelheid van 80 km/h. Waar en wanneer haalt de tweede de eerste in? Wanneer komen ze in Oostende aan? Teken een $x(t)$ -diagram op millimeterpapier.

7 Twee auto's moeten beide 150 km afleggen. De eerste rijdt eenparig 60 km/h. De tweede vertrekt op hetzelfde ogenblik, rijdt 75 km/h doch stopt 20 min, wanneer hij een halfuur onderweg is. Waar en wanneer ontmoeten ze elkaar? Maak een $x(t)$ -diagram.

8 Twee vliegtuigen vliegen naar mekaar toe. Het ene vertrekt uit Rome aan 400 km/h. Het andere vertrekt een uur later uit Londen aan 800 km/h. Construeer een $x(t)$ -diagram en bepaal hieruit hun ontmoetingspunt als de afstand Rome Londen 3000 km bedraagt.

3 VERANDERLIJKE BEWEGINGEN

1 Gemiddelde en ogenblikkelijke snelheid

Eenparige bewegingen zijn zeer moeilijk te realiseren. In de praktijk hebben we steeds met veranderlijke bewegingen te doen.

We voeren twee nieuwe begrippen in om de veranderlijke beweging te kunnen bestuderen:

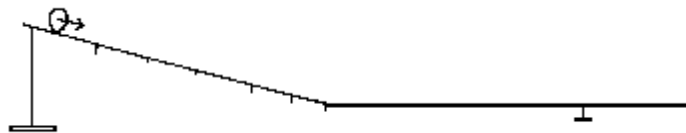
- de gemiddelde snelheid

bv. als we in 2,0 h 120 km afleggen dan is $v(g) = 60 \text{ km/h}$

- de ogenblikkelijke snelheid is de snelheid op een bepaald ogenblik bv. je wordt 'geflitst' op de autoweg als je 145 km/h reed.

LABOPROEF

Uit de proef met de valgeul en de proef met het repenapparaat in het lab, kunnen we volgende besluiten trekken uit de metingen.



$dx \sim dt^2$ of $dx/dt^2 = \text{constante}$

$2 \cdot dx/dt^2 = dv/dt = \text{constante}$

Die constante noemen we de versnelling en als symbool gebruiken we a met m/s^2 als eenheden

$$dx = 1/2 \cdot a \cdot (dt)^2$$

$$dv = a \cdot dt$$

Hieruit $x = x_0 + 1/2 \cdot a \cdot (t - t_0)^2$

en $v = v_0 + a \cdot (t - t_0)$

Wens ik nu v gemiddeld te kennen dan is

$$v(g) = \frac{v_0 + v}{2}$$

of $v(g) = v_0 + 1/2 \cdot a \cdot (t - t_0)$

$$\text{en } x = v_0 \cdot (t - t_0) + 1/2 \cdot a \cdot (t - t_0)^2$$

We kunnen deze formules gemakkelijker onthouden als we $t_0 = 0$ stellen. Een tweede vereenvoudiging bestaat erin $v_0 = 0$ te stellen, dit kan als de beginsnelheid gelijk aan nul is.

Met deze formules kan je weer een $v(t)$ -diagram tekenen, dit zal een rechte al of niet door de oorsprong geven.

Je kunt ook een $x(t^2)$ -diagram tekenen, dat zal hetzelfde resultaat geven. Teken je echter een $x(t)$ -diagram dan krijg je een parabool van de vorm $y = a \cdot x^2$

2 Voorbeeld

Hoe ver is een fietser die vanuit stilstand vertrekt na 10s als hij een versnelling van 2 m/s^2 heeft?

$$x = 1/2 \cdot 2 \cdot 10^2 = 100 \text{ m}$$

Hoe groot is dan zijn snelheid?

$$v = 2 \cdot 10 = 20 \text{ m/s}$$

3 Hoe voel je versnelling?

Wanneer je in een trein zit, die met een constante snelheid rijdt, voel je geen enkele kracht.

Wanneer de trein versnelt word je tegen de leuning gedrukt; bij plotse vertraging (negatieve versnelling) wordt je naar voor geslingerd.

Gewoonlijk is de versnelling niet zo groot: we zijn allemaal min of meer gewoon aan de versnelling van trein, auto, vliegtuig...

In pretparken staan er echter toestellen die bedoeld zijn om gedurende een zeer korte tijd een tamelijk hoge versnelling te bereiken: je voelt dan een hoge sensationele kracht.

Bij militaire luchtvaart of ruimtevaart zijn de versnellingen en dus de krachten, waaraan de piloten onderworpen zijn, soms zeer hoog gedurende langere tijd. Denk maar aan de gecatapulteerde start van een ruimtevaartuig, scherpe bochten van straaljagers, loopings enz. Een deel van de opleiding van deze piloten bestaat er dan ook in om de mensen gewoon te maken aan deze zeer hoge snelheidsveranderingen.

Dat dit geen onnodige bezigheid is, bewijst de volgende tabel, die de reacties van het lichaam bij versnellingen in een straaljager beschrijft. De versnellingen houden gedurende 5 tot 60 seconden aan.

Tabel

+ 50	Bewustzijnsverlies, black-out. De grijze sluier voor de ogen wordt dikker om te eindigen met volkomen duisternis. Het gezichtsverlies begint bij de omtrek van het gezichtsveld en schrijdt voort naar het midden. De proefpersoon ziet niets meer, maar kan nog horen en spreken.
+ 40	De proefpersoon ondervindt moeilijkheden met de ademhaling wegens de

	verplaatsing van het middenrif naar achteren. Het wordt onmogelijk om armen en benen op te heffen. Een gevoel van zwaarte en doordringende pijn ontstaat in de benen, speciaal in de kuiten.
+ 30	De onderkaak, evenals de spieren en de zachte gedeelten van het gezicht worden ingedrukt. De gelaatstreken worden uitgerekt en krijgen een seniel uiterlijk. De romp wordt gebogen. De ledematen kunnen slechts met toenemende moeite opgelicht worden. Het hoofd en de ledematen worden zwaarder.
+ 20	De proefpersoon heeft het gevoel tegen zijn stoel gedrukt te worden.
+ 10	Horizontale vlucht met constante snelheid. Normale zwaartekracht omstandigheden, evenals op aarde in een toestand van rust.
0	Gewichtloosheid, zwaartekracht nul. Een schijnbaar verlies van gewicht voor de proefpersoon en voor alle voorwerpen. De voorwerpen die men niet vastgemaakt heeft, zweven door de cabine. De spieren van het lichaam ontspannen zich.
- 10	De piloot heeft het gevoel dat hij van zijn stoel gelicht wordt. Het gelaat wordt rood en opgeblazen door de toevloed van bloed. Het hoofd krijgt een bloedaandrang en wordt zeer zwaar (alsof men met het hoofd naar beneden hangt), de schouders trekken sterk aan de riemen. Men krijgt hevige en stekende pijnen in het hoofd.
- 20	Gewichtloosheid, zwaartekracht nul. Een schijnbaar verlies van gewicht voor de proefpersoon en voor alle voorwerpen. De voorwerpen die men niet vastgemaakt heeft, zweven door de cabine. De spieren van het lichaam ontspannen zich.
- 30	De stekende pijnen in het hoofd worden onverdraaglijk. De proefpersoon wordt geestelijk verward. Verlies van bewustzijn.

4 Opgaven

- 1 Een voorwerp krijgt een eenparig versnelde beweging zonder beginsnelheid. De versnelling bedraagt $5,0 \text{ m/s}^2$. Hoe groot is de snelheid na $8,0 \text{ s}$? Welke weglengte heeft het in die tijd afgelegd?
- 2 Bij een eenparig versnelde beweging zonder beginsnelheid is de snelheid na 10 s 24 m/s . Bereken de versnelling.
- 3 Twee lichamen komen elkaar tegemoet met een eenparig versnelde beweging. De versnellingen zijn $2,0 \text{ m/s}^2$ en $3,0 \text{ m/s}^2$. Beide lichamen hebben geen beginsnelheid. Als ze elkaar na $5,0 \text{ s}$ ontmoeten, hoever waren ze dan in de beginstand van elkaar verwijderd?
- 4 Een racewagen vertrekt en bereikt na $3,0 \text{ km}$ een snelheid van 450 km/h . Bereken de versnelling en de tijd om deze afstand af te leggen.
- 5 Een lichaam rolt een helling af met een versnelling van $1,0 \text{ m/s}^2$ en bereikt na $10,0 \text{ s}$ de voet van de helling. Hoe groot is de snelheid na $10,0 \text{ s}$? Het lichaam rolt een tegenoverliggende helling op en komt na $5,0 \text{ s}$ tot rust. Zoek de versnelling en de afgelegde weg op de tweede helling.
- 6 Een lichaam beweegt eenparig vertraagd. Na $5,0 \text{ s}$ komt het in rust. Gedurende deze tijd legde het 120 m weg af. Bereken de beginsnelheid en de vertraging.
- 7 Een locomotief rijdt met een snelheid van 54 km/h . Men brengt de locomotief door remmen tot stilstand. Terwijl men remt, beweegt zij eenparig vertraagd met een vertraging van $0,50 \text{ m/s}^2$. Hoeveel seconden nadat het remmen begon, zal de locomotief tot stilstand komen? Hoe lang is de remafstand?
- 8 Twee lichamen vertrekken op hetzelfde ogenblik langs dezelfde lijn uit een punt A, het ene eenparig vertraagd met een vertraging van $0,40 \text{ m/s}^2$ en een beginsnelheid van 20 m/s ; het andere eenparig versneld zonder beginsnelheid met een versnelling van $3,6 \text{ m/s}^2$. Waar en wanneer heeft het tweede lichaam het eerste ingehaald?
- 9 Een auto met goede remmen, doch slechte banden, kan hoogstens een versnelling (of vertraging) van $1,96 \text{ m/s}^2$ bereiken zonder te slippen. De wagen rijdt 70 km/h als plots een hindernis opduikt. Hoe groot is de minimale remafstand als men ook $2,0 \text{ s}$ reflextijd voor de chauffeur meerekent.

4 Interessant om weten

Remmen bij nat wegdek is gevaarlijk. De remweg wordt groter. De politie maakt gebruik van de volgende formule om de snelheid van het voertuig te berekenen.

$$x = \frac{v^2}{150}$$

Hierbij is x de remweg in meter en v de snelheid in km/h (!!!) Zij meten na een ongeval de lengte van het remspoor, goed te zien door de rubberdeeltjes die op het wegdek kleven. Het is dan duidelijk dat zij uit de bovenstaande formule de snelheid in km/h kunnen halen.

Bovenstaande formule is te halen uit:

$$v = v_0 - a \cdot t \text{ met } v = 0$$

$$x = v_0 \cdot t - a \cdot t^2 / 2$$

Na substitutie vinden we

$$x = \frac{v_0^2}{2a}$$

Je ziet dat hierin v_0 de oorspronkelijke snelheid is. Na wat rekenwerk bekom je bv. voor $a = 6 \text{ m/s}^2$ naargelang het type auto. Het is duidelijk dat hier ook rekening gehouden is met de reflex tijd.

vb. meten we een remweg van 21 m dan is $v = 56 \text{ km/h}$.

4 DE VALBEWEGING

1 Proeven

- 1 We laten een geldstuk en een blad papier ter zelfde tijd vallen. Het papier komt later op de grond. Het heeft meer luchtweerstand.
- 2 We laten twee identieke luciferdoosjes t.z.t. vallen, het ene is gevuld, het andere is leeg en ze komen samen beneden, want de luchtweerstand is dezelfde.
- 3 We laten een pluim en een geldstuk in het luchtledige vallen. Ze komen tezamen neer. Het onderzoek van de valbeweging zou dus in het luchtledige moeten gebeuren, want daar is geen luchtweerstand.
- 4 LABPROEF met de valmachine van Atwood. We meten de tijd die een kleine massa nodig heeft om telkens 20 cm af te leggen



t	x	weg per seconde
1	$5 = 5 \cdot 1^2$	5 cm
2	$20 = 5 \cdot 2^2$	$20 - 5 = 15$ cm
3	$45 = 5 \cdot 3^2$	$45 - 20 = 25$ cm

We besluiten hieruit dat dx evenredig is met dt^2

2 Wetten van de valbeweging

1 In het luchtledige vallen alle lichamen even snel

2 De valbeweging is een eenparig veranderlijke beweging

3 De aardversnelling is constant nl. $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

4 De formules van de e.v.b. blijven geldig, alleen wordt $a = g$ genomen

$$\begin{aligned} dx &= (g \cdot dt^2) / 2 \\ dv &= g \cdot dt \end{aligned}$$

5 Op een zelfde plaats is g dezelfde en bij benadering is ook g voor het luchtledige gelijk aan $9,8 \text{ m/s}^2$.

Merk op dat g kleiner is aan evenaar en groter aan de polen, dit wordt later uitgelegd.

3 Afgeleide formules

Vermits de valbeweging een eenparig veranderlijke beweging is (e.v.b.) kan het een versnelling of een vertraging zijn.

Een versnelling geeft aanleiding tot 2 mogelijkheden

- een vrije val
- een verticale worp naar beneden

Een vertraging geeft

- een verticale worp naar boven

Stel zelf de formules op!!

4 De verticale worp naar boven

Bij een verticale worp naar boven heb je te maken hebben met een vertraagde beweging met v_0 als beginsnelheid. Als het voorwerp boven is dan is de eindsnelheid $v = 0$. Het lichaam valt dan terug in vrije val naar beneden. We kunnen bewijzen dat in dit geval de stijgtijd gelijk is aan de valtijd

Bij het stijgen is de eindsnelheid $v = 0$

of $v_0 = g \cdot t_{\max}$ waaruit $t_{\max} = v_0/g$

en $x = v_0^2 / 2 \cdot g$ de maximum hoogte

Bij het vallen is $t = (2h/g)^{1/2} = v_0/g$

5 Opgaven

- 1 Een flatgebouw heeft verdiepingen van 4,0 m hoog. Van welke verdieping moet een persoon vallen om met een snelheid van 80 km/h naar beneden te komen?
- 2 Een lichaam valt van een hoogte van 490 m. Hoeveel meter legt het in de laatste seconde meer af dan in de eerste seconde?
- 3 Men laat een kogel van op een hoogte van 125 m vallen. Twee seconden later werpt men van op dezelfde plaats een tweede kogel verticaal naar beneden. Als deze laatste 0.5 s na de eerste de grond bereikt, hoe groot was dan zijn beginsnelheid en met welke eindsnelheid komen beide kogels op de grond?
- 4 Bij een uitbarsting van de Vesuvius werden stenen tot ongeveer 2,0 km hoog geslingerd. Met welke snelheid kwamen ze uit de krater?
- 5 Op een plaats, 80 m boven de grond gelegen, wordt een lichaam verticaal naar boven geschoten met een beginsnelheid van 30 m/s Bereken de snelheid, waarmee het lichaam de grond bereikt en de grootste hoogte die bereikt wordt.

5 DE EENPARIG CIRKELVORMIGE BEWEGING

1 Definitie en formules

Een translatie geeft aanleiding tot een eenparig rechtlijnige beweging. Passen we dit principe toe op een rotatie dan bekomen we een eenparig cirkelvormige beweging: “als in gelijke tijden, hoe klein ook genomen, gelijke cirkelbogen worden afgelegd” dan spreekt men van een eenparig cirkelvormige beweging (e.c.b)

De (baan)snelheid is $v = dx/dt$ in m/s

De hoeksnelheid is $\omega = d\alpha/dt$ in rad/s

Uit de meetkunde halen we het verband tussen v en ω nl.

$v = \omega \cdot r$ met r de straal van de cirkel

Als we T (de periode) de tijd noemen van 1 omwenteling, dan is $\omega = 2\pi/T$

Uit een labproef in 6 TW vinden we de versnelling.

De versnelling $a = \frac{v^2}{r} = r \cdot \omega^2$

2 Voorbeeld

Bij een cirkel met straal 1 m is de snelheid 5 m/s. Hoeveel is de hoeksnelheid?

$\omega = v/r = 5/1 = 5 \text{ rad/s}$ en $1 \text{ rad} = 2\pi$ dus $\omega = 0,8 \text{ tr/s}$

In de praktijk wordt hoeksnelheid uitgedrukt in toeren per minuut, dan wordt het verband gegeven door $\omega = 2\pi \cdot n/60$ met n gelijk aan het aantal toeren per minuut ($n = \text{tr/min}$)

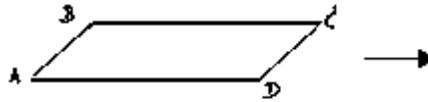
3 Opgaven

- 1 Bij een e.c.b is de straal 0,40 m en de hoeksnelheid $\omega = 7,6$ rad/s. Bereken de snelheid.
- 2 Een motor draait 2800 toeren per minuut. De straal is 22 cm. Bereken de snelheid in m/s en in km/h.
- 3 Bereken de hoeksnelheid van de grote wijzer en van de kleine wijzer van een uurwerk.

6 SAMENSTELLEN VAN TRANSLATIEBEWEGINGEN

1 Lichamen die meer dan één beweging ondervinden

Een man die zich op een varende boot verplaatst, komt altijd in hetzelfde punt terecht, of men nu eerst de beweging van de man en dan van het schip beschouwt of omgekeerd!!



Dit noemt men de onafhankelijkheidswet

Wanneer een lichaam t.z.t. onderworpen is aan twee bewegingen, dan is zijn stand na een bepaald tijdsverloop dezelfde als wanneer de twee bewegingen telkens gedurende een zelfde tijdsverloop na elkaar en onafhankelijk van elkaar zouden gebeuren. Merk op dat dit in feite de regel van het parallellogram is.

We bestuderen nu de mogelijkheden

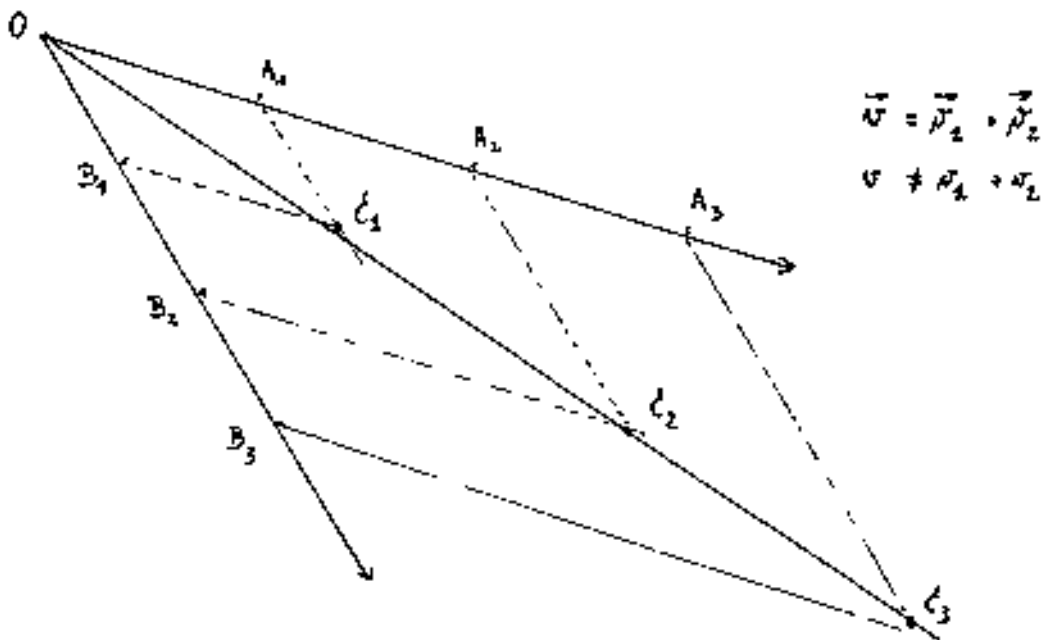
2 Samenstellen van 2 e.r.b. met verschillende richtingen

bv. $v_1 = 3 \text{ m/s}$ en $v_2 = 2 \text{ m/s}$

zoek de vectoriële en de numerieke som

$s_1 = 3 \text{ m}, 6 \text{ m}, 9 \text{ m}, \dots$

$s_2 = 2 \text{ m}, 4 \text{ m}, 6 \text{ m}, \dots$



Twee eenparig rechtlijnige bewegingen met verschillende richtingen geven een eenparig rechtlijnige beweging met als snelheid de vectoriële som van de twee gegeven snelheden.

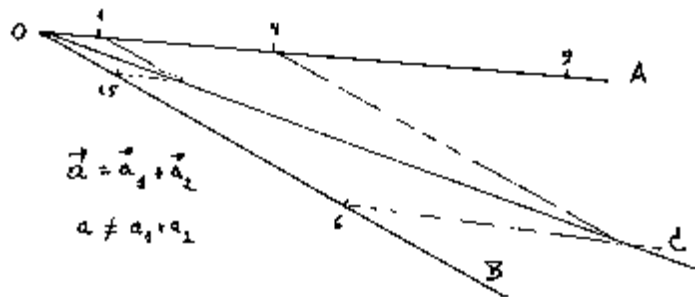
3 Samenstellen van 2 e.v.b. met verschillende richtingen

bv. $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$ en $a_2 = 3 \text{ m/s}^2$

zoek numerieke en vectoriële som

$s_1 = 1 \text{ m}, 4 \text{ m}, 9 \text{ m}, \dots$

$s_2 = 1,5 \text{ m}, 6 \text{ m}, 13,5 \text{ m}, \dots$

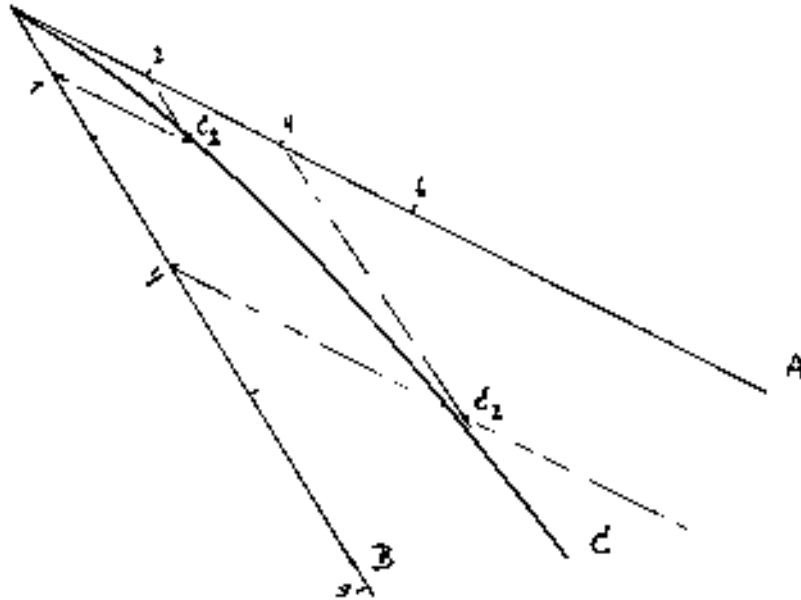


Bij het samenstellen van twee eenparig veranderlijke bewegingen met verschillende richtingen krijgt men een eenparig veranderlijke beweging met versnelling de vectoriële som van de gegeven versnellingen.

4 Samenstellen van e.r.b. en e.v.b. met verschillende richtingen

bv. $v = 2 \text{ m/s}$ en $a = 2 \text{ m/s}^2$

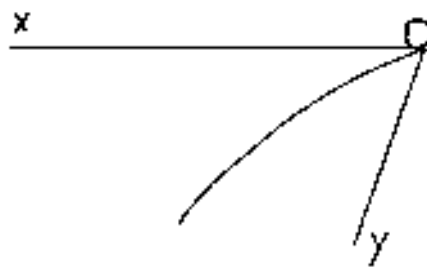
Zoek de resulterende kromme



De punten gevonden volgens de regel van het parallellogram leveren een parabool van de vorm $y = \text{constante} \cdot x^2$.

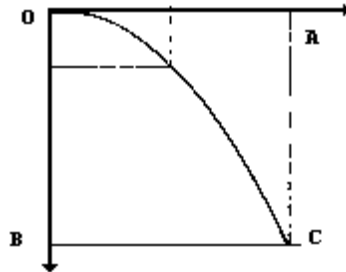
LABOPROEF

We laten een metalen bol van een helling afrollen en controleren dat we een parabool bekomen.



5 Horizontale worp

Het lichaam is t.z.t. onderworpen aan een e.r.b. en aan de vrije val. Uit de onafhankelijkheidswet volgt dat de valtijd voor de horizontale worp dezelfde is als voor de vrije val. De bewegingen zijn onafhankelijk.



$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot dt^2$$

$$x = v \cdot dt$$

bv. $h = 10 \text{ m}$ $v = 2 \text{ m/s}$ hieruit $t = 1,4 \text{ s}$ en $x = 2,8 \text{ m}$

Zie ook simulatie met de computer: programma "val"

6 De koffiekkan drupt

Morsen bij het schenken: het schijnt onoverkomelijk te zijn.

En dat alles is het gevolg van de 'horizontale worp'.

Immers, als het schenken gestopt wordt voordat de kan volledig leeg is, wordt de snelheid van de vloeistofdruppels plotseling afgeremd. De moleculen die op het punt stonden naar buiten te stromen vloeien terug, maar hun voorgangers slippen er nog net uit. Hun snelheid is echter fel verminderd. Daardoor vallen ze tussen wal en schip of lopen langs de rand van de tuit naar beneden. Knoeien is dus de boodschap.

Fabrikanten van koffiekannen en theepotten weten dat ook. En ze weten bovendien dat het te maken heeft met een cohesieprobleem. Onder aan de tuit wordt daarom een verdikking aangebracht, die er moet voor zorgen dat de druppel die niet meer naar buiten mag, terug in de pot getrokken wordt. Bij een glazen kan lukt dat veel beter dan bij een stenen kan omdat aardewerk minuscule oneffenheden vertoont. Elke oneffenheid kan er voor zorgen dat de druppel naar buiten getrokken wordt. Dat verklaart waarom de meeste koffie- of theekannen ondanks de verdikking toch nog lekken.

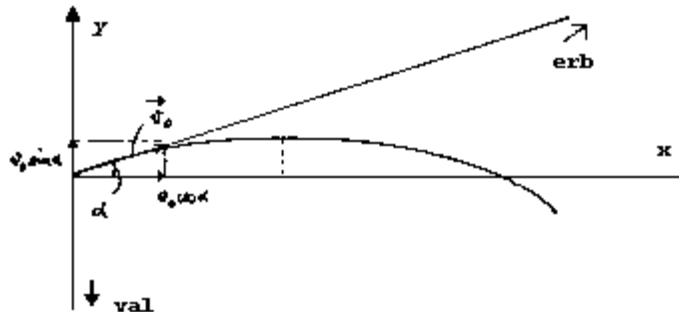
Het perfect glad maken van een schenktuit stuit immers op technische en economische bezwaren. Een goede koffiekkan of theepot zou op die manier verschillende duizenden franken gaan kosten.

Ook in het labo ondervindt men heel wat moeilijkheden bij uitgieten van reagentia.

Als er absoluut geen enkele druppel mag gemorst worden, moet je noodgedwongen een pipet gebruiken.

7 Schuine worp

Bij een schuine worp maken we een hoek met de horizontale, maar het lichaam blijft onderworpen aan de valbeweging.



horizontaal (x -richting)

$$v = v_0 \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$x = v_0 \cdot t \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

verticaal (y -richting)

$$v = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t \quad (3)$$

$$y = v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (4)$$

Uit (2) en (4) volgt een vgl. van een parabool

De grootste hoogte vinden we door de snelheid in de y-ri gelijk nul te stellen of (3) = 0

of $v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t = 0$, hieruit het tijdstip

$$t = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g} \quad (5)$$

brengen we (5) in (4) dan is

$$y = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{g} - \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g} \quad (*)$$

De dracht of maximum horizontale afstand vinden we door $y = 0$ te stellen dit is (4) = 0

of $v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 0$

$$t.(v_0.\sin \alpha - 1/2.g.t) = 0$$

$t = 0$ dit is het beginpunt

$$t = \frac{2.v_0.\sin \alpha}{g} \quad (6)$$

brengen we nu (6) in (2) dan

$$x = v_0.t.\cos \alpha = v_0.\cos \alpha \times \frac{2.v_0.\sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2.\sin 2\alpha}{g} \quad (**)$$

Merk op dat de dracht het grootst is voor $\sin 2\alpha = 1$, dit betekent dat de hoek $\alpha = 45^\circ$!!

8 Opgaven

1 Een vliegtuig vliegt met een snelheid van 390 km/h op een hoogte van 1000 m. Hoeveel meter voor het doel moeten de bommen gelost worden om het doel te treffen? (luchtweerstand is te verwaarlozen)

2 Een auto rijdt met een snelheid van 90 km/h op een horizontale weg door een landschap waarin zich een aardverschuiving voordoet. De weg loopt loodrecht op een pas ontstane kloof van 30,0 m breed. Aan de overzijde loopt de weg verder op een 4,0 m lager niveau. Valt de auto in de kloof of vliegt hij erover?

3 Een obus verlaat de loop van een kanon met een beginsnelheid van 490 m/s onder een hoek van 60° met de horizontale. Bereken de maximumhoogte, de draagwijdte en de tijd die de obus nodig heeft om het doel te treffen.

4 Een geweerkogel wordt afgevuurd met een snelheid van 500 m/s. Hoe groot moet de afschiethoek zijn als men op 5000 m een schijf wil raken die zich op dezelfde hoogte bevindt als de geweerloop?

5 De verticale snelheidscomponent van een schuin geworpen lichaam bedraagt 10,00 m/s, de horizontale component 17,30 m/s. Bereken hoelang het duurt alvorens het lichaam zijn hoogste stand bereikt. Hoever zal het lichaam vliegen alvorens het de grond bereikt?

7 BEWEGINGEN MET FASOREN

Uit de vorige hoofdstukken kennen we de begrippen afgelegde weg, snelheid en versnelling als scalaire (numerieke) grootheden. De begrippen afgelegde weg, snelheid en versnelling worden door een getal bepaald.

Uit de wiskunde kennen we ook het vectorbegrip. Een vector wordt bepaald door zijn aangrijpingspunt, zijn richting, zijn zin, en zijn grootte. Men kan nu ook de afgelegde weg, de snelheid en de versnelling als vectoren voorstellen.

Elk punt van de baan kan met een plaatsvector r worden beschreven. Om de snelheidsvector v in het punt A van de baan te tekenen trekken we in het punt de raaklijn in de richting van de snelheid.

$$v = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{ds}{dt} = \frac{dr}{dt}$$

Het uiteinde van de snelheidsvector beschrijft een kromme die de hodograaf van de beweging wordt genoemd. Om de versnelling vectorieel te kennen trekt men de raaklijn aan de hodograaf.

$$a = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dt}$$

De e.c.b is gemakkelijk met fasoren te beschrijven

OVER KRACHTEN

1 KRACHTEN KUNNEN VOORWERPEN VERVORMEN

1 Voorbeelden

Jullie weten al dat we van krachten alleen de uitwerking zien. Om het geheugen op te frissen herhalen we enkele begrippen.

Om een stuk stof door te knippen, deeg te kneden, een stuk hout te klieven, een fietsband in te duwen, een veer uit te rekken of een matras te doen doorzakken... moet je kracht uitoefenen.

Door die kracht vervorm je echter het voorwerp:

- het stuk stof wordt in twee gedeeld
- het deeg krijgt een andere vorm
- het hout is versplinterd
- de band is ingedrukt
- de veer wordt langer
- de matras past zich aan naar de vorm van het menselijk lichaam.

Soms is de vervorming van blijvende aard.

Kijk maar naar de voorbeelden: de plank, het stuk stof en het deeg zijn na de bewerking definitief veranderd. Zo'n blijvende vervorming noemen we ook plastische vervorming. Stoffen zoals plasticine, lood, was..... kunnen heel gemakkelijk plastisch vervormd worden.

In andere gevallen is de vervorming slechts tijdelijk. Zo weet je maar al te goed dat de veer van de body-builder na gebruik zijn oorspronkelijke vorm weer inneemt, de fietsband ziet er opnieuw identiek uit en het is net alsof de matras nooit beslapen werd. Een vervorming die verdwijnt zodra de vervormende kracht wegvalt noemen we een elastische vervorming. Andere voorbeelden van voorwerpen die elastisch kunnen vervormd worden, zijn sponsen, elastiekjes, spiraalveren, hedendaagse autobumpers enz.

Besluit

Uit dit alles kunnen we dus duidelijk zien dat krachten vervorming kunnen veroorzaken. We kunnen dit ook uitdrukken door te zeggen dat krachten een statische werking kunnen uitoefenen.

Schematisch

Een kracht kan een voorwerp vervormen.

De vervorming, die een kracht bij een voorwerp veroorzaakt, noemen we de statische uitwerking van die kracht.

De vervorming kan plastisch (blijvend) of elastisch (tijdelijk) zijn.

2 Veerkracht

Je weet het al, maar toch zeggen we het opnieuw: om een houten lat te buigen of een elastiek uit te rekken... moet je kracht uitoefenen.

Van zodra je een elastiek uitrekt voel je echter de elastiek 'tegentrekken'. Deze tegenkracht noemen we veerkracht. Deze is niets anders dan de kracht die binnen een voorwerp ontstaat zodra het elastisch vervormd wordt.

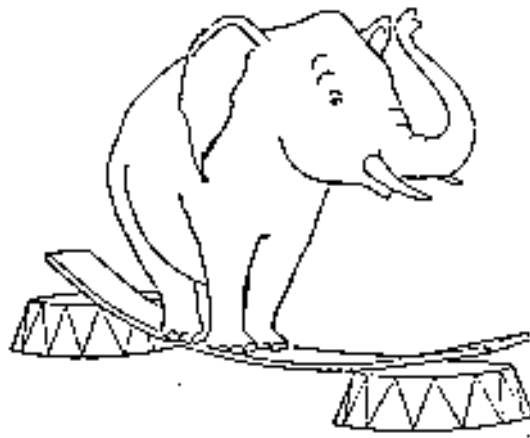
De veerkracht probeert voortdurend om het voorwerp zijn oorspronkelijke vorm terug te geven en wordt stelselmatig groter naarmate de vervorming toeneemt.

Schematisch

Veerkracht ontstaat binnen een voorwerp als het elastisch vervormd wordt. De veerkracht neemt toe met de vervorming.

3 Actie en... gelukkig maar reactie

Voorbeeld 1



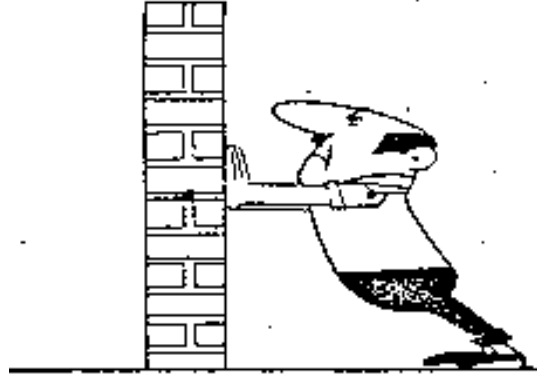
Zoals je kan zien buigt de plank door onder het gewicht van de olifant. In de plank ontstaat dus een veerkracht die hopelijk voldoende is om het enorme gewicht te dragen. Indien jij op die plank zou staan, dan zou ze ook doorbuigen, alleen niet zo sterk.

In feite werken er hier twee krachten:

- de kracht die je lichaam op de plank uitoefent noemen we de actie.
- de kracht die de plank op je lichaam uitoefent noemen we de reactie.

Voorbeeld 2

De man oefent een kracht uit op de muur. Dit is de actie. Meteen oefent de muur een even grote kracht uit op de man. Dit noemen we de reactie.



Stel nu eens dat de muur geen reactiekracht zou uitoefenen. Wat zou er dan gebeuren?

Schematisch

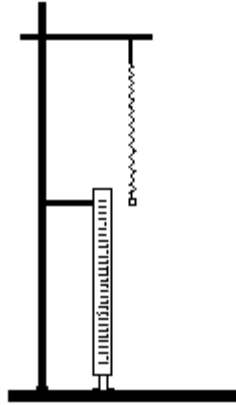
Telkens wanneer een kracht als actie optreedt, ontstaat onmiddellijk een even grote, tegengestelde kracht. We noemen die kracht de reactie.

4 Hoe meten we een kracht?

LABOPROEF

Een schroefveer met een twintigtal windingen wordt opgehangen aan een statief. Onderaan de veer is een ringetje bevestigd, waaraan we verschillende massa's kunnen ophangen.

Dit ringetje beweegt ten opzichte van een meetlat, zodat we de lengteverandering van de veer kunnen opmeten. Bij het begin van de proef monteren we de meetlat zodanig, dat het nulpunt van de lat tegenover de ring van de veer komt. Daarna hangen we steeds groter wordende massa's aan de veer. Telkens lezen we de stand van het ringetje af.



Waarneming

Naarmate we grotere massa's aan de veer hangen wordt de trekkracht steeds groter. Het gevolg daarvan is dat de veer steeds meer zal uitrekken. Door het meten van de lengtevermeerdering van de veer krijgen we een idee over de grootte van de kracht.

De grootte van een kracht stellen we voor door het symbool 'F'. De eenheid van kracht noemen we de Newton (afgekort: N):

bv. $F = 3 \text{ N}$, betekent een kracht van 3 Newton.

Het toestel waarmee we de grootte van krachten kunnen meten noemen we een dynamometer. Het is gebaseerd op de uitrekking van een veer. Een dynamometer wordt geijkt in Newton (N).

Schematisch

Het symbool voor de grootte van een kracht is F.

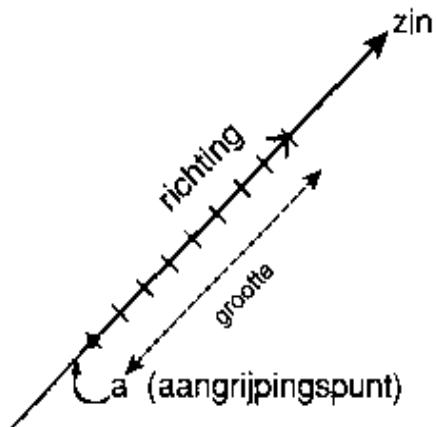
De eenheid van kracht is Newton (afgekort: N).

De grootte van een kracht wordt gemeten met een dynamometer.

5 Vectorvoorstelling van krachten

Bekijk alle aangehaalde voorbeelden nog eens nauwkeurig, dan zie je telkens het volgende:

- elke kracht heeft een aangrijpingspunt
- elke kracht wordt uitgeoefend in een bepaalde richting
- elke kracht wordt uitgeoefend in een bepaalde zin
- elke kracht heeft een bepaalde grootte



Uit je lessen wiskunde weet je dat we hier kenmerken van een vector opgesomd hebben. We kunnen een kracht dus voorstellen door een vector F .

Schematisch

Een kracht kunnen we voorstellen door een vector.

Een kracht wordt bijgevolg gekenmerkt door een grootte, een richting, een zin en een aangrijpingspunt. Eigenschappen van vectoren kunnen ook op krachten toegepast worden.

2 KRACHTEN KUNNEN DE SNELHEID VAN EEN VOORWERP VERANDEREN

In het eerste hoofdstuk hebben we geleerd dat krachten in staat zijn lichamen te vervormen. Maar krachten kunnen nog veel meer. In het dagelijks leven hebben we veel te maken met krachten, die een lichaam in beweging kunnen brengen of afremmen.

Voorbeeld 1

Je komt met de fiets naar school. Misschien is jouw fiets wel uitgerust met een snelheidsmeter. Om een snelheid van 30 km/h te kunnen bereiken moet je eerst flink doortrappen. Je moet dus kracht uitoefenen om te starten en op snelheid te komen. Om op een gegeven moment je snelheid weer tot 0 km/h te doen dalen (= stilstaan), moet je remkracht leveren. Dit gebeurt 'vanzelf' door de wrijving van de wielen op het wegdek en het lichaam tegen de lucht. Als je echter sneller wilt stilstaan moet je nog eens extra kracht uitoefenen en de rem gebruiken.

Voorbeeld 2

Op het dashboard van elke auto staat een snelheidsmeter. De motor van een 'optrekkende' wagen moet heel wat kracht leveren om de snelheid van de auto te verhogen. Je hoort dat trouwens aan het geluid van de motor. Hoe snel een auto kan optrekken, of anders gezegd: hoeveel kracht de motor kan uitoefenen, vind je in de volgende technische gegevens:

- kleine wagens van 0 tot 100 km/h in 20 s
- middenklasse wagens van 0 tot 100 km/h in 12 s
- sportwagens van 0 tot 100 km/h in 8,5 s
- formule 1 wagens van 0 tot 100 km/h in 6,5 s

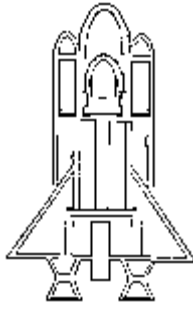
Dragsters ('funny cars') klaren de klus zelfs in 4 seconden. Die wedstrijdagens hebben een motor die een zeer grote kracht ontwikkelt. Bovendien hebben de achterbanden een grote doorsnede en worden ze onder lage druk gebruikt. Daardoor kunnen de achterwielen niet 'doorschieten' bij de start en wordt de aandrijfkracht maximaal benut.

Voorbeeld 3

Als een parachutist uit een vliegtuig springt gaat hij de eerste minuten in vrije val. Zijn valscherp blijft gesloten. Hij bereikt daarbij snelheden tot 200 km/h. Een grotere snelheid kan hij niet halen omdat hij voortdurend afgeremd wordt door de wrijving met de lucht. Op een bepaald ogenblik opent hij zijn valscherp. De grote wrijvingskracht tussen valscherp en lucht verlaagt dan zijn snelheid tot 30 km/h.

Voorbeeld 4

Om de Space Shuttle in een baan rond de aarde te brengen moet zijn snelheid de eerste tien minuten opgevoerd worden van 0 km/h tot bijna 30 000 km/h. Daarvoor is een enorme stuwkracht nodig. De motoren leveren een kracht tot 30000000 N.



Schematisch

Een kracht kan een voorwerp in beweging brengen.
Een kracht kan een bewegend voorwerp doen stoppen.
De verandering in bewegingstoestand, die een kracht bij een voorwerp veroorzaakt, noemen we de dynamische uitwerking van die kracht.

2 Wat is traagheid?

Je mag niet denken dat traagheid iets te maken heeft met 'traag zijn'. De volgende waarnemingen zullen je dat bewijzen:

- een wagentje op een plat vlak blijft stilstaan. Het komt pas in beweging als er een stoot (kracht F) tegen gegeven wordt
- een wagentje dat aan het bewegen is, blijft bewegen tenzij er een remkracht op werkt. Je kan die remkracht zelf uitoefenen door het bijvoorbeeld met de hand tegen te houden. Doe je dat niet dan zal het toch stoppen. Dit komt omdat er altijd wrijvingskrachten werkzaam zijn. Het wagentje rolt immers over de grond en wrijft tegen de luchtlagen.

Besluit

Elk lichaam tracht te volharden in zijn toestand van rust of beweging. We noemen dit traagheid.

Voorbeelden

- Je rijdt op volle snelheid met je fiets. Plots moet je brusk remmen. Bij vergissing gebruik je alleen de voorrem, dan wil het achterwiel blijven rijden. Het zit echter vast gemonteerd aan de kader. Het directe gevolg is dan ook dat je voorover valt.
- Wanneer je met de wagen de remmen werkelijk moet dichtslaan vliegen alle inzittenden naar voor. Begrijp je nu dat het veiliger is om zowel voor- als achteraan een veiligheidsgordel te dragen?

Schematisch

Zolang er geen uitwendige krachten op inwerken:

- blijven rustende voorwerpen in rust
- blijven bewegende voorwerpen in beweging.

Traagheid toont aan dat lichamen willen volharden in hun bewegingstoestand. Een lichaam in rust en waarop geen krachten werken blijft in rust. Een lichaam in beweging en waarop geen krachten werken blijft eenparig bewegen

3 Vragen en opgaven

- 1 Het is gevaarlijk om uit een rijdend voertuig te springen. Hoe moet men springen om niet te vallen?
- 2 Als je met de pols op tafel slaat, vliegt er inkt uit de pen waarmee je schrijft. Verklaar.
- 3 Niettegenstaande de aarde draait kan men zich toch niet horizontaal verplaatsen door omhoog te springen. Waarom niet?
- 4 Soms rijdt een locomotief van een zware goederentrein even achteruit, alvorens vooruit te rijden. Waarom?
- 5 Bij een e.r.b. blijkt dat de afgelegde weg recht evenredig is met het tijdsverloop. Hoe groot zal de som van de krachten zijn die op het lichaam inwerken?

4 Dynamische uitwerking van kracht

Vertrekkend van het traagheidsprincipe, nl. een lichaam in rust blijft in rust en een lichaam in beweging blijft in beweging, tenzij er uitwendige krachten op werken kunnen we het volgende afleiden.

Werkt er geen kracht op een lichaam, dan is de snelheid constant (nul is ook een constante)

$$F = 0 \implies v = \text{constante} \implies a = 0$$

Werkt er wel een kracht op een lichaam, dan is de snelheid niet meer constant en ondergaat het lichaam een versnelling.

$F \neq 0 \implies v \neq \text{constante} \implies a \neq 0$

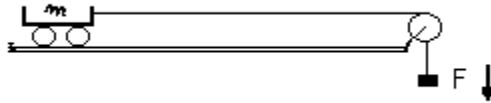
Besluit

Een kracht is dus de oorzaak van het optreden van een versnelling.

LABOPROEF

Wat is dan het verband tussen F en a ?

Het verband wordt in het labo experimenteel onderzocht met een wagentje met massa m dat we aan verschillende krachten onderwerpen. We meten de tijd voor een bepaalde afgelegde weg.



Uit de proef halen we:

- verband tussen F en a : hoe groter de kracht, hoe kleiner de tijd, dus hoe groter de versnelling

$F \sim a$ of $F = \text{constante} \cdot a$

- verband tussen m en a : hoe groter de massa, hoe kleiner de versnelling

$a \sim 1/m$

Uit die twee vaststellingen zie je dat

$F \sim m \cdot a$ of $F = \text{constante} \cdot m \cdot a$

Kiezen we de constante = 1, afhankelijk van de gekozen eenheden, dan staat F in N, m in kg, en a in m/s^2

$$F = m \cdot a$$

Voorbeeld

Is $m = 50 \text{ kg}$ en $a = 2 \text{ m/s}^2$ dan is $F = 100 \text{ N}$

Schematisch

Het verband tussen kracht en versnelling wordt gegeven door de formule $F = m \cdot a$

Traagheid is de eigenschap in verband met de wijze waarop een lichaam zich verzet tegen de verandering van rust en beweging
==> dynamische eigenschap

Massa is de eigenschap in verband met de hoeveelheid materie, de grootte wordt geschat met de zwaartekracht
===> statische eigenschap

De 1^{ste} wet van Newton: traagheidsprincipe

De 2^{de} wet van Newton: $F = m \cdot a$

De 3^{de} wet van Newton: principe van actie en reactie

3 KRACHTEN KUNNEN ARBEID LEVEREN

Je weet zeker nog dat arbeid W (in J) gegeven wordt door de formule:

$$W = F \cdot dx$$

Hierin is F de kracht in N en dx de afgelegde weg in m.

Daar we nu weten dat krachten oorzaak zijn van een vormverandering of van een verandering in de toestand van rust of beweging zijn er twee mogelijkheden om de arbeid te berekenen.

1 Arbeid bij hoogteverandering

Deze formule voor de potentiële energie hebben we reeds in 4 TW afgeleid. We stelden vast dat:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

2 Arbeid bij snelheidsverandering

Een voorwerp met massa m in rust willen we een snelheid v geven. Daartoe moeten we op het voorwerp een constante kracht F laten werken, waardoor het een eenparig versnelde beweging met versnelling $a = F/m$ zal krijgen.

formules : $v = a \cdot dt$

$$dx = a \cdot dt^2 / 2$$

$$W = F \cdot dx = m \cdot a \cdot a \cdot dt^2 / 2 = m \cdot (a \cdot dt)^2 / 2 = m \cdot v^2 / 2$$

$W = \frac{m \cdot v^2}{2}$

De uitdrukking $mv^2/2$ is kenmerkend voor de hoeveelheid arbeid dat een lichaam, dat zich met een snelheid v voortbeweegt, bezit. Men stelt $E_k = m \cdot v^2 / 2$ de kinetische energie

3 Energieomzettingen

Vermits er geen arbeid verloren gaat (theoretisch) zal er dus ook geen energie mogen verloren gaan. We bewijzen dit voor de valbeweging.

Een lichaam dat zich op hoogte h bevindt bezit een potentiële energie

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Laat men het vallen dan wordt zijn snelheid $v = (2 \cdot g \cdot h)^{1/2}$ en op de grond wordt $E_p = 0$. Boven is de kinetische energie = 0 en beneden.

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (2 \cdot g \cdot h) = m \cdot g \cdot h = E_p$$

Besluit

Bij de valbeweging is de toename van de kinetische energie = de afname van de potentiële energie

Algemeen: energie kan ontstaan noch verdwijnen, ze kan alleen van de ene vorm in de andere vorm worden doorgegeven.

Merk op dat in werkelijkheid er altijd verlies aan energie is, bv. onder de vorm van warmte.

4 Vragen en opgaven

- 1 Hoe kan men nagaan of de grootte van een kracht het dubbele is van de andere?
- 2 Een roeibootje en een baggerboot drijven beide op het water. Kan men beide even gemakkelijk voorttrekken? Motiveer.
- 3 Hoe komt het dat een balans een kleiner gewicht aangeeft, als een persoon die er op staat plots de benen buigt?
- 4 Hoeveel arbeid verricht de zwaartekracht, als een knikker over een horizontaal vlak rolt?
- 5 Twee krachten verhouden zich als 3 tot 4. Men laat beide krachten op twee verschillende lichamen werken. De verkregen versnellingen verhouden zich als 4 tot 3. Hoe verhouden zich de massa's van beide lichamen?
- 6 Een auto van 1500 kg rijdt met een snelheid van 54 km/h. Hij stopt in 15,0 s. Hoe groot is de kracht die op de wagen, gedurende het remmen wordt uitgeoefend?
- 7 Een kracht van 10 N geeft aan een eerste massa een versnelling van 12 m/s^2 en aan een tweede massa een versnelling van 36 m/s^2 . Welke versnelling zal die kracht aan de twee samengevoegde massa's geven?

- 8 De massa's van twee lichamen verhouden zich als 2 tot 3. Onder invloed van twee krachten krijgen ze versnellingen van die zich verhouden als 4 tot 5. Hoe verhouden zich de krachten?
- 9 Welke snelheid krijgt een bol van 10 kg als er gedurende 5 s een kracht van 30 N op werkt?
- 10 Een kogel van 16 g treft een muur met een snelheid van 80 m/s. Als de kogel 3,0 cm in de muur dringt, hoe groot is dan de als constant beschouwde weerstand?
- 11 Hoe groot is de arbeid, door de zwaartekracht verricht, als een lichaam van 10 kg van een hoogte van 5,0 m valt?
- 12 Op een massa van 12,00 kg werkt een kracht van 4,00 N gedurende 6,00 s. Hoeveel arbeid verricht deze kracht?
- 13 Een kracht die op een voorwerp met een massa van 10 kg inwerkt, verricht in 4,00 s 320 J arbeid. Hoe groot is die kracht?
- 14 Een steen van 10 kg valt van een hoogte van 80 m. Met welke snelheid bereikt hij de grond? Wanneer de steen 2,0 m in de grond dringt en dat we aannemen, dat de weerstand, die hij daarbij moet overwinnen constant is, hoe groot is die weerstand dan?
- 15 Een trein van 320 ton beweegt zich eenparig met een snelheid van 54 km/h. Bereken de kinetische energie van deze trein.
- 16 Een trein rijdt tegen 108 km/h en moet remmen op 500 m. Als de totale massa 500 ton is, hoe groot is dan de energie die moet geremd worden? Bereken de remtijd en de vertraging.

KRACHTEN... EEN MOEILIJKE ZAAK

In de natuur ervaren we verschillende uitwerkingen van krachten. Hoe kunnen we nu deze krachten uit elkaar houden?

Een eerste indeling is het onderscheid tussen contact en veldkrachten.

Contactkrachten treden op als er fysisch contact is.

Voorbeelden zijn o.a. een veer uitrekken, tegen een bal schoppen...

Veldkrachten werken op afstand.

Voorbeelden zijn o.a. de zwaartekracht, de elektrische kracht, de magnetische kracht.

Een tweede indeling is het verschil tussen inwendige en uitwendige krachten.

Inwendige krachten zijn krachten die in het voorwerp aanwezig zijn.

Voorbeelden zijn o.a. de veerkracht, de cohesiekracht.

Uitwendige krachten zijn krachten die werken van één systeem op een ander.

Voorbeelden zijn o.a. duwkracht tegen een tafel, trekkracht aan een touw.

Vergeet ook niet dat bij elke kracht een reactiekracht hoort.

In hetgeen volgt gaan we dieper in op enkele belangrijke krachten.

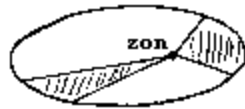
4 GRAVITATIEKRACHT

1 De wetten van Kepler

Uit de studie van de planetenbewegingen heeft Kepler een aantal wetmatigheden kunnen afleiden. Deze wetmatigheden hebben dan geleid tot de algemene gravitatiewet van Newton. Merk op dat vroeger met Ptolomeus de aarde het centrum van het heelal was, met Copernicus was de zon het centrum.

Wetten

- 1 de banen van de planeten zijn ellipsen, de zon bevindt zich in een van de brandpunten
- 2 de voerstraal die het middelpunt van de zon verbindt met het middelpunt van de planeet beschrijft een oppervlakte die recht evenredig is met de tijd. (wet der perken)



- 3 de kwadraten van de omlooptijden zijn recht evenredig met de derde machten van de grote assen van de ellipsen $T^2 \sim a^3$

Uit deze wetten heeft Newton zijn algemene gravitatiewet afgeleid:

Alle massa's trekken mekaar aan!

Juiste formulering van de wet:

Twee massa's m en m' trekken elkaar aan met een kracht die recht evenredig is met die massa's en omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand tussen hun zwaartepunten

$$\begin{aligned}
 F &\sim m \\
 F &\sim m' \implies F = \text{constante} \cdot m \cdot m' / x^2 \\
 F &\sim 1/x^2
 \end{aligned}$$

die constante = $f = \text{gravitatieconstante} = 6,6 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

Merk op dat deze constante niet door Newton maar door Cavendish bepaald is.

2 Voorbeeld

Welke kracht oefenen twee personen van 50 kg uit op elkaar als ze zich op 50 cm van elkaar bevinden?

$$F = \frac{50 \times 50}{(.50)^2} \times 6,6 \cdot 10^{-11} = 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ N} \text{ wat zeer klein is}$$

3 Toepassingen

1 Het berekenen van de planetenbanen o.a. door afwijkingen in de baan van Neptunus heeft men Pluto ontdekt.

2 Het ontstaan van de getijden o.a. eb, vloed en springtij.

3 In de ruimtevaart: het berekenen van de remmende kracht bij het landen op de maan en op mars.

4 Het berekenen van de aardmassa.

vb. een persoon van 70 kg wordt met een kracht van 700 N aangetrokken.
(aardstraal is 6370 km)

$$F = f \cdot \frac{m \cdot m_A}{x^2} \implies m_A = \frac{F \cdot r^2}{f \cdot m} = \frac{700 \cdot (6370000)^2}{6,6 \cdot 10^{-11} \cdot 70} = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

5 ZWAARTEKRACHT

1 Zwaartekracht: aardse gravitatie

De zwaartekracht is een bijzonder geval van de algemene gravitatie. Het is namelijk de aantrekkingskracht door de aarde op elk lichaam uitgeoefend. Het krachtveld rond de aarde noemt men het zwaarteveld.

Vermits het een kracht is kunnen we de vectorvoorstelling gebruiken nl.

- aangrijpingspunt: zwaartepunt van de aarde
- richting: de verticaal
- zin: naar het middelpunt der aarde
- grootte: gegeven door de formule van Newton

$$F_z = f \cdot \frac{m \cdot m_A}{x^2}$$

met $x = r_A$ als het lichaam zich op het aardoppervlak bevindt.

Daar de aarde niet bolvormig is zien we dat F geen constante is want

$$r_{\text{polen}} < r_{\text{evenaar}}$$

2 Verandering van de zwaartekracht met de hoogte

Onze massa blijft gelijk, maar de zwaartekracht verandert als we hoger komen. Een astronaut kan in een toestand van gewichtloosheid zijn.

$$\text{op hoogte nul} \quad F_0 = f \cdot \frac{m \cdot m_A}{r_A^2}$$

$$\text{op hoogte h} \quad F_h = f \cdot \frac{m \cdot m_A}{(r_A + h)^2}$$

Hieruit halen we dat

$$F_h = F_0 \cdot \frac{r_A^2}{(r_A + h)^2}$$

We stellen vast dat de zwaartekracht vermindert met de hoogte.

Voorbeeld

Het gewicht van een voorwerp is 500 N op zeeniveau, dat is dus ook de grootte van de zwaartekracht. Hoeveel is de zwaartekracht op 30 km hoogte? (de aardstraal is 6370 km)

$$F_h = 500 \cdot \frac{(6370)^2}{(6400)^2} = 500 \times 0.99 = 495 \text{ N}$$

De zwaartekracht is dus 5 N minder op 30 km hoogte!

3 Valbeweging

Wordt een voorwerp met massa m door de aarde aangetrokken met een kracht F dan is de versnelling $a = F/m$ met $a = g$

$$F = m \cdot g$$

De grootte van de valversnelling $g = f \cdot m_A / x^2$ is onafhankelijk van de massa m , wel afhankelijk van x . Dit zijn dus dezelfde voorwaarden als voor F !! (in het luchtledige is $g = \text{constante!!!}$)

$$\text{formule } g_h = g_0 \cdot \frac{r_A^2}{(r_A + h)^2}$$

zodat g evenaar $<$ g polen

Maar g is ook afhankelijk van de aardmassa m_A en vermits de aarde niet overal homogeen is (bergen en diepzeedalen!!) zal g ook met de dichtheid veranderen.

4 Vragen en opgaven

- 1 Zal een lichaam dat 5 maal zo zwaar weegt ook 5 maal zo snel vallen?
- 2 Twee schepen van 10000 ton liggen met hun zwaartepunt 100 m van elkaar. Met welke kracht trekken die schepen elkaar aan?
- 3 Twee homogene bolvormige lichamen hebben een diameter van 10,0 cm. De massa van beide bollen is 10 kg. Bereken de aantrekkingskracht tussen beide bollen als de afstand tussen de middelpunten 20 cm is.
- 4 Hoe groot is het gewichtsverlies van een vliegtuig dat op de grond 10,0 ton als massa heeft, als het tot 2000 m hoogte stijgt? (aardstraal = 6370 km)

6 CENTRIPETALE KRACHT

1 Krachten bij rotaties

Uit de studie van de eenparig cirkelvormige beweging (e.c.b) weten we dat er twee mogelijkheden zijn om de snelheid uit te drukken. Er bestaat een (baan)snelheid (v) en een hoeksnelheid (ω).

$$v = dx/dt \quad \text{met } dv = 0$$

$$dv \neq 0 \text{ (vectorieel)}$$

$$\omega = d\alpha/dt$$

$$\text{de versnelling } a = v^2/r = \omega^2 \cdot r = 4 \pi^2 \cdot r / T^2 \quad \text{met } \omega = 2\pi/T$$

$$\text{de kracht } F = m \cdot v^2 / r = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

De versnellingsvector is gericht naar het midden, deze kracht noemt men de centripetale kracht (want F en a in zelfde richting).

Uit de wet van actie en reactie bestaat er ook een tegengestelde kracht. De verklaring hiervoor is: het is in feite de traagheid van het lichaam dat men voelt. Door het wegvallen van de centripetale kracht is het lichaam verplicht zich op een rechte baan te bewegen.

2 Voorbeelden

- In een bocht wordt men tegen de wand gedrukt, men "voelt" de traagheid van het lichaam
- Zelfde principe bij een rotor op de foor waar men de vloer laat wegklappen
- Ontromen van melk
- Centrifuge bij wasmachines

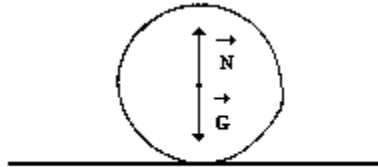
3 Vragen en opgaven

- 1 Een piloot met massa 80 kg maakt met zijn vliegtuig een looping met straal 500 m, op het ogenblik dat de snelheid 900 km/h is. Hoe groot is de kracht die op het lichaam van de piloot inwerkt?
- 2 Een lichaam voert een eenparig cirkelvormige beweging uit met 1200 tr/min. Bereken de centripetale versnelling als de straal van de beweging 60 cm is.
- 3 Een massa van 100 g wordt vastgebonden aan een draad van 20 cm. Men zwiert de massa in het rond zodanig dat het 3 toeren beschrijft per seconde. Welke krachtwerking ondergaat het touw?
- 4 Bereken de centripetale kracht die op een fietser inwerkt als hij een bocht beschrijft van 10 m straal met een snelheid van 12 km/h. Fiets en fietser hebben een totale massa van 90 kg.
- 5 Met hoeveel toeren per seconde moet men een emmer met water gevuld aan een touw van 50 cm lengte rondzwieren, opdat het wateroppervlak in de emmer in evenwicht zou blijven? De totale massa van de emmer is 5,0 kg.

7 BIJZONDERE KRACHTEN

1 De normaalkracht

Als een lichaam stil ligt, dan werkt daarop de zwaartekracht G . De kracht tegengesteld daaraan, noemt men de normaalkracht N . Die is gericht loodrecht op het oppervlak.



2 De wrijvingskracht

Wrijvingskrachten kan men niet wegdenken, ze zijn er altijd. We proberen nu te ontdekken wat ze eigenlijk zijn.

Als een lichaam zich verplaatst zal het een kracht ondervinden die zich tegen de beweging van het lichaam verzet, die kracht noemt men de wrijvingskracht.

Deze wrijvingskracht is

1) onafhankelijk van de grootte of meetkundige vorm van het lichaam. Dit kan men nameten door aan een dynamometer te trekken.

2) de maximale wrijvingskracht $F_{\max} = f \cdot N$ met f de wrijvingscoëfficiënt afhankelijk van de aard en de toestand van de rakende oppervlakken.

bv. hout op hout $f = 0.50$

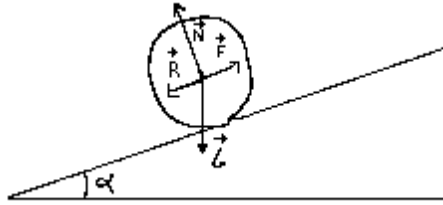
metaal op metaal $f = 0.18$

metaal op geolied metaal $f = 0.12$

3 Wrijvingscoëfficiënt van een hellend vlak

LABOPROEF

We bepalen de wrijvingscoëfficiënt bij hellend vlak



$$F = f \cdot N$$

$$\text{en } \text{tg } \alpha = F/N$$

Hieruit volgt dat:

$$f = \text{tg } \alpha$$

4 De weerstandskracht

Als een voorwerp zich beweegt door een vloeistof of gas, dan treedt eveneens een kracht op. We noemen dat weerstandskracht. Hij is kleiner dan de wrijvingskracht. Dit kun je zien bij luchtkussen boten.

5 De spankracht

Als je een voorwerp aan een touw hangt, dan oefent het touw een reactiekracht uit. Men dat ook de spankracht.

8 KRACHTEN BIJ BOTSINGEN

1 Snelheid verkregen door een stoot

PROEF

Geef een zelfde stootkracht aan een metalen en aan een houten knikker.

Waarneming

De metalen knikker zal minder ver vallen.

Besluit

Hoe groter de massa van de knikker, hoe korter de afgelegde weg!!

In formule kunnen we schrijven:

$$x \sim 1/m \text{ of } v \sim 1/m$$

Als F de kracht is, dan is de versnelling $a = F/m$ en $v = a \cdot dt$ als de kracht F gedurende een tijd dt werkt.

Hieruit volgt dat $v = F \cdot dt / m$

of $F \cdot dt = \text{constante}$

die constante noemen we de impuls of hoeveelheid van beweging en stellen ze voor door het symbool p

$$p = m \cdot v = F \cdot dt$$

De impuls of hoeveelheid van beweging kan op twee manieren gegeven worden, nl. als $m \cdot v$ en als $F \cdot dt$.

2 Botsingen

PROEF

We maken een opstelling met vijf knikers die op gelijke hoogte naast mekaar hangen. Geef een stoot aan 1 knikker dan beweegt ook 1 knikker, geef een stoot aan 2 knikers dan bewegen ook 2 knikers

Besluit

In een afgesloten stelsel waarin lichamen op elkaar krachten uitoefenen blijft de totale impuls constant. Dit is de wet van het behoud van impuls!!

Er werken dus twee behoudswetten op dergelijke systemen.

behoud impuls

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

behoud energie

$$\frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} = \frac{m_1 \cdot v_1'^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2'^2}{2}$$

3 Vragen en opgaven

1 Een granaat met massa 10 kg verlaat de loop van een kanon met een snelheid van 750 m/s. Het kanon heeft een massa van 1000 kg. Bereken de snelheid van de terugslag van het kanon.

2 Een kogel met massa 200 g botst volkomen elastisch tegen een andere met een snelheid van 10 m/s. De tweede kogel heeft een massa van 400 g en een snelheid van 8,0 m/s. Bereken de snelheden na de botsingen.

9 EVENWICHT

1 Geen krachten?

Een systeem is in evenwicht als de resultante van alle krachten die er op werken gelijk is aan nul. Men spreekt van translatie evenwicht.

2 Moment van een kracht

Als twee krachten even groot doch tegengesteld van zin zijn, en hun aangrijpingspunt valt niet samen, dan ontstaat er een rotatie. Er is rotatie in wijzerzin en rotatie in tegenwijzerzin. Omdat er geen resultante kan gevonden worden voert men het moment M van een kracht in. Dit wordt gegeven door het produkt van de kracht F en de afstand d tussen de twee krachten.

$$M = F \cdot d$$

met

$M > 0$ als rotatie in wijzerzin

$M < 0$ als rotatie in tegenwijzerzin

Het moment M van een kracht wordt uitgedrukt in mN (meternewton) Als de twee momenten geen rotatie veroorzaken dan is de algebraïsche som van de momenten gelijk aan nul.

3 Evenwichtsvoorwaarden voor een lichaam

Een lichaam in rust betekent dat het geen translatie maar ook geen rotatie ondergaat. Dit betekent dat de resultante R van alle krachten die in hetzelfde vlak werken moet gelijk zijn aan nul, maar ook dat de algebraïsche som van de momenten van alle koppels moet gelijk zijn aan nul.

RECENTE INZICHTEN

1 RUIMTE - TIJD CONTINUÛM

Wat gebeurt er als we een deeltje met massa m willen verplaatsen?

Is het waarnemingsstelsel in rust t.o.v. de aarde, dan kunnen we dit stelsel beschrijven met 3 plaatscoördinaten X , Y en Z en met de tijdscoördinaat T .

Is het stelsel in beweging met snelheid v in bv. de X -richting dan kan men het als volgt beschrijven:

$$X = x - v \cdot t$$

$$Y = y$$

$$Z = z$$

$$T = t$$

Deze transformatie staat bekend als de Galileitransformatie.

Beweegt de massa met een snelheid c van het licht, dan voldoet ze aan de volgende bolvergelijking

$$X^2 + Y^2 + Z^2 - c^2 \cdot T^2 = 0$$

Deze vergelijking is onverenigbaar(!) met de Galileitransformatie.

Als oplossing voor deze paradox werd de Lorentztransformatie voorgesteld:

$$X = \frac{x - v \cdot t}{w}$$

$$Y = y$$

$$\text{met } w^2 = 1 - v^2/c^2$$

$$Z = z$$

$$T = \frac{t - v \cdot x/c^2}{w}$$

Deze transformatie verenigt beide vergelijkingen.

1 Verplaatst de massa zich met 'geringe' snelheid t.o.v. de lichtsnelheid c , dit betekent dat $v \ll c$, of dat de lichtsnelheid c oneindig is t.o.v. de aardse snelheid v .

en dan wordt $w^2 = 1 - 0 = 1$ en dus ook $w = 1$

$$X = x - v.t$$

$$T = t$$

We vinden de Galileitransformatie terug.

2 Verplaatst de massa zich met een snelheid c , dan is $w^2 = 1 - 1 = 0$ en dus wordt $w = 0$

dan wordt $X =$ oneindig

$T =$ oneindig

Dit wijkt volledig af van de klassieke mechanica en gaat onze normale voorstellingsvermogens te boven.

Uit deze beschouwingen kunnen we volgende nuttige gegevens trekken:

Voor de 'trage deeltjes' mag men redeneren volgens de klassieke mechanica, de fout die men maakt is verwaarloosbaar.

Voor de snelle deeltjes mag men niet meer redeneren volgens de klassieke mechanica, maar moet men gebruik maken van wiskundige methoden. Ingevoerde correcties zijn groter als de snelheid toeneemt. Hieruit volgt ook dat snelheden groter dan het licht volgens de Lorentztransformaties uitgesloten zijn. Opdat w zou kunnen bestaan moet het argument van $w >$ of $= 0$ zijn

$$1 - v^2/c^2 > 0$$

$$c^2 - v^2 > 0$$

$$c^2 > v^2$$

$$c > v$$

De hoogste snelheid is dus de lichtsnelheid.

Beweegt een systeem zich met de snelheid van het licht, dan heeft het geen tijdsdimensie (het veroudert en het verjongt niet) maar ook geen afstandsdimensie meer. (het wordt oneindig groot)

2 BEWEGEN MET DE LICHTSNELHEID

Ten tijde van Einstein zijn (1879-1955) jeugd wist men reeds dat licht een golfbeweging is. (men dacht: een voortlopende trilling in een 'ijle stof' die het heelal vulde: de ether) Rond deze leeftijd begon Einstein zich af te vragen: "wat zou ik 'zien' als ik met een lichtstraal meevlieg?" Het zoeken naar deze ogenschijnlijke simpele vraag heeft hem 10 jaar gekost. Het vormde het begin van de 'relativiteitstheorie'.

2.1 Het gelijkwaardigheidsbeginsel

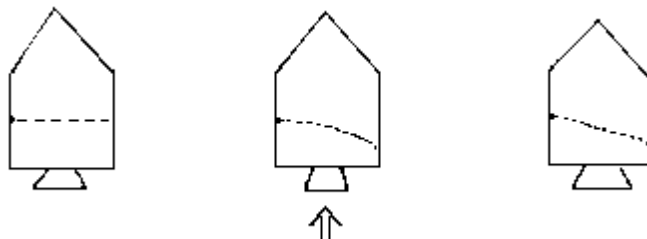
Stel je voor dat je bent opgesloten in een 'cabine' zonder naar buiten te kunnen zien. De cabine is op de grond geplaatst. Je hebt een biljartbal in de hand en die laat je los: de bal valt naar de bodem toe met een versnelling van $9,8 \text{ m/s}^2$.

Stel je nu voor dat de 'cabine' ver van alle planeten of sterren door raketmotoren wordt 'omhoog geduwd' met een versnelling van $9,8 \text{ m/s}^2$. Als je nu de biljartbal loslaat zie je net als in vorige proef hetzelfde gebeuren: de bal 'valt' naar de bodem toe met een versnelling van $9,8 \text{ m/s}^2$.

Beide situaties zijn dus gelijkwaardig: binnen de cabine is het niet mogelijk om ze te onderscheiden van elkaar.

2.2 Wordt licht aangetrokken?

Stel je voor dat de cabine niet versnelt en ver weg is van alle planeten en sterren. De astronaut knipt een zaklamp aan: de lichtstraal beweegt rechtlijnig.



Stel je nu voor dat de cabine versnelt naar 'boven'. Voor de astronaut beweegt de lichtstraal dus volgens een kromme lijn.

Stel je voor dat de cabine stilstaat op aarde. Volgens het gelijkwaardigheidsbeginsel moet de lichtstraal nu ook een kromme baan volgen!

2.3 De proef op de som

Het idee dat een lichtstraal door een hemellichaam wordt 'aangetrokken' leek heel vreemd. Einstein bedacht een controle experiment.

Als de zon Z tussen de aarde en de ster S staat, zou men de ster op een andere plaats aan de hemel moeten zien dan wanneer de zon niet op die plaats staat. Alleen... overdag zie je wel de zon, maar niet de sterren; 's nachts is het natuurlijk omgekeerd. Gelukkig was er in 1919 een zonsverduistering. Toen kon men de

sterren aan de rand van de zon waarnemen. Op de foto zag men duidelijk verschil. Het voorspelde effect trad dus duidelijk op.

2.4 De vervormde ruimte

Licht heeft geen massa. Dus werd het licht van de ster niet door de zon 'aangetrokken'! Uit veel rekenwerk kwam Einstein te weten dat de lege ruimte zelf door de aanwezigheid van de zon vervormd wordt! De ruimte waarin zich geen voorwerp bevindt dat zwaartekracht uitoefent vormt een soort netwerk. Door de zwaartekracht van de zon wordt het ruimtenetwerk vervormd. Voorwerpen die zich aan de rand bevinden, rollen naar beneden: ze bewegen naar de zon toe. Zo kan je begrijpen waarom een lichtstraal die langs de zon scheert 'afbuigt': ook lichtstralen volgen de lijnen van het vervormde ruimtenetwerk.

2.5 Wie in een zwart gat valt is reddeloos verloren

De zon is als het ware de bodem van een 'put in de ruimte'. Uit die put kan natuurlijk licht ontsnappen; anders zouden we de zon niet zien! Echter: als de put oneindig diep is, kan er niets meer uit ontsnappen: geen materie en geen licht. Zoiets noemt men een zwart gat. (black hole)

Een zwart gat zou overblijven nadat de buitenkant van een zeer grote ster (tientallen zon massa's) is ontploft (supernova) en de kern is ineengestort. (= zwart gat) Door waarnemingen heeft men in het heelal reeds verschillende kandidaat zwarte gaten gevonden. De bekendste is Cygnus X-1 in het sterrenbeeld Zwaan op een afstand van 6000 lichtjaar. Men neemt aan dat 'in de omgeving' (lichtjaren) van een zwart gat het volgende gaat gebeuren: het zwart gat zuigt als het ware de materie op van een begeleidende ster. Daarbij worden reusachtige hoeveelheden röntgenstralen uitgezonden. Cygnus X-1 zendt in de vorm van röntgenstralen per seconde meer dan 20000 maal zoveel energie uit als de zon in haar geheel uitzendt. Het is precies door deze röntgenstralen met satellieten op te sporen dat men kandidaat zwarte gaten vindt.

3 MASSA EN ENERGIE

3.1 Veranderlijkheid van de massa

Tot nu toe hadden we de massa steeds als een constante eigen aan de aard van de stof verondersteld. Uit proeven met hoge versnellingen met elektronen bleek dat de verhouding

$$\frac{e}{m} \sim (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

waarbij

e: de lading van het elektron is
 m: de massa van het elektron is
 v: de snelheid van het elektron is
 c: de lichtsnelheid is.

Dit betekende dat of de lading of de massa moest veranderen met de snelheid, wat in strijd was met de gangbare opvatting van de materie. We spreken hier wel over snelheden die van de grootte orde zijn van het licht. In 1905 heeft Einstein daaruit de relativiteitstheorie opgebouwd. De massa van een lichaam is afhankelijk van zijn snelheid. Is m_0 de rustmassa, dit is de massa van het lichaam als het niet beweegt, dan is

$$m = \frac{m_0}{(1 - v^2/c^2)^{1/2}}$$

Is v klein ten opzichte van c dan verandert er niets aan de massa.

Is v van de grootte orde van c , dan wordt de massa van een lichaam groter bij toenemende snelheid. De massa zal oneindig groot worden als de snelheid gelijk zou worden aan de lichtsnelheid. De lichtsnelheid is een grenssnelheid die door geen enkel stoffelijk lichaam kan bereikt worden.

3.2 Kracht en energie relativistisch

Het is duidelijk dat we in de fysica rekening zullen houden met de relativiteitstheorie en met de lichtsnelheid.

De eerste hoofdwet van de mechanica, of de wet van de versnelling nl.

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad \text{kan omgezet worden in}$$

$$F = \frac{d(m \cdot v)}{dt} \quad \text{daar } m \text{ geen constante meer is.}$$

Het is duidelijk dat de klassieke wetten geldig blijven voor kleinere snelheden. Voor grote snelheden moet men met de relativiteitscorrectie rekening houden.

Hoe zit het dan met de energie?

Een bewegend voorwerp heeft kinetische energie. We berekenen nu de energie en houden rekening met de relativiteitstheorie.

Laat men op een massa m een constante kracht F werken over een korte afstand dx , dan is de arbeid:

$$dW = F \cdot dx$$

$$\text{of } dW = \frac{d(m \cdot v)}{dt} \cdot dx = d(m \cdot v) \cdot \frac{dx}{dt}$$

voor kleine dt is $v = dx/dt$ zodat

$$dW = v \cdot d(m \cdot v) \quad (*)$$

Kwadrateren van

$$m = \frac{m_0}{(1 - v^2/c^2)^{1/2}}$$

geeft:

$$m^2 = \frac{m_0^2}{(1 - v^2/c^2)}$$

Verder uitwerken en toepassen van distributiviteit geeft:

$$m^2 \cdot c^2 = m^2 \cdot v^2 + m_0^2 \cdot c^2$$

na afleiden (zie wiskunde) van deze uitdrukking bekomen we

$$c^2 \cdot [2 \cdot m \cdot dm] = [2 \cdot m \cdot v \cdot d(mv)] + [0]$$

of

$$c^2 \cdot dm = v \cdot d(mv)$$

Brengen we dit in de vergelijking (*) dan zien we dat

$$dW = c^2 \cdot dm$$

de massa van het lichaam vermeerderd met een bedrag van $dm = dW/c^2$ zodat de kinetische energie (bewegingsenergie) van het lichaam toeneemt met $dE_k = dW$ of $dm = dE_k/c^2$

Is de beginsnelheid $v = 0$ en dus ook $E_k = 0$ dan is $E_k - 0 = c^2(m - m_0)$ of

$$E_k = (m - m_0).c^2$$

Dit is de formule voor de kinetische energie waarbij we rekening houden met de relativiteitscorrectie.

3.3 Equivalentie massa en energie

Deze formule heeft nog een belangrijk verband duidelijk gemaakt. We zien dat energie en massa in feite identieke begrippen zijn die zich op een andere manier manifesteren.

Uit de formule $dm = dE/c^2$ is $dE = c^2.dm$

$$\text{of } E - E_0 = c^2.(m - m_0)$$

Stellen we hierin $E = m.c^2$ en $E_0 = m_0.c^2$ dan is

$$E = m.c^2$$

Dit is de formule van Einstein die het verband tussen massa en energie aantoont.

Vb. is $m = 1 \text{ kg}$ dan is $E = 1.(3.10^8)^2 = 9.10^{16} \text{ J}$

Grote energiebedragen komen met kleine massa's overeen.

4 ATOOMMODELLEN

4.1 Atoommodel van Thomson (1904)

Een atoom (ondeelbaar) wordt opgevat als een kleine sfeer, continu opgevuld met materie en positieve lading en willekeurig verspreid de kleinere negatieve elektronen.

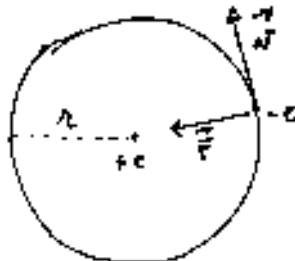
4.2 Atoommodel van Rutherford (1911)

Met de volgende proef, nl. het beschieten van een Au - plaat met alfadeeltjes, dit zijn in feite He^{2+} ionen bleek dat de meeste alfadeeltjes door de Au - plaat gingen zodat het atoommodel van Thomson verkeerd moet zijn.

Het nieuwe atoommodel van Rutherford ziet er als volgt uit: de kern bevat de lading en de massa en die is minstens 10000 maal kleiner dan het atoom. Rond de kern wentelen de elektronen want anders zouden ze erop vallen. Een atoom is ijl en toch gedraagt het zich als een sfeer, want twee atomen die mekaar naderen stoten elkaar af. Enkel de vrije elektronen kunnen door het omhulsel dringen.

4.3 Energie van een elektron

Beschouwen we een waterstofatoom dat 1 elektron heeft met lading $-e$ dat rond de kern wentelt met lading $+e$. Het elektron met massa m beschrijft een cirkel met straal r rond de kern.



Hiervoor is een centripetale kracht

$$F = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

nodig die evenwicht maakt met de elektrostatische kracht

$$F = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2}$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \quad \text{of} \quad v^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot m} \cdot \frac{1}{r}$$

zodat de kinetische energie gegeven wordt door:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 \cdot r}$$

Willen we de potentiële energie bepalen dan moet de arbeid berekend worden om het elektron van de afstand r naar het oneindige te brengen tegen de aantrekkingskracht in

$$W = \int_r^\infty \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} dr \quad \text{uit } W = F \cdot dr$$

of $W = dE_p = E_p \text{ oneindig} - E_p$

Vermits we $E_p \text{ oneindig} = 0$ kiezen is $E_p = -W$

$$\text{of } E_p = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$$

zodat $E_k = -E_p/2$

of $E_{\text{totaal}} = E_p + E_k = E_p/2 = -E_k$

of $E = -e^2/8\pi\epsilon_0 \cdot r \quad E = -m \cdot v^2/2$

Een elektron dat dichterbij de kern komt verliest potentiële energie zodat zijn potentiële energie kleiner wordt dan nul, dus negatief wordt.

Een elektron beschrijft een cirkel met straal $r = -e^2/8\pi\epsilon_0 \cdot E$ en met snelheid $v = (-2E/m)^{1/2}$

4.4 Atoommodel van Bohr

Uit de ontdekking van $E = m \cdot c^2$ en de ontdekking dat de uitgezonden straling een lijnspectrum is kwam Bohr tot volgende hypothesen

- 1 Elektronen kunnen slechts op welbepaalde, onveranderlijke banen om de kern wentelen, met constante energie
- 2 Elektronen kunnen in bepaalde omstandigheden van baan veranderen. Gaat het elektron over naar een baan met kleinere energie dan is het verlies E in straling omgezet met frequentie $f = E/h$ met h de constante van Planck ($h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J.s)
- 3 De stationaire banen zijn deze waarvoor het produkt van de omtrek met de overeenkomstige bewegingshoeveelheid een geheel veelvoud is van de constante van Planck.

$$(2\pi r) \cdot (mv) = nh$$

4.5 Atoommodel van Schrodinger

Na de ontdekking van de dualiteit van het licht kan men naast het corpusculair karakter ook het golfkarakter beschouwen met $E = h \cdot f$ en $p = m \cdot v = h/\lambda$ met λ de golflengte.

Beschouwt men nu de baan van het elektron dan komt men tot staande ruimtegolven die de mogelijke trillingstoestanden van de golf vertegenwoordigen. In de golfmechanica voert men daarom het waarschijnlijkheidsbeginsel in. Dit laat toe te berekenen welke kans men heeft om een deeltje op een bepaalde plaats aan te treffen. Deze kans wordt bepaald door de golf functie die aan het deeltje verbonden is en ze is recht evenredig met het kwadraat van de amplitude die de golf op die plaats heeft. Deze golf functie noemt men een waarschijnlijkheidsgolf.

4.6 Atoommodel van Heisenberg, Born, Jordan en Dirac

Dit is een zuiver mathematisch model dat ieder concreet beeld onmogelijk maakt. Een van de grondbeginselen is de onzekerheidsrelatie van Heisenberg nl. $\Delta p \cdot \Delta x = h$ met h de constante van Planck. Die relatie leert ons dat hoe nauwkeuriger we de plaats van een voorwerp trachten te bepalen, hoe onzekerder de impuls, en dus ook de snelheid wordt en omgekeerd. De instrumenten nodig om de stand te bepalen zullen het elektron derwijze verstoren dat men volkomen onzeker wordt over zijn snelheid.

Een andere onzekerheidsrelatie is $\Delta E \cdot \Delta t = h$ met h de constante van Planck. Dit betekent dat men bij nauwkeurige bepaling van de energie volledig onzeker is over het tijdstip dat het deeltje deze energie heeft.

4.7 Elementaire deeltjes

Een compleet overzicht geven is moeilijk omdat de fysici nog altijd deeltjes bij ontdekken. En het is een eeuwen oude droom de ganse wereld van de micro en macrokosmos te kunnen ordenen!!

Naast het foton (energie) en het graviton (massa) "deeltje" kunnen we naargelang de "zwaarte" van de deeltjes drie grote klassen onderscheiden:

1. de leptonen: elektron neutrino en elektron
muon neutrino en muon
tau neutrino en tau
2. de mesonen: pion, kaon, eta, D, F.
3. de baryonen: proton, neutron, lambda, sigma, xi, omega

Naast de massa kan men ook de spin, de lading, het antideeltje, het verval en de levensduur gebruiken om een classificatie door te voeren.

4.8 Nabeschouwing

De voortdurende onderzoeken naar elementaire deeltjes hangen ook samen met de structuur van ons heelal. De fysici ontdekten dat ieder deeltje een tegenhanger heeft die er precies op lijkt maar in feite het tegengestelde ervan is. Deze deeltjes noemt men antideeltjes. Het samenkomen van een deeltje en zijn antideeltje geeft aanleiding tot annihilatie (= opheffen!)

Bv. een elektron en een positron geven twee fotonen die met de lichtsnelheid verdwijnen. Is er "ergens" energie aanwezig dan kunnen ze opnieuw in paren gevormd worden. Zijn er dan twee typen van heelal nl. dat waarin wij leven en dat van de antideeltjes??? Dat is iets waarop we niet kunnen antwoorden. Zeker is dat in ons deel geen antimensen zijn, want dan zouden ze al lang verdwenen zijn!!

ONTSTAAN VAN HET HEELAL

Het heelal ontstond in een reusachtige explosie, waarbij energie, ruimte, tijd en materie geschapen werden. Hieraan wordt door de wetenschappers nauwelijks getwijfeld. De zekerheid dat het verhaal juist is (in grote lijnen) ontleen ze aan twee revolutionaire theorieën nl. de relativiteitstheorie en de quantumtheorie die beiden aan de basis liggen van de moderne natuurkunde.

De oerknal moet plaatsgevonden hebben op minstens 15 miljard jaar geleden, maar het kan ook 20 miljard zijn. Op het gebied van de macrokosmos zijn er zwarte gaten te vinden die afgesloten zijn van de omringende kosmos. Er zijn sterren die 35 miljard maal zo zwaar zijn als lood, er zijn exploderende sterrenstelsels. Op het gebied van de microkosmos zijn de elementaire deeltjes opgebouwd uit quarks die met onze spreektaal niet te beschrijven zijn.

Bewijzen voor de oerknaltheorie kunnen we vinden:

1 de sterrenstelsels verwijderen zich van elkaar - de uitdijing kan door de oerknal verklaard worden.

2 de straling die vanuit elke richting op ons afkomt vanuit het heelal en die overal dezelfde intensiteit heeft is de temperatuur van enkele graden boven het absoluut nulpunt precies wat we verwachten na afkoeling van de explosie.

3 in de kernfysica vindt men op basis van theoretisch onderzoek dat de verhouding van de hoeveelheid deuterium en helium een welbepaalde waarde moet hebben, wat ze experimenteel ook heeft.

De oerknaltheorie heeft dus een zeer stevige basis, maar alternatieven zijn niet uitgesloten. Deze theorie zal in alle geval een van de belangrijkste bouwwerken van de twintigste eeuw blijven.

SAMENVATTING MECHANICA

Over bewegen

Bij een translatie verplaatst het lichaam zich evenwijdig met zichzelf.

Bij een rotatie verplaatst het lichaam zich rond een punt of rond een omwentelingsas.

Een beweging is eenparig als in gelijke tijdsintervallen, hoe klein ook genomen, gelijke wegen worden afgelegd.

Een beweging is veranderlijk als in gelijke tijdsintervallen, hoe klein ook genomen, gelijke snelheidstoename of afname worden verworven.

De valbeweging is een veranderlijke beweging met constante versnelling.

Samenstellen van een erb en een evb geeft een parabool.

Krachten

Een kracht kan een voorwerp vervormen.

De vervorming, die een kracht bij een voorwerp veroorzaakt, noemen we de statische uitwerking van die kracht.

De vervorming kan plastisch (blijvend) of elastisch (tijdelijk) zijn.

Veerkracht ontstaat binnen een voorwerp als het elastisch vervormd wordt. De veerkracht neemt toe met de vervorming.

Telkens wanneer een kracht als actie optreedt, ontstaat onmiddellijk een even grote, tegengestelde kracht. We noemen die kracht de reactie.

Het symbool voor de grootte van een kracht is F .

De eenheid van kracht is Newton (afgekort: N).

De grootte van een kracht wordt gemeten met een dynamometer.

Een kracht kunnen we voorstellen door een vector.

Een kracht wordt bijgevolg gekenmerkt door een grootte, een richting, een zin en een aangrijpingspunt.

Eigenschappen van vectoren kunnen ook op krachten toegepast worden.

Een kracht kan een voorwerp in beweging brengen.

Een kracht kan een bewegend voorwerp doen stoppen.

De verandering in bewegingstoestand, die een kracht bij een voorwerp veroorzaakt, noemen we de dynamische uitwerking van die kracht.

Zolang er geen uitwendige krachten op inwerken:

- blijven rustende voorwerpen in rust
- blijven bewegend voorwerpen in beweging.

Traagheid toont aan dat lichamen willen volharden in hun bewegingstoestand.

Een lichaam in rust en waarop geen krachten werken blijft in rust. Een lichaam in beweging en waarop geen krachten werken blijft eenparig bewegen.

Het verband tussen kracht en versnelling wordt gegeven door de formule $F = m \cdot a$

Traagheid is de eigenschap in verband met de wijze waarop een lichaam zich verzet tegen de verandering van rust en beweging ==> dynamische eigenschap

Massa is de eigenschap in verband met de hoeveelheid materie, de grootte wordt geschat met de zwaartekracht
==> statische eigenschap

Bij de valbeweging is de toename van de kinetische energie = de afname van de potentiële energie

Algemeen: energie kan ontstaan noch verdwijnen, ze kan alleen van de ene vorm in de andere vorm worden doorgegeven

Recente inzichten

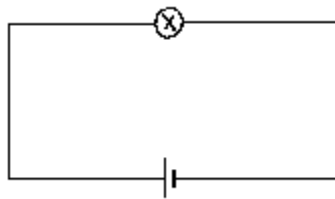
Bij grote snelheden moet je relativistisch te werk gaan. De massa, de lengte en de tijd worden oneindig.

ELEKTRICITEIT DC

Het woord 'elektriciteit' doet jou waarschijnlijk denken aan het gebruik van diverse toestellen zoals lampen, versterkers, televisietoestellen, video's, radio's, stofzuigers, wasmachines, stereoketens enz. Voor jou komt het er op neer dat je de stekker in het stopcontact steekt en de schakelaar op 'aan' zet. Wij zijn kritischer en bezinnen ons over de werking er van. Al deze toestellen, hoe ingewikkeld ook, werken omdat er deeltjes doorheen de elektriciteitsdraden stromen. We noemen die deeltjes elektronen. Elektronen kunnen we je niet tonen, maar we kunnen je wel laten zien wat ze doen.

PROEF

We bouwen een eenvoudige stroomkring op met een batterij, een lampje en verbindingsdraden.



Waarneming

Zodra de stroomkring gesloten is, gaat het lampje branden.

Verklaring

Het lampje brandt omdat er elektronen doorheen stromen.

Noot

Misschien rinkelt er bij jou een belletje wanneer we de hele tijd spreken over elektronen en leg je het verband met je lessen chemie. Daar heb je gezien dat een atoom bestaat uit een kern en een elektronenmantel. In die elektronenmantel bewegen de elektronen zich op bepaalde energieniveaus of schillen. Vooral de elektronen op de buitenste schil (= valentie elektronen) zijn erg beweeglijk. In het bijzonder kunnen de valentie elektronen van metalen zich losmaken van het atoom en zich bijvoorbeeld door een metalen draad bewegen.

1 ELEKTROSTATICA

1 Elektrisch laden door wrijving

Elektrische ladingen ontstaan niet alleen in een batterij.

PROEF

We wrijven een PVC buis (of eboniet) met een wollen doek. Daarna houden we de staaf in de buurt van kleine voorwerpen zoals papiersnippers, katoendraadjes, een dunne waterstraal enz.

Waarneming

De voorwerpen worden aangetrokken door de PVC staaf.

Verklaring

Door de wrijving zijn er elektronen van de wollen doek overgesprongen op de buis. Daardoor draagt de staaf een negatieve elektrische lading.

Met de volgende proef kun je de elektronen als het ware 'horen' springen.

PROEF

Een PVC staaf wordt gewreven met een wollen doek. Daarna houden we de elektrisch geladen staaf dicht bij het uiteinde van een draad die verbonden is met de ingang van een versterker (bv. een microfoon ingang).

Waarneming

De elektronen springen over van de staaf op de draad. Bij elke sprong loopt een kleine elektrische stroom door de draad naar de versterker.

In het dagelijks leven zie je zeer dikwijls dat voorwerpen elektrisch geladen worden door wrijving.

- Als je een kam door je droge haren haalt, worden ze zodanig opgeladen dat je meteen een heel volumineus kapsel krijgt.
- Bij het uittrekken van een wollen trui, kunnen de vonken er letterlijk afspringen.
- Bij het aanraken van het televisiescherm kun je een vreemd geknetter horen.
- Als je een poes aait, die zich bij de kachel gewarmd heeft, komen al haar haren overeind te staan. Dat verschijnsel hoeft dus niet altijd te wijzen op een boos humeur van je troeteldier.
- Het vast nemen van een autodeur kan je soms een heel onaangename 'schok' bezorgen, vooral bij kurkdroog winterweer.
- Als je de was uit de droogtrommel haalt, kleven veel kledingstukken aan elkaar: ze zijn elektrisch geladen.

Schematisch

Elektrische ladingen kunnen ontstaan door wrijving.

2 Positieve en negatieve ladingen

PROEF

Voor deze proef kiezen we opzettelijk uiterst eenvoudig materiaal. Als je zin hebt, kun je de proef thuis nog eens overdoen. Zorg er dan voor met goed droog materiaal te werken (vooraf bij de verwarming leggen).

Een licht plasticen staafje, aan een kant gemarkeerd, wordt met zijn middelpunt op de punt van een naald (bevestigd in een kurk) geplaatst.

Een eenvoudig drinkrietje kan hier goed dienst bewijzen: als je het aan een zijde in het midden doorboort, kan het gemakkelijk op de punt van de naald ronddraaien.

a De gemarkeerde zijde van het drinkrietje wordt nu eerst met een stuk badspons (of een zijden doek) opgewreven. Daarna wrijven we met dezelfde doek een andere plasticen staaf (een plasticen liniaal volstaat hier) en naderen daarmee de gemarkeerde zijde van het rietje. Je merkt dat het plasticen rietje afgestoten wordt.

b We wrijven nu een glazen staaf (misschien vind je die bij het punchstel van je moeder) met een wollen doek en naderen weer de gemarkeerde kant van het rietje. Het plasticen rietje wordt nu duidelijk aangetrokken.

Besluit

Door wrijving ontstaan er op het plasticen staafje ladingen.

Uit de proef kunnen we ook nog afleiden dat er twee soorten ladingen zijn:

- enerzijds de lading op plastic of eboniet. Bij het wrijven van plastic of eboniet zullen er elektronen van de wrijfdoek overspringen op de staaf, zodat hij negatief opgeladen wordt.
- anderzijds de lading op glas: door wrijving met een wollen (of zijden) doek zullen er elektronen overspringen van de staaf op het doek. De glazen staaf wordt daardoor positief geladen.

We kunnen meteen de onderlinge werking afleiden.

- Gelijksnamige ladingen stoten elkaar af. Twee positieve of twee negatieve ladingen stoten elkaar af.
- Ongelijksnamige ladingen trekken elkaar aan. Een positieve en een negatieve lading trekken elkaar aan.

Schematisch

Er zijn twee soorten elektrische ladingen:

- negatieve ladingen (op eboniet, plastic...)
- positieve ladingen (op glas...)

Ongelijksnamige ladingen trekken elkaar aan.

Gelijksnamige ladingen stoten elkaar af.

3 Hoeveel elektrische lading?

Hoe kan je iemand uitleggen hoeveel water er in een beker zit? Je zou kunnen vertellen dat er $3,3 \cdot 10^{25}$ moleculen water in die beker zitten. Er is echter veel kans dat je toehoorder weinig of niets aan die boodschap heeft. Als je hem echter zegt dat er 1 kg water in de beker zit, dan wordt dat meteen begrepen. Voor de insiders willen we er nog bij vermelden dat 1 kg water overeen komt met $3,3 \cdot 10^{25}$ moleculen.

Om een hoeveelheid lading aan te duiden redeneren we op dezelfde manier. Op een geweven staaf zitten gewoonlijk heel veel elektronen, namelijk van miljoenen tot miljarden!! Om het tellen van die elektronen te vermijden heeft men een geschikte eenheid gecreëerd. Een totaal van $6,25 \cdot 10^{18}$ elektronen noemen we een elektrische lading (q) van 1 Coulomb (1C). Kunnen jullie nu berekenen hoe groot de elektrische lading is van 1 elektron (uitgedrukt in C)?

Een Coulomb is een zeer grote eenheid. Op een geweven eboniet staafje kan je hoogstens enkele miljarden Coulomb aanbrengen. Bij een blikseminslag worden enkele tientallen Coulomb verplaatst. Een elektrisch toestel heeft doorgaans een zeer grote dosis lading nodig om te kunnen werken. Een batterij van 1,5 Volt bijvoorbeeld levert in enkele uren gemakkelijk 1000 C elektrische lading. Een elektrische lading stellen we voor door het symbool 'q'.

Schematisch

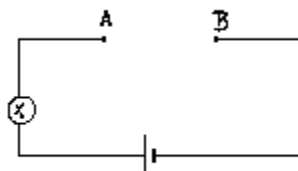
Het symbool voor elektrische lading is 'q'.
De eenheid van lading is de Coulomb (afgekort: C).

4 Geleiders en isolatoren

In de eerste proef hebben we een stroomkring opgebouwd. We hebben toen gezien dat de stroomkring volledig gesloten moet zijn opdat het lampje zou branden. Maar er is meer. Het is niet om het even welk materiaal we gebruiken om een stroomkring op te bouwen. Dit bewijzen we met de volgende proef.

PROEF

We maken een stroomkring zoals afgebeeld op de tekening.



Wanneer we de klemmen A en B tegen elkaar duwen, dan is de stroomkring gesloten. Resultaat: de lamp brandt. Daarna klemmen we verschillende voorwerpen (uit diverse materialen) tussen de klemmen en controleren telkens of het lampje de duisternis doet oplichten.

Onze waarnemingen hebben we samengevat:

Een houten lucifer, een plastic rietje, een glazen staaf... geleiden de elektrische stroom niet.

Een koperdraad, een stalen lepeltje, een staaf grafiet uit een potlood... geleiden de elektrische stroom wel.

Besluit

We kunnen de materialen duidelijk indelen in twee groepen:

- enerzijds zijn er stoffen die de elektrische stroom geleiden. Dit noemen we geleiders.
- anderzijds bestaan er ook heel wat stoffen die de elektrische stroom niet geleiden. Dit zijn isolatoren.

Schematisch

Geleiders geleiden de elektrische stroom.

Isolatoren geleiden de elektrische stroom niet.

5 Geladen of niet geladen?

Je kent nu reeds een methode om aan te tonen of een voorwerp elektrisch geladen is. Maar wij willen nog meer. We willen ook een idee krijgen over de grootte van de lading. Een eenvoudig maar vernuftig toestelletje dat daarvoor dient is de elektroscoop. Een elektroscoop bestaat uit een metalen staaf waaraan een licht metaalblaadje hangt. Boven aan het staafje zit een metalen bol (de knop). Het staafje en de blaadjes zitten gewoonlijk in een glazen fles om ze goed te isoleren van de omgeving.

PROEF

We raken de knop van de elektroscoop aan met een niet gewreven eboniet staaf. Daarna raken we de knop aan met een licht gewreven staaf. Tenslotte brengen we de knop in contact met een sterk gewreven staaf.

Waarneming

Bij aanraking met de licht gewreven eboniet staaf wijken de blaadjes uit elkaar. Een sterk gewreven staaf doet de blaadjes meer uiteen wijken.

Verklaring

Door de knop van de elektroscoop aan te raken met de eboniet staaf hebben we de elektronen erop overgebracht. Ze verspreiden zich via de bol over de staaf, en het metaalblaadje. Beiden dragen daardoor dezelfde lading en stoten elkaar af. We hebben de elektroscoop opgeladen door contact. De ladingen zijn daarna door geleiding op de metalen blaadjes terechtgekomen.

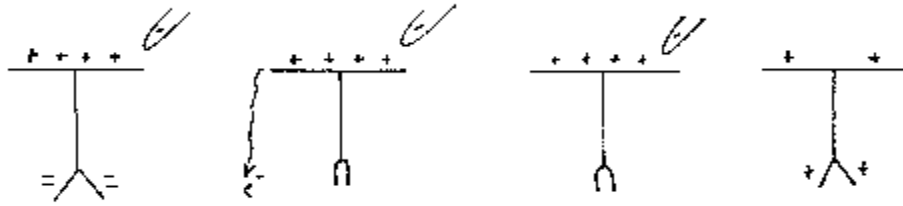
Schematisch

Met een elektroscoop kunnen we aantonen of een voorwerp al dan niet geladen is. Door de grootte van de uitwijking krijgen we een idee over de grootte van de lading.

6 Laden door inductie

Je weet al dat we door contact ladingen kunnen overbrengen van het ene voorwerp naar het andere door contact. Een voorwerp kan echter ook geëlektriseerd worden, enkel door het in de nabijheid van een geladen voorwerp te brengen.

PROEF



a We brengen een gewreven eboniet staaf in de nabijheid van een elektroscop (niet aanraken!!)

Waarneming

De blaadjes wijken uit elkaar.

Verklaring

In de metalen geleiders van de elektroscop zitten de positieve ionen vast, de negatieve elektronen bewegen er kriskras tussendoor. Wanneer we een negatieve lading in de buurt van de knop brengen, sprinten de elektronen zover mogelijk weg naar de blaadjes! Die zijn dus beide negatief geladen en... ziezo, ze stoten elkaar af. Ondertussen heeft de knop natuurlijk een tekort aan elektronen: hij wordt dus positief geladen.

b We verbinden de knop van de elektroscop met de aarde door een metalen draadje. (Je kan even goed de knop aanraken met een vinger: je lichaam speelt dan voor aarde).

Waarneming

De blaadjes vallen samen.

Verklaring

De extra elektronen in de blaadjes zien hun kans schoon om nog verder weg te raken van de negatieve ladingen van de eboniet staaf. Ze zetten het op een lopen, via de metalen draad, naar de aarde.

c We verwijderen het metalen draadje, maar laten de eboniet staaf in de buurt van de elektroscop.

Waarneming

Alles blijft bij het oude.

Verklaring

De knop heeft nog steeds elektronen tekort en blijft dus positief.

d Tenslotte nemen we nu ook de eboniet staaf weg.

Waarneming

De blaadjes wijken opnieuw uit elkaar.

Verklaring

Gedeelde elektronen armoede!! De elektronen in de blaadjes worden niet meer afgestoten door de eboniet staaf: ze verspreiden zich dus over heel de elektroscop en proberen het tekort in de knop aan te vullen. Nu hebben de blaadjes echter ook elektronen tekort en worden dus een beetje positief opgeladen, zodat de blaadjes elkaar afstoten.

Besluit

We kunnen ladingen overbrengen door inductie. Het teken van de geïnduceerde lading is daarbij tegengesteld aan die van de oorspronkelijke lading.

Schematisch

Ladingen kunnen op twee manieren overgebracht worden:

- door contact; de overgebrachte lading heeft hetzelfde teken als de oorspronkelijke lading
- door inductie; de geïnduceerde lading heeft het tegengesteld teken als de oorspronkelijke lading.

7 Wrijving... de vonken spatten er af

PROEF

Een elektriseermachine (bandgenerator van Van De Graaff) bestaat o.a. uit twee cilinders waar rond een rubberen riem gespannen zit.

Wanneer we de cilinders doen draaien, wrijft de rubberen band tegen de glazen cilinder (onderaan). Daardoor wordt een grote lading getransporteerd naar de grote bol. We plaatsen een kleine metalen bol op een vijftal centimeter van de grote bol en verbinden ze via een snoer. We laten de elektriseermachine draaien.

Waarneming

Na korte tijd zien we een vonk overspringen van de grote bol naar de kleine bol. Tegelijkertijd horen we een sterk geknetter. We hebben dus in feite een minibliksem geproduceerd.

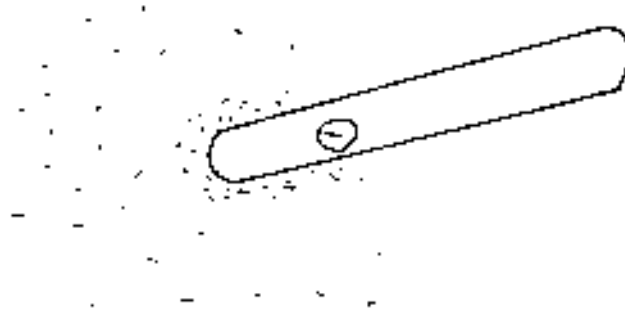
2 ELEKTRISCH VELD - POTENTIALAAL - SPANNING

1 Het elektrisch veld

Rond een elektrisch geladen voorwerp is er een ruimte, waarbinnen die lading zich laat gelden. We noemen die ruimte het elektrisch veld. Het veld zelf kunnen we niet zien, maar wel kunnen we zijn werking zichtbaar maken.

PROEF

Als je twee bordenwissers tegen elkaar klopt vliegt er een wolk krijtstof uit. We houden een geladen PVC staaf in die stofwolk.



Waarneming

Rond de staaf verdwijnt het stof.

Verklaring

De krijtdeeltjes worden door de staaf aangetrokken.

2 De elektrische veldlijn

Om ons ook op papier een voorstelling te kunnen maken van het elektrisch veld gebruiken we veldlijnen. De veldlijnen zien we niet in het echt, wel kunnen het elektrisch veld vergelijken met het zwaarteveld.

Rond een geladen voorwerp heerst een elektrisch veld. Plaatst men een ander geladen voorwerp in de nabijheid, dan ondergaat dit een krachtwerking, men spreekt dan van elektrische krachtwerking. Brengt men een geleider in de nabijheid van een elektrisch veld dan hebben we een influentiewerking (aantrekken of afstoten).

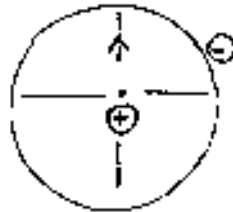
Wat is een veldlijn?

Een elektrische veldlijn is een lijn waarvan de raaklijn in een willekeurig punt de richting aangeeft van de kracht, die uitgeoefend wordt door het veld op een lading die in dat punt is geplaatst. Onderstaande voorbeelden maken dat duidelijk.

Voorbeeld 1: Het veld van een plus en een minlading



Voorbeeld 2: Een bolveld



Besluiten

- 1 Door elk punt van het veld gaat slechts een veldlijn.
- 2 De veldlijn ontspringt of komt toe loodrecht op de geleider
- 3 Een veldlijn verbindt steeds ongelijknamige ladingen en we kiezen de zin van plus naar min.

3 De elektrische veldsterkte

Hoe groter de lading, hoe groter de krachtwerking zal zijn zodat

$$F \sim q$$

of $F/q = \text{constante}$

Die constante stellen we gelijk aan E , de elektrische veldsterkte. Ze is afhankelijk van de sterkte van het veld en afhankelijk van de plaats waar q zich bevindt (hoe verder q , hoe kleiner F)

$$F = q \cdot E$$

We kunnen E ook als een vectoriële grootheid behandelen en dan spreekt men over de veldvector E met richting: rakend aan de veldlijn en zin: zin van de veldlijn.

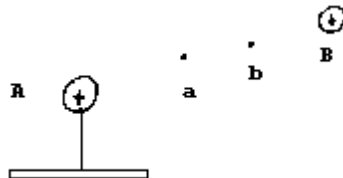
Eenheden van E 1 N/C (of 1 V/m)
 (want $N/C = N \text{ m} / C \text{ m} = J / C \text{ m} = V/m$:zie verder)

Schematisch

Rond een elektrisch geladen voorwerp is er een ruimte, waarbinnen de werking van die lading voelbaar is. We noemen die ruimte het elektrisch veld.
 Het elektrisch veld wordt zichtbaar gemaakt met veldlijnen.
 De veldsterkte E wordt gegeven door: $E = F / q$

4 Elektrische spanning tussen twee punten

Spanning is er alom. Maar... zoals de titel het al laat vermoeden willen wij ons nuchter beperken tot de elektrische spanning. Om het begrip duidelijk te maken geven we een voorbeeld.



Een metalen bol A is elektrisch geïsoleerd opgesteld op een tafel. De bol draagt een positieve lading. Voor de rest beschik je ook over een klein metalen bolletje B dat een positieve lading van 1C draagt. Je wil dat bolletje nu van punt b naar punt a brengen. Dat gaat niet vanzelf, want het positieve bolletje wordt afgestoten door de grote positieve lading A. Je moet dus arbeid (W) verrichten. De arbeid die nodig is om het bolletje B (+ 1C) van b naar a te brengen noemen we de spanning tussen a en b. Het symbool voor spanning is 'U'.

Willen we een lading van + 2 C overbrengen, dan is er tweemaal meer arbeid nodig; voor een lading van + 3 C is er driemaal meer arbeid nodig. Voor een lading van + q C tenslotte is de arbeid W gegeven door:

$$W = q \cdot U$$

Deze formule kunnen we ook schrijven als: $U = W / q$

Om de eenheid te vinden, vertrekken we van deze formule:

- de eenheid voor arbeid is de Joule (J)
- de eenheid voor lading is de Coulomb (C).

De eenheid van spanning is dus: J/C. Deze eenheid draagt een naam. We noemen ze de Volt, afgekort 'V'.

Schematisch

De spanning tussen twee punten b en a is gelijk aan de arbeid die we moeten verrichten om de eenheidslading van b naar a te brengen. Het symbool is U. De eenheid is de Volt (V).

5 Potentiaal

De (elektrische) potentiaal is de potentiële energie die de eenheidslading in het beschouwde punt bezit.

Of ook: Het is de arbeid die nodig is om de positieve eenheidslading vanaf de plaats waar we de potentiaal nul kiezen (op oneindig) tot in het beschouwde punt te brengen. We gebruiken V als symbool voor potentiaal.

Nu is $W = dE_{pot} = E_{pot_0} - E_{pot} = q \cdot V_0 - q \cdot V = q \cdot (V_0 - V)$

$$W / q = V_0 - V = U$$

$V_0 - V$: potentiaal verschil

U : spanning

V : potentiaal

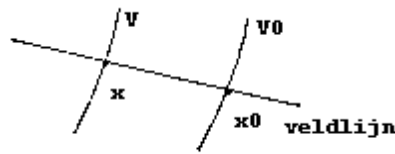
Spanning en potentiaal worden uitgedrukt in V (Volt)



Een equipotentiaal oppervlak is de verzameling van alle punten van een elektrisch veld die dezelfde potentiaal hebben. Ze liggen op een oppervlak dat men equipotentiaal oppervlak noemt. Bij een puntlading zijn dat concentrische cirkels rond de puntlading. Verplaatst men een lading langs een equipotentiaal oppervlak, dan wordt door het veld geen arbeid geleverd, we verrichten inderdaad alleen arbeid als we een lading in het veld brengen. De equipotentiaal oppervlakken snijden de veldlijnen onder rechte hoeken.

6 Potentiaal en veldsterkte

We onderzoeken nu het verband tussen potentiaal en veldsterkte.



$$W = F \cdot dx = E \cdot q \cdot dx$$

$$\text{of } q \cdot (V_0 - V) = E \cdot q \cdot (x - x_0)$$

$$\text{of } V_0 - V = E \cdot (x - x_0)$$

$$E = -dV/dx$$

Veronderstel dat we de potentiaal V kennen nl. $V = \frac{q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot x}$

met $\epsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}$ As/Vm een constante die we de permittiviteit noemen (zie later).

dan is $E = -dV/dx$

$$E = - \frac{d}{dx} \left(\frac{q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot x} \right) = - \frac{q}{4\pi \epsilon} \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{x} \right)$$

$$= - \frac{q}{4\pi \cdot \epsilon} \cdot \left(- \frac{1}{x^2} \right)$$

$$E = \frac{q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot x^2}$$

7 Spanning en veldsterkte

In een batterij van 4,5 V is er tussen de punten a en b een spanning van 4,5 V. Men spreekt ook over een potentiaalverschil. De langste aansluitklep heeft de laagste potentiaal en noemen we de negatieve pool. De korte aansluitklep heeft de hoogste potentiaal en is de positieve pool.

Nu we het begrip spanning kennen, is het mogelijk om een tweede formule op te stellen voor de sterkte van het elektrisch veld.

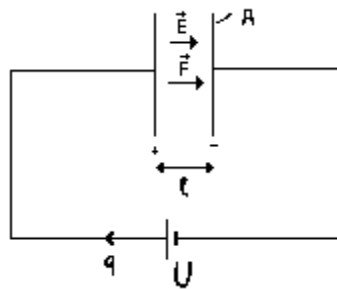
Ze is namelijk gelijk aan:

$$E = U / d$$

De veldsterkte 'E' is ook gelijk aan de verhouding van spanning tot afstand. De eenheid van spanning is V en de eenheid van afstand is m, zodat E ook in V/m kan uitgedrukt worden.

Berekening van de veldsterkte in een homogeen veld

We tonen aan dat bovenstaande formule geldig is bij volgende opstelling. Een homogeen veld is een veld waar de veldsterkte overal dezelfde is.



U : spanning bron

d : afstand tussen de platen

A : oppervlakte van de platen

q : lading

De kracht van de positieve lading is $F = q \cdot E$

De arbeid verricht tussen de geleiders $W_1 = F \cdot d = q \cdot E \cdot d$

De arbeid door de bron geleverd $W_2 = U \cdot q$
(om lading q terug in bron te brengen)

Nu is $W_1 = W_2$ of $q \cdot E \cdot d = U \cdot q$

$$E = U/d$$

E kan dus ook in V/m uitgedrukt worden.

Schematisch

De veldsterkte wordt gegeven door de formules:

$$E = U/d \text{ en } E = F/q$$

8 Toepassing

Uit metingen weet men dat lucht geleidend wordt bij een veldsterkte van 3000000 V/m. Anders is lucht een isolator.

PROEF

We bouwen een transformator op als volgt: als primaire klos gebruiken we een klos van 600 windingen, die aangesloten is op het stroomnet (220 Volt). De secundaire klos is opgebouwd uit ongeveer 23.000 windingen. We schuiven de beide klossen over de benen van een hoefijzervormige weekijzeren kern en monteren er een weekijzeren kern bovenop, zodat het geheel gesloten is. Deze transformator is verbonden met twee elektroden die slechts op enkele millimeter van elkaar staan. We laten nu de elektrische stroom door de primaire klos gaan.

Waarneming

Tussen de beide elektroden zie je vonken overspringen.

Verklaring

We starten met een spanning van 220 V. Door de transformator wordt die echter omgezet in een zeer grote spanning (hoogspanning). Bovendien staan de elektroden erg dicht bij elkaar. De veldsterkte tussen de beide elektroden overschrijdt daardoor de waarde van 3.000.000 V/m zodat de lucht geleidend wordt.

In de buurt van een hoogspanningsleiding kan het elektrisch veld zelfs zo sterk zijn, dat TL buizen vanzelf gaan oplichten.

Ook bij vliegtuigen nemen we een analoog verschijnsel waar. Ze worden elektrisch opgeladen door atmosferische elektriciteit. Rond de vleugels wordt daardoor de veldsterkte zo groot dat de lucht geleidend wordt. Er ontstaat dan een meters lange zacht oplichtende elektrische ontlading. Dit noemt men het St. Elmusvuur. De wetenschappelijke naam is de corona-ontlading.

9 Voor wie meer wil weten... de wet van Coulomb

Aantrekken of afstoten is een duidelijke krachtwerking. De kracht waarmee bijvoorbeeld twee ladingen q_1 en q_2 elkaar aantrekken of afstoten, wordt gegeven door de wet van Coulomb.

Die wet zegt dat twee puntvormige ladingen (in het luchtledige) elkaar aantrekken of afstoten met een kracht die recht evenredig is met het produkt van de beide ladingen en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen de beide ladingen. Dit is een hele mond vol. We gaan de wet daarom systematisch analyseren:

- $F \sim q_1 \cdot q_2$ de kracht (uitgedrukt in N) is recht evenredig met het produkt van de ladingen (uitgedrukt in C)

- $F \sim 1/x^2$ de kracht is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand (uitgedrukt in m) tussen de beide ladingen.

Bijgevolg kunnen we de wet van Coulomb in de volgende formule gieten:

$$F = c^{te} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{x^2}$$

We kunnen de wet van Coulomb ook nog op een andere manier aantonen. Uit het voorgaande was reeds duidelijk dat ladingen een krachtwerking uitoefenen op elkaar, dit kan zowel een aantrekkings- of een afstotingskracht zijn.

Plaatst men een puntlading q_1 op een afstand x van q_2 , dan ondergaat de lading q_1 een kracht $F = q_1 \cdot E$

De veldsterkte door q_2 uitgeoefend is $E = q_2 / 4\pi \cdot \epsilon \cdot x^2$

zodat $F = \frac{q_2}{4\pi \cdot \epsilon \cdot x^2} \cdot q_1$

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{x^2}$$

In de uitdrukking $1 / 4\pi \cdot \epsilon$ is $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$

met $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As / Vm}$ en ϵ_r de relatieve permittiviteit (geen eenheden).

Na uitrekenen merken we dat $1/4\pi \cdot \epsilon = 9 \cdot 10^9 \text{ Vm/As}$.

Hierbij is $9 \cdot 10^9$ een constante die geldt voor het luchtledige. Daar ϵ_r voor lucht ongeveer gelijk is aan 1 zal deze constante ook voor lucht gelden.

Op een geleider bevinden de ladingen zich op het buitenoppervlak. Binnen een holle geleider is er nooit een elektrisch veld als er zich geen ladingen binnen de holte bevinden: kooi van Faraday.

De wet van Coulomb heeft dezelfde structuur als de wet van Newton voor de algemene gravitatie.

10 Elektrische flux en elektrische inductie

De elektrische flux ψ (psi) is een maat voor de intensiteit van een aantal veldlijnen die een oppervlakte snijden. De eenheid is Coulomb (C). De elektrische inductie D legt het verband tussen veldsterkte en de stof waarin de lading zich bevindt. Ze wordt gegeven door de formule: $D = \epsilon \cdot E$ met D in C/m^2 want ϵ in As/Vm en E in V/m . Anderzijds is $D = d\psi/dA$ dus ψ in C (Coulomb). De aanwezigheid van een middenstof rond de geleider verzwakt de veldsterkte, men spreekt over polarisatie. Dit wordt door ϵ_r , de relatieve permittiviteit weergegeven bv. $\epsilon_r = 80$ voor water (geen eenheden)

11 Vragen en opgaven

1. Met welke proef hebben we het principe van de aarding van elektrische toestellen aangetoond? Verklaar.
2. Tussen twee geleiders brengen we een spanning 25.000 V. Als ze op 1,5 cm afstand van elkaar staan, hoeveel bedraagt dan de veldsterkte?
3. Welke krachten oefenen twee metalen geleiders op elkaar uit wanneer ze allebei een lading van $0,5 \cdot 10^{-6}$ C dragen en zich op 5,0 cm van elkaar bevinden?
4. Op welke afstand moeten twee bolvormige geleiders, met respectievelijke ladingen van $0,294 \cdot 10^{-6}$ C en $0,147 \cdot 10^{-6}$ C, van elkaar verwijderd zijn opdat ze elkaar zouden afstoten met een kracht van 5,0 N.
5. Welke lading moet op aarde worden aangebracht om haar potentiaal gelijk aan 1 V te maken? ($R_A = 6370$ km)
6. Twee ladingen van resp. $+ 13,3 \cdot 10^{-9}$ C en $+ 6,66 \cdot 10^{-9}$ C bevinden zich op 20 cm van elkaar verwijderd. Zoek de veldsterkte (grootte, richting en zin) in het middelpunt van hun verbindinglijn.
7. Bereken de kracht waarmee het H^+ en het Cl^- ion gebonden zijn in het molecuul HCl (straal $H^+ 1,5 \cdot 10^{-8}$ cm; straal $Cl^- 1,8 \cdot 10^{-8}$ cm) De lading van het elektron is $1,60 \cdot 10^{-19}$ C.
8. Een elektrische slinger draagt een vierpitbolletje dat 6,0 mg als massa heeft en een lading van $1 \cdot 10^{-8}$ C draagt. Bereken de sterkte van een horizontaal elektrisch veld dat dit bolletje over een hoek van 20° doet uitwijken.

3 STROOM IN VASTE STOFFEN

1 Stroom en spanning

Op een koude, droge winterdag doe je een uitstap met de auto. Je opent de deur, stapt uit en raakt de metalen klink aan om het portier dicht te slaan. Voor je het weet, krijg je een vervelende tinteling in je vingers.

Verklaring

Tijdens de autorit hebben zich door wrijving elektrische ladingen opgehoopt op het koetswerk van de auto. Daardoor is een elektrische spanning ontstaan tussen de auto en de aarde. Bij aanraking van het koetswerk is er daardoor een kortstondige en zwakke elektrische stroom door je lichaam gegaan. Daarna is de auto ontladen en kan je hem zonder hinder opnieuw aanraken: er is geen spanning meer tussen auto en aarde.

Soms is de ontmoeting tussen spanning en elektrische stroom niet zo onschuldig en kan het zelfs de dood voor gevolg hebben. Een radio (aangesloten op het stroomnet) op de rand van het bad is bijvoorbeeld uitermate gevaarlijk. Tussen de twee aansluitpunten van het stopcontact heerst er een blijvende spanning van 220 V. Als de radio dan bij ongeluk in het bad tuimelt, wordt de elektrische stroom via het water door je lichaam geleid. Deze aanhoudende, sterke elektrische stroom is in de meeste gevallen dodelijk. Het grote gevaar in deze situatie wordt veroorzaakt door de blijvende elektrische spanning, die een continue elektrische stroom veroorzaakt.

Heb je toevallig al eens schrikdraad aangeraakt? Je schrikt er echt van. Misschien schrik je nog meer als je op het aangebrachte plaatje de waarde voor de elektrische spanning tussen draad en aarde afleest. Ze bedraagt maar liefst 2000 V (hoogspanning). Toch heeft aanraking door dier of mens geen dodelijk gevolg. Een elektronische schakeling zorgt er immers voor dat geen sterke of blijvende elektrische stroom door het lichaam kan vloeien.

Schematisch

Een elektrische spanning over een geleidend lichaam veroorzaakt een elektrische stroom door dat lichaam. Om een elektrische stroom te onderhouden, is er een blijvende elektrische spanning nodig.

2 Spanning en stroomsterkte

We herhalen nog even dat spanning (U) uitgedrukt wordt in volt (V). Spanning wordt gemeten met een voltmeter. Hierbij is het de bedoeling om de spanning tussen twee punten te meten. De uiteinden van de voltmeter moeten dus verbonden worden met die twee punten. De voltmeter staat dus buiten de stroomkring.

PROEF

We meten de spanning over een batterij en over een lampje. We bouwen hierbij de volgende stroomkringen op. Een omcirkelde V is het symbool voor een voltmeter.



Voorbeelden van spanning zijn:

zenuwimpuls : 0.1 V
 ronde batterij : 1.5 V
 power pack : 9 V
 netspanning : 220 V
 hoogspanning : 150000 V

De stroomsterkte is de hoeveelheid lading die per seconde door een geleider gaat. Het symbool voor stroomsterkte is 'I'. De eenheid ervan is de ampère (A). In formule:

$$I = \frac{q}{t}$$

De stroomsterkte wordt gemeten met een ampèremeter. In een stroomkring wordt een ampèremeter voorgesteld door een omcirkelde A. Om je een idee te geven hoeveel stroomsterkte elk toestel nodig heeft, staan hieronder enkele voorbeelden.

toestel stroomsterkte

telefoon, radio enkele mA
 gloeilamp 0,2 - 1 A
 stofzuiger 2 - 5 A
 elektrisch fornuis 10 - 30 A
 startmotor auto 100 A
 tram 100 - 250 A

We hebben al verteld dat een blijvende spanning een aanhoudende elektrische stroom veroorzaakt. Zo'n continue spanning ontstaat in een spanningsbron of stroombron. Aan

zo'n stroombron zijn er altijd twee aansluitklemmen of polen: er is namelijk een positieve pool en een negatieve pool.

Als je ons nu vraagt in welke zin de elektrische stroom door de geleider gaat, krabben we eigenlijk een beetje met de handen in het haar.

Je weet dat een elektrische stroom niets anders is dan een verplaatsing van elektronen. In een stroombron is de negatieve pool de pool met een teveel aan elektronen, terwijl de positieve pool een tekort aan elektronen heeft. Het is dus heel normaal dat de elektronen van de negatieve naar de positieve pool stromen. Lang voordat men wist wat een elektrische stroom in feite is, hadden de wetenschappers ook al een stroomzin gekozen. Zij bepaalden namelijk dat de elektrische stroom zich verplaatst van de positieve naar de negatieve pool. We noemen dit de conventionele stroomzin. Deze stroomzin is behouden gebleven. Voortaan zullen wij dus altijd aanduiden dat de elektrische stroom gaat van de positieve naar de negatieve pool.

3 Vragen en opgaven

1 Een lading van 10 C doorloopt een koperen draad in 5 minuten. Bereken de stroomsterkte.

2 Hoelang duurt het vooraleer een lading van 10 mC door een geleider vloeit als de stroomsterkte 1,2 A bedraagt?

Schematisch

Spanning (U) wordt uitgedrukt in volt (V). We kunnen ze meten met een voltmeter. De stroomsterkte is de hoeveelheid lading die per seconde door een geleider gaat: $I = q/t$

De eenheid van stroomsterkte (I) is de ampère (A). Ze wordt gemeten met een amperemeter.

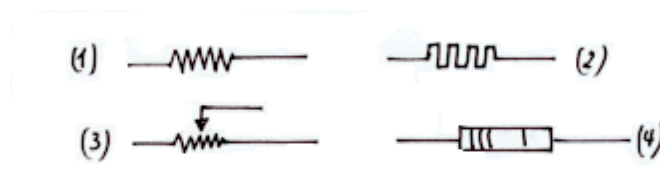
De elektrische stroom gaat van de positieve naar de negatieve pool. Dit is de conventionele stroomzin. In werkelijkheid gaat de elektronenstroom van negatief naar positief.

4 Weerstand

Een elektrische stroom is een verplaatsing van elektronen. Dit is niet de eerste keer dat we dit zeggen. Die elektronen bewegen zich tussen de metaalionen van het metaal waaruit de draad gemaakt is. Dit gaat niet altijd even gemakkelijk. We drukken dit uit door te zeggen dat de metalen draad weerstand uitoefent op de bewegende elektronen.

In een stroomkring bestaat een weerstandsdraad (kortweg: weerstand) uit een metalen draad (meestal koper of constantaan). Je weet dat we in een stroomkring alle onderdelen voorstellen door een geijkt symbool. Ook weerstand wordt voorgesteld door een symbool. Het is echter wel een beetje ingewikkelder, want we onderscheiden meerdere symbolen:

- een onbekende weerstand wordt voorgesteld door figuur 1.
- een geijkte weerstand symboliseren we als figuur 2.
- een variabele of schuifweerstand wordt getekend als figuur 3.
- een staafweerstand krijgt een kleurcode in figuur 4.



Schematisch

Metalen oefenen een weerstand uit op de elektrische stroom.

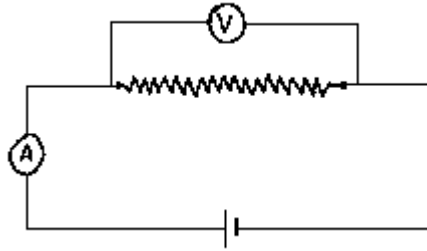
5 De wet van Ohm

We hebben nu al spanning, stroomsterkte en weerstand leren kennen. We onderzoeken nu het verband tussen deze drie factoren.

LABPROEF

We bouwen een stroomkring op met de volgende onderdelen:

- een regelbare stroombron
- vijf snoeren
- een Cr/Ni-weerstand (0,4 mm), gespannen tussen twee klemmen
- een ampèremeter
- een voltmeter over de Cr/Ni-weerstand



Voor verschillende spanningen op de Cr/Ni-draad lezen we telkens de overeenkomstige stroomsterkte af. Dit levert de volgende tabel:

spanning U (V)	stroomsterkte I (A)	U / I (V/A)

Waarnemingen

- Als de spanning stijgt dan neemt ook de stroomsterkte toe.
- Wanneer de spanning twee of drie maal zo groot wordt, neemt ook de waarde van de stroomsterkte twee tot drie keer toe.

Besluit

Wanneer we de derde kolom van de tabel invullen, merken we dat de verhouding U/I een constante waarde heeft.

PROEF

We herhalen de voorgaande proef volledig, maar nu werken we met een koperweerstand van dezelfde dikte (0,4 mm).

Waarneming

Opnieuw blijft de verhouding U/I constant. Ze heeft weliswaar een andere waarde dan bij Cr/Ni.

Besluit

De verhouding U/I is een constante voor een welbepaalde draad. Deze constante noemen we de weerstand van de draad. Weerstand stellen voor door het symbool 'R'.

In formule kunnen we de weerstand dus uitdrukken als: $R = U / I$ De eenheid van weerstand is de Ohm (Ω) = 1 V / 1 A.

De formule kunnen we ook schrijven als: $U = R \cdot I$

Dit is de wet van Ohm: de stroomsterkte door een geleider is recht evenredig met de spanning en omgekeerd evenredig met de weerstand.

Schematisch

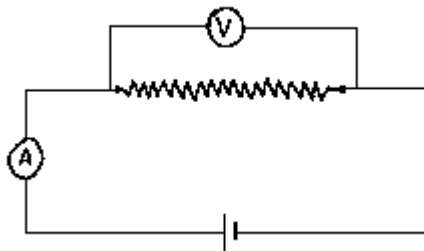
Weerstand stellen we voor door het symbool 'R' met eenheid de Ohm (Ω). In formule:
 $U = R \cdot I$

De stroomsterkte door een geleider is recht evenredig met de spanning en omgekeerd evenredig met de weerstand. Dit is de wet van Ohm.

6 De wetten van Pouillet

We weten nu al wat weerstand is, maar nu willen we onderzoeken van welke factoren hij afhankelijk is.

LABPROEF



a) We bouwen dezelfde stroomkring op als bij de wet van Ohm. We laten de lengte van de draad echter variëren en meten telkens (bij dezelfde spanning) de overeenkomstige stroomsterkte. Onze waarnemingen noteren we in de tabel.

lengte (m) spanning (V) stroomsterkte (A) weerstand (Ω)

lengte (m)	spanning (V)	stroomsterkte (A)	weerstand (Ω)

Besluit

Hoe langer de draad, hoe groter de weerstand.

b) Met dezelfde opstelling als hierboven gaan we bij een bepaalde lengte van een geleider nagaan of de doorsnede (oppervlakte A) een invloed heeft op de weerstand van die geleider.

doorsnede (m^2) spanning (V) stroomsterkte (A) weerstand (Ω)

doorsnede (m^2)	spanning (V)	stroomsterkte (A)	weerstand (Ω)

Besluit

Hoe groter de doorsnede, hoe kleiner de weerstand.

c) Dezelfde opstelling kan opnieuw dienst bewijzen. We houden hierbij de lengte en de doorsnede constant maar nemen draden van verschillende materialen

materiaal spanning (V) stroomsterkte (A) weerstand (Ω)

materiaal	spanning (V)	stroomsterkte (A)	weerstand (Ω)

Besluit

De weerstand van een geleider is afhankelijk van de aard van het materiaal.

De drie voorgaande proeven kunnen we samenvatten in een wet, namelijk de wet van Pouillet:

De weerstand van een draad is recht evenredig met zijn lengte en omgekeerd evenredig met zijn doorsnede. Bovendien is de weerstand afhankelijk van de aard van de stof waaruit de draad gemaakt is.

In formule schrijven we de wet als:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Hierbij is:

- l: de lengte van de draad in m
- A: de doorsnede of oppervlakte van de draad in m²
- ρ : resistiviteit van de draad in Ωm

We merken op dat:

- de oppervlakte van een draad gegeven wordt door $A = \pi d^2/4$
- $1/\rho$ de conductiviteit is en uitgedrukt wordt in S/m met S = Siemens
- ρ ook afhankelijk is van de temperatuur o.a. bij proeven van elektroforese

Onderstaande tabel geeft je een idee van de resistiviteit van enkele materialen:

Materiaal	ρ ($10^{-8} \Omega\text{m}$)	
aluminium	2,8	
constantaan	49	(60% Cu, 40% Ni)
goud	2,4	
koolstof	3500	
koper	1,7	
lood	22	
manganine	44	(84% Cu 4% Ni 12% Mn)
nikkel	6,8	

platina	11
wolfram	5,5
zilver	1,6
zink	5,8

In een vroegere proef hebben we vastgesteld dat er 2 soorten stoffen waren, te weten geleiders en isolatoren. Er zijn echter ook nog stoffen die ergens tussenin zitten, te weten de halfgeleiders. Op basis van de resistiviteit kan je nu gemakkelijk het onderscheid maken:

geleiders $10^{-8} \Omega \cdot m < \rho < 10^{-4} \Omega m$

halfgeleiders $10^{-4} \Omega \cdot m < \rho < 10^4 \Omega m$

isolatoren $10^4 \Omega \cdot m < \rho < 10^{18} \Omega m$

7 Toepassing: de batterij tester

Bij sommige batterijen zit tegenwoordig een batterijtester. Dit strookje laat zien of de batterijen vol of leeg zijn en is onbepaald bruikbaar. De tester zelf bestaat uit een strookje, waarvan de uiteinden tegen de batterij moeten gehouden worden. Er verschijnt dan een gele balk, hoe langer de balk, hoe voller de batterij. Op een plasticstrook is een metaallaagje aangebracht dat een smalle basis heeft en een brede basis, het is een weerstand. De linker- en rechterkant zijn met gevoelige contactpunten verbonden. Over de metaallaag is een temperatuur gevoelige stof aangebracht die geel kleurt zodra de temperatuur boven een bepaalde waarde komt. Zodra de tester op de polen van de batterij is aangesloten, loopt er stroom die de weerstand opwarmt. Daar waar de metaallaag het smalst is, is de weerstand het grootst (wetten Pouillet), de warmteontwikkeling het grootst en dus ook de temperatuurstijging. Is de stroom klein dan zal maar een klein deel van de tester geel kleuren, is de stroom groter dan zal een hogere waarde bekomen worden. Men kan met behulp van een bekerglas met water dat verwarmd wordt de omslagtemperatuur van de gevoelige laag bepalen ($\pm 45^\circ C$)

Schematisch

De weerstand van een draad is recht evenredig met zijn lengte en omgekeerd evenredig met zijn doorsnede. In formule:

$$R = \rho \cdot l/A$$

De weerstand is ook afhankelijk van de aard van de stof waaruit de draad gemaakt is. Dit is de wet van Pouillet.

8 Vragen en opgaven

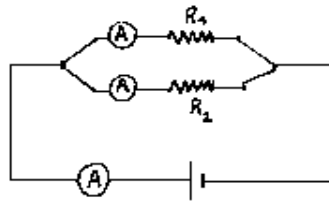
1 De spanning aan de uiteinden van een klos is 220 V. De nikkelen draad is 220 m lang en heeft $0,50 \text{ mm}^2$ doorsnede. De resistiviteit van nikkel is $7,0 \cdot 10^{-8} \Omega m$. Bereken de weerstand van de draad. Hoe groot is de stroomsterkte?

2 Een centrale zendt stroom naar een plaats op 20 km afstand. De leiding bestaat uit twee koperdraden van $4,0 \text{ mm}^2$ doorsnede ($\rho(\text{koper}) = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega m$). Hoe groot is de totale weerstand?

3 Bereken de resistiviteit van een constantaandraad die een weerstand van 56Ω heeft, 230 m lang is en 2,0 mm diameter heeft.

4 SCHAKELN VAN WEERSTANDEN

1 Stroomverdeling bij parallelschakeling



1^{ste} wet: de som van de stroomsterkten in de vertakkingen is gelijk aan de totale stroomsterkte.

$$I = I_1 + I_2 \text{ (1ste wet van Kirchoff)}$$

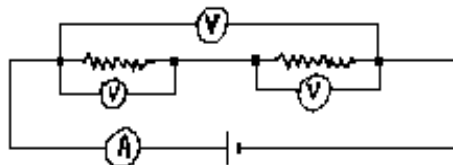
2^{de} wet: de stroomsterkte is omgekeerd evenredig met de weerstand.

$$I \sim 1/R \text{ of } I_1 / I_2 = R_2 / R_1$$

Deze laatste wet is in feite niets anders dan de wet van Ohm nl. $R \cdot I = \text{constante} = U$ met U in V .

Merk op dat we een voltmeter steeds parallel schakelen!

2 Spanningsverdeling bij serieschakeling



1^{ste} wet: bij serieschakeling is de som van de partiële spanningen gelijk aan de totale spanning.

$$U = U_1 + U_2 \text{ (2de wet van Kirchoff)}$$

2^{de} wet: bij serieschakeling van weerstanden zijn de partiële spanningen recht evenredig met de overeenkomstige weerstanden.

$$U \sim R \quad U_1 / U_2 = R_1 / R_2$$

Deze laatste is in feite weer de wet van Ohm nl. $U/R = \text{constante} = I$ met I in A .

Merk op dat we een ampèremeter steeds in serie moeten schakelen!

Schematisch

In een gesloten stroomkring is de totale stroomsterkte gelijk aan de som van de deelstromen.

In een gesloten stroomkring is de totale spanning gelijk aan de som van de deelspanningen.

3 Substitutieweerstand

Twee of meer weerstanden kunnen we in serie of in parallel schakelen. We zoeken dan naar de vervangingsweerstand of substitutieweerstand.

3.1 Serie

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 \\ &= R_1 \cdot I + R_2 \cdot I = (R_1 + R_2) \cdot I \end{aligned}$$

$$R = R_1 + R_2$$

Algemeen $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

bv.

$$R_1 = 3 \, \Omega \quad R_2 = 10 \, \Omega$$

dan is $R = 3 + 10 = 13 \, \Omega$. De totale R vergroot!!!

3.2 Parallel

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 \\ &= U/R_1 + U/R_2 = U \cdot (1/R_1 + 1/R_2) \end{aligned}$$

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2$$

Algemeen: $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$

bv.

$$R_1 = 2,0 \, \Omega \quad R_2 = 5,0 \, \Omega$$

dan is $1/R = 1/2 + 1/5 = 7/10$ of $R = 10/7 = 1,4 \, \Omega$

De totale R verkleint!

Schematisch

Bij serieschakeling is de substitutieweerstand gelijk aan de som van de afzonderlijke weerstanden.

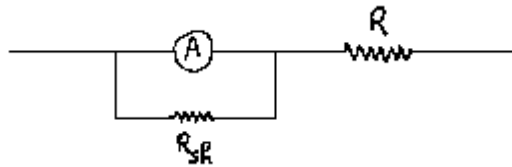
Bij parallelschakeling is het omgekeerde van de substitutieweerstand gelijk aan de som van de omgekeerden van de afzonderlijke weerstanden.

4 Ampèremeter - shunt

Een ampèremeter staat in serie met de geleider.

Dus moet $R(\text{A-meter}) < R(\text{geleider})$ want als $R(\text{A})$ groot is dan zal I in de keten verzwakken want weerstanden worden opgeteld.

Een ampèremeter moet dus een kleine inwendige weerstand hebben.



Wenst men het meetbereik van een ampèremeter te vergroten dan moet men een shuntweerstand parallel schakelen.

bv. Om van 1,00 mA naar 100 mA te gaan en $R_A = 100 \Omega$, hoeveel moet dan R_s zijn?
Uit de formule van de parallelschakeling

$$R_A \cdot I_A = R_s \cdot I_s \text{ met } I = I_A + I_s$$

$$\text{of } 100 \cdot 1 = R_s(100 - 1) \text{ of } R_s = 1,01 \Omega$$

5 Voltmeter - voorschakelweerstand

Een voltmeter schakelen we in parallel, dus moet $R_V > R_{\text{geleider}}$

Nemen we $R_V = 50 \Omega$ en $R = 50 \Omega$

dan is $1/R = 1/50 + 1/50 = 1/25 \Omega^{-1}$

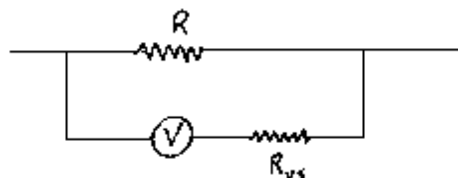
of $R = 25 \Omega$

Nemen we $R_V = 50 \Omega$ en $R = 10000 \Omega$

dan is $1/R = 1/50 + 1/10000 = 1/49,75 \Omega^{-1}$

of $R = 49,75 \Omega$

Een voltmeter moet dus een grote inwendige weerstand hebben.



Wenst men het meetbereik van een voltmeter te vergroten dan moet men een voorschakelweerstand bij schakelen.

bv. Om van 0.1 V naar 1 V te gaan en $R_V = 100 \Omega$, hoeveel moet dan R_{vs} zijn?

Uit de formule serieschakeling

$$R_V/R_{VS} = U_V/U_{VS} \text{ met } U = U_V + U_{VS}$$

$$\text{of } R_{VS} = 100(1 - 0,1)/0,1 = 900 \Omega$$

6 Brug van Wheatstone

Een weerstand kan dus gemeten worden:

- Uit de wet van Ohm: door U en I te meten.
- Uit de wet van Pouillet: als je ρ , l en A kent.

LABPROEF

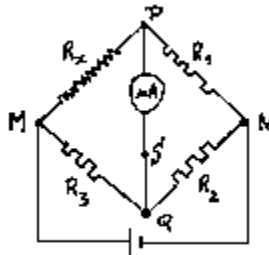
Er bestaat echter een meer nauwkeurige methode om de weerstand te berekenen, de zogenaamde nulmethode. We maken daartoe de volgende opstelling.

S schakelaar

μA micro ampèremeter

R_1, R_2, R_3 geijkte R

R_x onbekende R



We zorgen ervoor dat er tussen P en Q geen stroom loopt, dit wil zeggen dat bij het sluiten van de schakelaar de micro-ampèremeter geen stroom mag aanwijzen, dan is er tussen P en Q ook geen spanning.

Uit de wetten van de serieschakeling

$$U(MN) = U(MP) + U(PN) \text{ met } U(MP) = U(PN)$$

$$U(MN) = U(MQ) + U(QN) \text{ met } U(MQ) = U(QN)$$

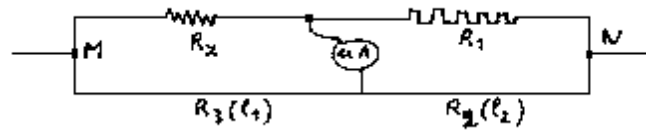
$$\text{of } U(MP)/U(MQ) = U(PN)/U(QN)$$

$$\frac{R_x \cdot I_1}{R_3 \cdot I_2} = \frac{R_1 \cdot I_1}{R_2 \cdot I_2}$$

hieruit $R_x / R_3 = R_1 / R_2$

$$R_x = R_3 \cdot R_1 / R_2$$

Het is een beetje vervelend dat we over drie geijkte weerstanden moeten beschikken. Met de draadbrug is het mogelijk met één geijkte weerstand dezelfde resultaten te behalen.



zodat $R_x = R_1 \cdot l_1 / l_2$

Voorbeeld

Als $R_1 = 10,0 \Omega$ op een draad van 1,00 m en $l_1 = 38,6$ cm

en $l_2 = 61,4$ cm dan is $R_x = 10,0 \times 38,6 / 61,4 = 6,29 \Omega$.

7 Vragen en opgaven

1 Bereken de substitutieweerstand van drie weerstanden met de volgende waarden. $4,0 \Omega$, $6,0 \Omega$ en $8,0 \Omega$.

1) in serie geplaatst zijn

2) in parallel geplaatst zijn

3) als ze in parallel staan en de stroom door deze van 8Ω is 3 A , hoeveel is dan $I(\text{totaal})$?

2 Een bron van 220 V stuurt een stroom in een keten waarin achtereenvolgens voorkomen. Een weerstand van $10,0 \Omega$; een rheostaat en dan een stroomvertakking waarvan de 2 takken respectievelijk weerstanden van $6,0 \Omega$ en $18,0 \Omega$ bevatten. Teken een schema van de opstelling en zoek welke weerstand de rheostaat vertegenwoordigt indien door de tak van $6,0 \Omega$ een stroom van 3 A vloeit.

3 Een ventilator is gebouwd voor 165 V en $0,60 \text{ A}$ en moet draaien op een netspanning van 220 V . Welke voorschakelweerstand moet men bij schakelen?

4 Drie geleiders met weerstanden $3,0 \Omega$, $6,0 \Omega$ en $18,0 \Omega$ staan parallel. In serie hiermee staat een vierde weerstand van $6,2 \Omega$. De spanning is 48 V . Bereken de substitutieweerstand, de totale stroomsterkte, de stroomsterkte door elke tak van de parallelschakeling, de spanning over de parallelschakeling en de spanning over de vierde weerstand.

5 ENERGIE EN VERMOGEN

1 Elektrische energie wordt geleverd

We hebben geleerd dat stroombronnen een continue spanning leveren zodat een aanhoudende elektrische stroom ontstaat. Stroombronnen zijn er te kust en te keur. We willen er hier maar enkele opsommen:

- de accumulator (auto)
- de batterij
- de dynamo (op je fiets)
- de zonnecel

Voor onze dagelijkse energiebehoeften kunnen we uiteraard niet alleen beroep doen op de opgesomde stroombronnen: we zouden flink tekort komen.

Inderdaad: om te voorzien in ons dagelijks elektriciteitsverbruik is praktisch iedereen aangesloten op het elektriciteitsnet. Alle Belgische centrales tezamen produceren per jaar een gigantische hoeveelheid energie ($2 \cdot 10^{17}$ J).

2 Elektrische energie wordt verbruikt

Alle apparaten die we aansluiten op het elektriciteitsnet, halen uit die zee van energie precies die hoeveelheid die ze nodig hebben. In zo'n toestel wordt de elektrische energie omgezet in een andere energievorm. We illustreren dat met een aantal voorbeelden.

Sturen we een elektrische stroom door een draad, dan wordt die draad warm. Elektrische energie wordt dus omgezet in thermische energie. Hiervan maken we dankbaar gebruik. Denk maar aan een strijkijzer, een elektrische oven, een krultang...

Om een elektrische boor of motor te laten draaien maken we gebruik van elektriciteit. Inderdaad, hier wordt elektrische energie omgezet in mechanische energie.

Wanneer we voldoende elektrische stroom door bepaalde metalen draden sturen, dan worden die draden zo warm dat ze licht uitstralen. Elektrische energie wordt hierbij omgezet in stralingsenergie. Gloeilampen laten daardoor het licht in de duisternis schijnen.

Elektrische energie kan ook omgezet worden in chemische energie.

PROEF

In een glas maken we een oplossing van koperdichloride. Als elektroden gebruiken we twee potloodstiften. Die bestaan uit grafiet, een bepaalde vorm van koolstof die de elektrische stroom geleidt. Een platte batterij van 4,5 V doet dienst als stroombron. Wanneer we de stroom door de stroomkring laten vloeien, zien we twee verschillende reacties optreden. Op de elektrode die aan de negatieve pool van de batterij is bevestigd, komt een laagje zuiver koper (donkerrood van kleur) te zitten. Bij de potloodstift die met de positieve pool van de batterij is verbonden, borrelt een gas uit de vloeistof. We snuiven dezelfde geur op als in het zwembad: er wordt hier blijkbaar chloorgas gevormd.

Besluit

Onder invloed van de elektrische stroom ontbindt koperdichloride in koper en dichloor.

3 Wat is elektrisch vermogen?

Om de kamers in een huis te verlichten moeten we elektrische lampen kiezen die voldoende licht geven. Onvoldoende verlichting is immers vermoeiend en zelfs schadelijk voor de ogen. Jullie weten uit de praktijk dat je dan lampen moet uitzoeken met een voldoende groot aantal 'Watt': die geven meer licht dan die met een kleiner aantal Watt. Wij kunnen dat ook met een proef aantonen.

PROEF

We schakelen verschillende lampen (100 W, 60W, 40 W en 25 W) parallel met het stopcontact.

Waarneming

De lamp van 100 W geeft duidelijk meer licht dan die van 60 W.

Deze grotere lichtopbrengst krijgen we niet gratis!! Een lamp van 100 W geeft meer licht dan een van 25 W omdat ze vier keer zoveel elektrische energie verbruikt. De elektriciteitsrekening gaat dus ook de hoogte in. Een toestel is dus duurder in gebruik naarmate het meer energie verbruikt per tijdseenheid. Vooral toestellen die warmte leveren (fornuizen, strijkijzers, krultangen...) verbruiken veel elektrische energie per seconde. We drukken dit uit door te zeggen dat die toestellen een groot vermogen opnemen. Het symbool voor vermogen is 'P'. De eenheid voor vermogen is de watt (W).

Voor grotere vermogens gebruiken we veelvoud van de watt:

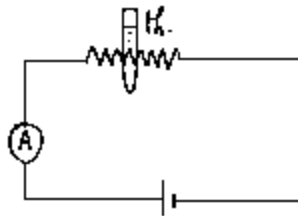
- 1 kW kilowatt = 10^3 W
- 1 MW megawatt = 10^6 W
- 1 GW gigawatt = 10^9 W.

Een elektrische trein neemt een vermogen op van 100 MW. De kerncentrale van Doel levert een vermogen van 3 GW.

4 Waarvan hangt het opgenomen vermogen af?

PROEF

We maken een opstelling zoals op de tekening. We draaien de metalen draad (weerstand) rond de staaf van een digitale thermometer. We meten de temperatuur van de draad bij verschillende stroomsterkten en noteren ze in de onderstaande tabel.



Besluit

Hoe hoger de stroomsterkte, hoe hoger de temperatuur. Bij hogere stroomsterkte levert de draad meer warmte-energie. Daarvoor moet hij dus ook meer elektrisch vermogen opnemen. Hoe groter de stroomsterkte (I), hoe groter het opgenomen vermogen (P) is.

PROEF

We vergelijken de stroomsterkte door, en de spanning over twee lampen.

Waarneming

De grote lamp laat dezelfde stroomsterkte door als de kleine. Maar de grote lamp verspreidt meer warmte en licht dan de kleine.

Besluit

De grote lamp neemt dus meer elektrisch vermogen op uit het elektriciteitsnet dan de kleine lamp opneemt uit de batterij. Een grotere spanning (U) betekent dus een groter opgenomen vermogen (P). Het vermogen is dus afhankelijk van de stroomsterkte (I) en van de spanning (U). Er is zelfs meer: het vermogen is recht evenredig met U en I . De formule voor vermogen kan genoteerd worden als: $P = U \cdot I$

5 Onderzoek van de warmte-ontwikkeling

LABO PROEF

Sturen we een elektrische stroom door een draad dan wordt de draad warm. Plaatsen we de draad in een calorimeter met water, dan zal het water warmer worden. Uit de wet van behoud van energie weten we dat er geen energie verloren gaat en dat alle elektrische energie in warmte-energie wordt omgezet.

De warmtehoeveelheid Q van de calorimeter wordt gegeven door:

$$Q = (m + u) \cdot c_w \cdot dt \text{ (zie 4TW)}$$

Nu is $Q = E(\text{elektrisch})$ uit de wet van behoud van energie en uit de proeven blijkt dat:

$$E(\text{elek}) \sim dt(\text{tijd})$$

1^{ste} wet van Joule

$$E(\text{elek}) \sim I^2$$

2^{de} wet van Joule

$$E(\text{elek}) \text{ afhangt van de aard van de stof } \sim c^{te} \text{ wet van Joule}$$

$$\text{hieruit } E(\text{elek}) \sim I^2 \cdot dt \text{ of } E(\text{elek}) = c^{te} \cdot I^2 \cdot dt$$

In 4 TW hebben we gezien dat vermogen (P) niets anders is dan een arbeid (W) of energie (E) per tijdseenheid (t).

$$\text{of } E(\text{elek})/dt = P = c^{te} \cdot I^2$$

die c^{te} noemen we R , de weerstand van de geleider die afhankelijk is van de aard van de geleider. De elektronen die zich door de draad verplaatsen zullen immers weerstand ondervinden die van aard van de draad zal afhankelijk zijn.

$$P = R \cdot I^2$$

P in W (watt)

R in Ω (ohm)

I in A (ampère)

Uit het voorgaande zien we dat de elektrische energie van een stroom gegeven wordt door:

$$E(\text{elek}) = R \cdot I^2 \cdot dt$$

R in Ω

I in A

dt in s

$E(\text{elektrisch})$ in J

6 Vermogen: alle formules

Uit de voorgaande proef kennen we ook de formule voor het vermogen nl. $P = R \cdot I^2$. Combineren we nu deze twee formules, dan zien we dat er in feite drie formules kunnen gebruikt worden voor het vermogen van een elektrische stroom nl.

$$P = U \cdot I$$

$$P = R \cdot I^2$$

$$P = U^2/R$$

Voorbeeld

is $I = 2 \text{ A}$ en $U = 3 \text{ V}$ dan is $P = 6 \text{ W}$

is $R = 1 \text{ } \Omega$ en $I = 2 \text{ A}$ dan is $P = 4 \text{ W}$

is $R = 1 \text{ } \Omega$ en $U = 3 \text{ V}$ dan is $P = 9 \text{ W}$

Merk op:

In het vorige hoofdstuk hadden we de formule $W/q = U$ afgeleid.

Vermits $P = W/dt$ en $I = q/dt$ zien we dat $P/I = U$.

7 Vermogen en de elektriciteitsrekening

Als je de eenheid 'Watt' ziet, denk je vast en zeker aan de elektriciteitsrekening, die (gelukkig) door je ouders betaald wordt. Daar staat het verbruik echter nooit in Watt (W) of kilowatt (kW) genoteerd, maar wel in kilowattuur (kWh). Dat is correct: je betaalt immers geen opgenomen vermogen, maar wel een hoeveelheid verbruikte energie.

Maar hoeveel energie is 1 kWh?

Daarvoor moeten we ons eventjes aan het rekenen zetten. Het verband tussen joule en watt is het volgende:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}$$

Als je nu weet dat 1 kW gelijk is aan 1000 W en 1 uur staat voor 3600 s, volgt daaruit dat:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \times 3600 \text{ J} = 3.600.000 \text{ J}$$

Nauwelijks te geloven dat die hoeveelheid energie minder dan 10 frank kost.

8 Toepassing: de gloeilamp als elektrische verlichting

Een gloeilamp bestaat uit een zeer dunne wolframdraad (W) met een diameter van $10\ \mu\text{m}$. Stuur men een stroom door de draad, dan wordt de draad witgloeiend, en verspreidt helder licht. De temperatuur van de draad kan hierdoor tot boven $2000\ ^\circ\text{C}$ stijgen, het smeltpunt van W is $3400\ ^\circ\text{C}$. Als de gloeidraad in een met lucht gevulde glazen ballon zou opgesloten worden, dan zou hij vlug oxideren en doorbranden. Men plaatst daarom de draad in een luchtledige glazen bol of men vult de bol op met een gas dat op de draad niet inwerkt (zoals Ar , N_2 ...) Is de ballon luchtledig dan zal de draad vlug verdampen en de binnenkant van de ballon wordt geleidelijk zwart. Daardoor vermindert de levensduur en de lichtuitstraling. Vult men de ballon met een gas, dan wordt de warmte naar het gas afgevoerd. Men kan de warmte-afgifte verminderen door de draad een spiraalvorm te geven en zelfs door een dubbele spiraal te gebruiken.

9 Vragen en opgaven

- 1 Bereken de stroomsterkte en de weerstand van een lampje waar de volgende gegevens op genoteerd staan: $6\ \text{V}/5\ \text{W}$.
- 2 Ik wil een boiler van $2500\ \text{W}$ aansluiten. Mag je daarvoor een zekering gebruiken met de aanduidingen: $10\ \text{A}/220\ \text{V}$?
- 3 Bereken de maandelijkse factuur van de elektriciteitsmaatschappij. Het verbruik staat hieronder beschreven:
 - 10 lampen van $100\ \text{W}$ branden 2 uur per dag
 - 2 lampen van $500\ \text{W}$ branden 15 minuten per dag
 - 1 elektrisch vuur van $2000\ \text{W}$ werkt 1,5 uur per dag
 - 1 TV van $400\ \text{W}$ speelt drie uur per dag
 - 1 strijkijzer van $1200\ \text{W}$ werkt 1 uur per dag
 - 1 koelkast van $200\ \text{W}$ draait 8 uur per dag
 - 1 elektrische boiler van $3000\ \text{W}$ werkt gedurende 4 uur per dag. Bereken de maandelijkse factuur als $1\ \text{kWh}$ $5,85$ frank kost.
- 4 Bereken de warmte die in een strijkijzer ontwikkeld wordt als er gedurende 1 min een stroom van $2,5\ \text{A}$ doorgaat en de weerstand $500\ \Omega$ bedraagt.
- 5 De motor van een ventilator verbruikt een stroom van $0,40\ \text{A}$. Hij heeft een weerstand van $100\ \Omega$. Welk vermogen wordt onder de vorm van warmte in de motor verloren? Hoeveel Joule per seconde moet aan de omgeving worden afgestaan opdat de temperatuur van de motor niet zou stijgen.
- 6 Bereken de weerstand en het vermogen van een lamp aangesloten op $6\ \text{V}$ en waar een stroomsterkte van $0,3\ \text{A}$ doorgaat.
- 7 Een stofzuiger aangesloten op $220\ \text{V}$ heeft een weerstand van $120\ \Omega$. Bereken de stroomsterkte. Bereken nu ook het vermogen van deze stofzuiger.

8 Een verbruiker heeft gemiddeld per dag volgende toestellen aanstaan. Gedurende 4 h een radio van 120 W, gedurende 5 h 5 lampen van 75 W, gedurende 15 min een strijkijzer van 750 W en gedurende 1 h een frigo van 250 W. Bereken het bedrag van de rekening dat de verbruiker maandelijks krijgt van de elektriciteitsmaatschappij als 1 kWh 5,85 BF kost.

Schematisch

Het elektrische vermogen is gelijk aan de hoeveelheid elektrische energie die per seconde verbruikt of geproduceerd wordt. Het symbool is P en de eenheid de watt (W). Het opgenomen vermogen is afhankelijk van de spanning (U) en de stroomsterkte (I). Het is gelijk aan: $P = U \cdot I$

6 THERMISCHE EN CHEMISCHE STROOMBONNEN

1 Spanning bij thermo-elementen

Men kan blijkbaar elektrische energie omzetten in warmte (proeven met calorimeter en wet van Ohm), maar is het omgekeerde ook mogelijk? Ja. In een keten gevormd door twee verschillende metalen ontstaat er een elektrische stroom als de contacten tussen deze metalen een verschillende temperatuur hebben. Een dergelijke stroombron noemt men een thermo-element.

Als twee metalen in contact zijn met elkaar, dan ontstaat er door overgang van vrije elektronen tussen deze metalen een spanning, die men contactspanning noemt en waarvan de grootte afhangt van de aard van de metalen.

bv. Cu/constantaan (+/-) is $42 \mu\text{V}/\text{C}$

Wetten

1) Bij een gesloten keten gevormd door verschillende metalen en waarbij de contacten een zelfde temperatuur hebben, is de algebraïsche som van de contactspanningen gelijk aan nul.

2) Bij een gesloten keten gevormd door 2 of meer metalen waarbij de contacten een verschillende temperatuur hebben, is er een resulterende spanning die men thermospanning noemt.

2 Spanning bij galvanische elementen

Bij elektrolyse (voltameter van Hofmann) was er omzetting van elektrische naar chemische energie. Elektrolyse is het verschijnsel dat er bij het doorsturen van een stroom door bv. een NaCl - oplossing waterstofgas en chloorgas gevormd wordt.

Is het omgekeerde ook mogelijk, nl. het omzetten van chemische energie naar elektrische energie? Ja. Een dergelijk element noemt men een galvanisch element

PROEF

Cu en Zn plaat in elektrolyt oplossing geeft een spanning.

Wetten

Tussen twee verschillende metalen die in contact zijn met een zelfde waterige oplossing heerst een spanning die onafhankelijk is van de grootte van de contactoppervlakken, nagenoeg onafhankelijk van de concentratie van de oplossing en die afhangt van de aard van de metalen. Deze spanning is verschillend van de contactspanning tussen twee metalen omdat er een zelfde temperatuur heerst.

3 De spanningsreeks

LABPROEF

Men kan de metalen nu allemaal in een reeks rangschikken te beginnen met de positieve en te eindigen met de negatieve pool.

+ C Pt Ag Cu Pb Sn Ni Fe Zn Al Mg -

bv. Cu - Zn 1 V

C - Cu 0.5 V

C - Zn 1.5 V

Verklaring

De theorie van Nernst geeft de verklaring voor de ontstane contactspanning. Lossen we een metaal zoals zink (Zn) op in water, dan zullen er Zn^{2+} ionen uit de oppervlaktelaag in oplossing gaan, daardoor wordt het water positief en heeft het metaal teveel elektronen en is dus negatief. Na een tijdje houdt het oplossen op omdat men een evenwichtsstand bereikt heeft.



De binding van de ionen is afhankelijk van de aard van het metaal zodat elk metaal een andere waarde heeft.

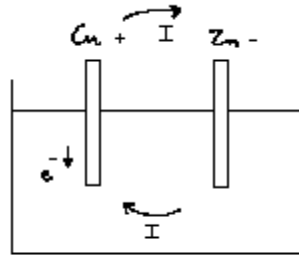
Hieruit kunnen we besluiten:

- een metaal in contact met water levert een contactspanning afhankelijk van het metaal
- twee verschillende metalen in een zelfde vat geven een resulterende spanning
- water is een slechte geleider, men moet steeds een oplossing nemen van een elektrolyt

4 Stroomlevering door galvanisch element - Polarisation

PROEF

Men neemt een Volta - element nl. een Cu/ H_2SO_4 /Zn in een kring waarin een lampje of een ampèremeter. De ampèremeter wijkt uit doch verzwakt.



Verklaring

Het diwaterstofsulfaat (zwavelzuur) in de oplossing splitst in: 2H^+ en SO_4^{2-} . Volgens de wet van Nernst zullen in de omgeving van de negatieve zinkplaat Zn^{2+} ionen in oplossing gaan die zich met de sulfaationen zullen binden zodat er nieuwe Zn^{2+} ionen in oplossing zullen gaan. De waterstofionen gaan naar de positieve koperplaat waar ze door de elektronen ontladen worden. De aldus gevormde waterstofatomen geven H_2 gas dat ontsnapt en een dun laagje op de koperplaat vormt. Zodoende ontstaat het element $\text{Cu}/\text{H}_2/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Zn}$ dat een kleinere spanning heeft. Men zegt: het element polariseert.

Merk op: bij elektrolyse kationen naar kathode
 bij galvanisch element kationen naar anode

5 Elementen die niet polariseren

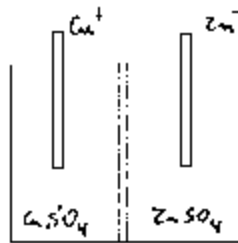
Polarisatie is een vervelende zaak, want het vermindert de spanning en aldus zou een galvanisch element als spanningsbron nutteloos zijn. Men zoekt naar mogelijkheden om polarisatie te vermijden.

Er zijn twee mogelijkheden:

- een geschikte keuze van het elektrolyt: het Daniëll element.
- het ontstane waterstof langs chemische weg verwijderen met een oxiderende stof: het Leclanché element.

5.1 Daniëll element

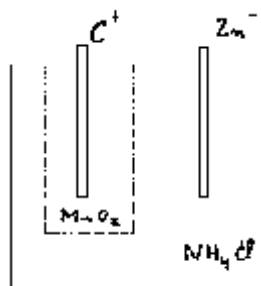
Men brengt de koperplaat in een CuSO_4 oplossing en de zinkplaat in een ZnSO_4 of H_2SO_4 oplossing. Tussen beide is een poreuze wand zodat de ionen zich kunnen verplaatsen



Werking

Op de koperplaat slaat koper (Cu) neer. De SO_4^{2-} ionen gaan door de poreuze wand van de CuSO_4 oplossing naar de andere oplossing. De verdwijnende Cu^{2+} ionen worden geleidelijk door Zn^{2+} ionen vervangen zodat de CuSO_4 oplossing moet vervangen worden.

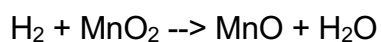
5.2 Leclanché element



Men brengt een koolstof (C) en een zinkstaaf (Zn) in een oplossing van NH_4Cl . Rond de koolstofstaaf is er fijn verdeelde koolstof en een oplossing van MnO_2 .

Werking

De Zn^{2+} ionen worden geneutraliseerd door de Cl^- ionen. De NH_4^+ ionen gaan naar de C staaf, worden er niet ontladen doch gebonden door de OH^- ionen van H_2O . De H^+ ionen vormen H_2 gas doch worden door MnO_2 gebonden.

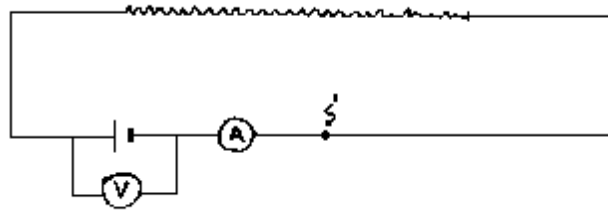


De zinkplaat in de oplossing moet na een tijd vervangen worden.

6 Karakteristieken van een stroombron

LABPROEF

Deze proef wordt in het lab uitgevoerd. We maken daarbij de volgende opstelling.



We stellen U_0 de E.M.S. van de batterij d.i. de elektromotorische spanning of de spanning van de bron met open schakelaar.

We noemen U de klemspanning dit is de spanning van de bron met gesloten schakelaar.

Uit de proef stellen we vast dat $U_0 - U \sim I$, inderdaad de klemspanning is kleiner dan de E.M.S. en $U_0 - U = U_i$ dient voor de warmteontwikkeling in de bron.

De verhouding $U_i / I = R_i$ noemen we de inwendige weerstand en is karakteristiek voor de stroombron. Hieruit volgt:

$$\frac{U_0 - U}{I} = R_i$$

of

$$U = U_0 - R_i \cdot I$$

Uit de wet van Ohm is $U = R \cdot I$ zodat we de formule van Ohm voor een gesloten kring nu moeten uitbreiden tot

$$U_0 = (R + R_i) \cdot I$$

Opm.

Is $R_i \ll R$ dan spreekt men van een spanningsbron, en is $R_i \gg R$ dan spreekt men van een stroombron.

Kenmerken van I , U en P

1) $I = U_0 / (R + R_i)$ I is het grootst als $R = 0$ dan is $I_{\max} = U_0 / R_i$

2) $U = U_0 \cdot R / (R + R_i)$ U is het grootst als R oneindig is dan is $U_{\max} = U_0$ en $I = 0$

3) $P = U \cdot I = U_0^2 \cdot R / (R + R_i)^2$ P is het grootst als $R = R_i$

Opmerking

Zijn er n elementen met inwendige weerstand R_i en E.M.S. U_0 dan is

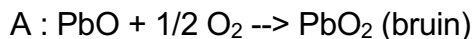
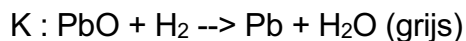
$$I = \frac{n \cdot U_0}{R + n \cdot R_i}$$

7 Accumulatoren

Brengen we twee Pb platen in een glazen vat met een verdunde zwavelzuur oplossing dan zien we dat de V - meter geen spanning aanduidt. In het lab voeren we de proef uit en dan sturen we een elektrische stroom door de oplossing en dan worden de platen wel verschillend en is er wel spanning. Men kan een accu dus beurtelings laden en ontladen.

1^{ste} fase

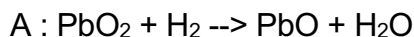
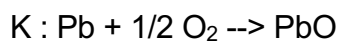
het laden van een accu door elektrolyse



Beide platen zijn nu verschillend en we hebben een galvanisch element

2^{de} fase

het ontladen van de accu als galvanisch element



Merk op in 1^{ste} fase H₂ aan K!! en in 2^{de} fase O₂ aan K!!

Een accu kan dus opgeladen worden door een regelbare stroombron.

Is $U < 2 \text{ V}$ dan levert de accu stroom en ontlad zich via de bron.

Is $U = 2 \text{ V}$ dan is $I = 0$

Is $U > 2 \text{ V}$ dan laadt de bron de accu.

Men zegt dat de accu een actieve geleider is, hij brengt wanneer hij geladen wordt een spanning in de keten die men tegenspanning noemt (T.E.M.S.) Een ander voorbeeld van een actieve geleider is een elektromotor.

Algemeen wordt nu de veralgemeende wet van Ohm:

$$I = \frac{U_0 - U_0'}{R + R_i + R_i'}$$

met

U_0 de E.M.S. van de stroombron

U_0 ' de T.E.M.S.

R de uitwendige weerstand

R_i de inwendige weerstand van de bron

R_i' de inwendige weerstand van de accu

In de praktijk heeft een accu bv. een laadcapaciteit van 12 Ah dit betekent dat hij gedurende 1 h een stroom van 1,2 A kan leveren. De spanning tussen 2 platen is 2 V zodat een 12 V batterij over 6 elementen moet beschikken.

Bij het laden van een accu moeten steeds de gelijknamige polen verbonden worden.

8 Vragen en opgaven

1 Een droog element wordt rechtstreeks met de klemmen van een ampèremeter met groot meetbereik verbonden. We nemen een stroom van 30,0 A waar. De E.M.S. van het element is 1,50 V. De weerstand van de ampèremeter is 0,020 Ω . Zoek de inwendige weerstand van het element.

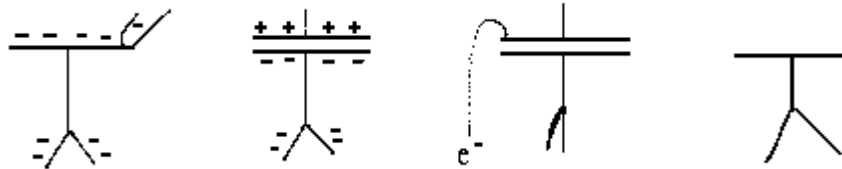
2 Bij een kortsluiting van een batterij over een ampèremeter met 0,020 Ω weerstand krijgt men een stroom van 8,0 A. Schakelt men een voltmeter met grote weerstand aan de klemmen van de batterij dan wijst deze 4,5 V. Wat is de inwendige weerstand van de batterij?

3 Een batterij van 40 elementen elk met E.M.S. 2,1 V en inwendige weerstand 0,050 Ω in serie geschakeld, wordt geladen met een stroom van 8,0 A. Deze stroom wordt geleverd door een generator met inwendig weerstand 0,50 Ω over een weerstand van 2,0 Ω , terwijl de toevoerdraden 0,50 Ω weerstand hebben. Zoek de E.M.S van de generator.

7 DE CONDENSATOR

1 Het elektrostatisch verschijnsel

Voeren we onderstaande proef uit met de elektroscop, dan zien we dat na de proef de oorspronkelijke uitwijking behouden is.



Merk op dat de lading op de plaat "gecondenseerd" wordt.

Een stel van 2 geleiders, dicht tegen elkaar geplaatst, doch gescheiden door een isolator of di-elektricum noemt men een condensator (kan ladingen opstapelen). We stellen een condensator voor door het volgende symbool:

--

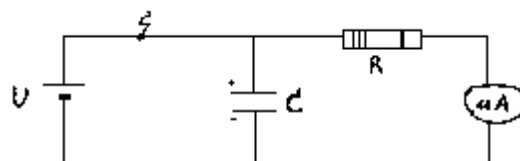
Soorten condensatoren

- 1) de Leidse fles: het di-elektricum is glas
- 2) de blokcondensator: het di-elektricum is geparaaffineerd papier
- 3) de luchtcondensator: het di-elektricum is lucht
- 4) de elektrolytische condensator: het di-elektricum is een chemische stof bv. Al_2SO_3 en heeft een polariteit d.w.z. een pluspool en een minpool
- 5) de keramische condensator

2 Verloop van laden en ontladen van een condensator

LABPROEF

We maken de onderstaande opstelling.



Sluiten we de schakelaar S, dan zal op de ampèremeter $I_0 = U_0/R$ staan en de condensator laadt zich. Openen we dan de schakelaar S dan ontladde de condensator zich over de weerstand R. We meten de overeenkomstige tijden waarbij de stroomsterkte op de helft van de vorige waarde terugvalt.

I_0 $I_0/2$ $I_0/4$ $I_0/8$ $I_0/16$

$$t = 0 \quad t = 1T \quad t = 2T \quad t = 3T \quad t = 4T$$

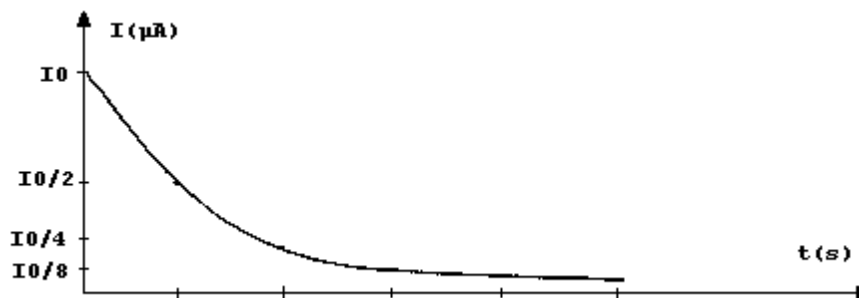
$$I = I_0 / 2^n$$

$$t = n.T$$

waaruit na eliminatie van n

$$I = I_0 \cdot 2^{-t/T}$$

Daarbij krijgen we onderstaande grafiek



In feite is de curve zoals ze hier staat in werkelijkheid niet vloeiend, maar in korte rechthoekige stukken, omdat er gedurende een korte tijd een niet constante stroomstoot door de ampèremeter gaat.

3 Verband tussen lading en spanning

Uit de proef kunnen we vaststellen dat hoe groter de spanning, hoe groter de lading is die door de condensator wordt opgenomen. Hieruit volgt:

$$q \sim U \text{ of } q / U = \text{constante}$$

Deze constante noemt men de capaciteit van de condensator en wordt uitgedrukt in Farad (F). In formule:

$$C = q/U$$

$$\text{met } F = C/V = A \cdot s/V$$

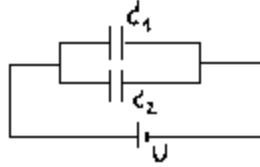
$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

4 Schakelen van condensatoren

LABPROEF

4.1 de parallel schakeling



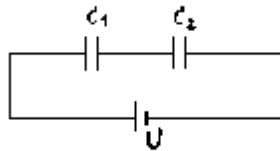
Daar we met dezelfde stroombron te maken hebben is de spanning dezelfde en de ladingen respectievelijk

$$q_1 = C_1 \cdot U \quad q_2 = C_2 \cdot U$$

$$\text{of de totale lading } q = q_1 + q_2 = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U = (C_1 + C_2) \cdot U$$

$$C = C_1 + C_2$$

4.2 de serieschakeling



Bij serieschakeling wordt $U = U_1 + U_2$ met

$$U_1 = q/C_1 \text{ en } U_2 = q/C_2$$

$$\text{of } U = U_1 + U_2 = q/C_1 + q/C_2 = q/C_1 + q/C_2 = q/C$$

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2$$

Voorbeeld

Hoeveel is C als $C_1 = 2 \mu\text{F}$ en $C_2 = 5 \mu\text{F}$

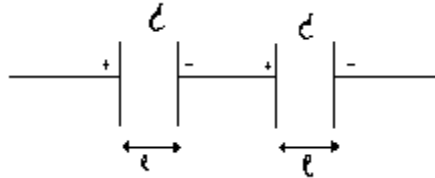
- in parallel $C = 7 \mu\text{F}$

- in serie $1/C = 7/10 \mu\text{F}^{-1}$ en $C = 1,4 \mu\text{F}$

5 Onderzoek van de capaciteit van dunne vlakke condensator

5.1 capaciteit en platenafstand

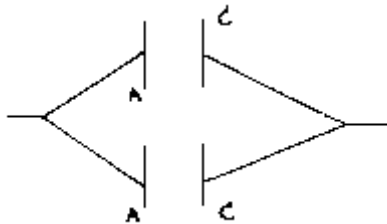
De eerste wet is $C \sim 1/l$ met l de platenafstand.
De verklaring volgt uit onderstaande figuur



$$1/C_s = 1/C + 1/C = 2/C \text{ of } C \cdot l = c^{te} = C/2 \cdot 2l = C \cdot l$$

5.2 capaciteit en platenoppervlakte

De tweede wet is $C \sim A$ met A de platenoppervlakte.
De verklaring volgt uit de figuur



$$C_s = C + C = 2C \text{ en } A' = 2A$$

5.3 capaciteit en aard isolator

De derde wet is dat de capaciteit afhankelijk is van de aard van de isolator.

Uit deze wetten volgt $C \sim A/l$ of $C = c^{te} \cdot A/l$
de constante = ϵ = permittiviteit

In formule:

$$C = \epsilon \cdot A/l$$

C in F

A in m^2

ϵ in $F/m = As/Vm$

l in m

In het luchtledige is $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$
 met $\epsilon(\text{lucht}) = \epsilon_0$

Voor een willekeurige stof is $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ met ϵ_r de relatieve permittiviteit (geen eenheden!)

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A/l$$

6 Tabel met relatieve permittiviteiten

materiaal	ϵ_r
lucht	1.0006
paraffine	2
rubber	3
pyrex	5
glas	6
mica	8
ethanol	24
methanol	33
water	80

7 Energie opgehoopt in een condensator

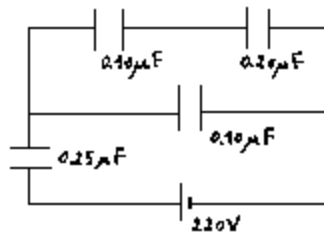
Uit de formule $U = W/q$ en wetende dat de arbeid of energie voor de proef $W = 0$ is en na de proef $W = U \cdot q$ is de gemiddelde energie

$$W(g) = \frac{U \cdot q}{2} \text{ of}$$

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{q^2}{2 \cdot C}$$

8 Vragen en opgaven

- 1 Een luchtcondensator heeft een capaciteit van $0,0025 \mu\text{F}$. In olie ondergedompeld wordt de capaciteit $0,0060 \mu\text{F}$. Zoek de relatieve permittiviteit van olie.
- 2 Hoe groot moet de oppervlakte zijn van de bekleedsels van een blokcondensator met capaciteit $4,0 \mu\text{F}$. De bekleedsels bestaan uit aluminiumpapier gescheiden door gearaffineerd papier van $0,10 \text{ mm}$ dikte (relatieve permittiviteit is 2.3)
- 3 Een condensator van $0,20 \mu\text{F}$ is geladen tot 200 V , een andere van $0,30 \mu\text{F}$ werd geladen tot 100 V . De twee geladen condensatoren worden thans parallel verbonden. Hoe groot is nu het potentiaalverschil?
- 4 Zoek de lading die door het stelsel condensatoren van de figuur wordt opgenomen bij een potentiaalverschil van 220 V .



- 5 Als een condensator van $10,0 \mu\text{F}$ tot 500 V geladen is, hoeveel energie draagt hij dan?
- 6 Een condensator van $0,0100 \mu\text{F}$ wordt volledig ontladen door een dunne ijzerdraad, waarvan de temperatuur hierbij $500 \text{ }^\circ\text{C}$ stijgt. Als de draad $0,60 \text{ g}$ als massa heeft en zijn warmtecapaciteit $419 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ bedraagt, hoe groot was dan de spanning tussen de bekleedsels van de condensator?
- 7 Een Leidse fles waarvan de bekleedsels elk een oppervlakte van 1500 cm^2 hebben en de glasdikte $2,0 \text{ mm}$ bedraagt, is geladen tot een spanning van 18000 V . De fles wordt ontladen door een geelkoperdraad van $10,0 \text{ cm}$ lang en $0,10 \text{ mm}$ dik. Hoeveel stijgt de temperatuur van de draad bij de ontlading? $\epsilon_r = 6$ (voor glas); $\rho(\text{geelkoper}) = 8,4 \text{ g/cm}^3$; $c(\text{geelkoper}) = 389 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

8 VEILIGHEID EN ELEKTRICITEIT

1 De zekeringenkast

De hoofdschakelaar (of ook aansluitschakelaar genoemd) en de elektriciteitsmeter vormen samen de meetgroep.

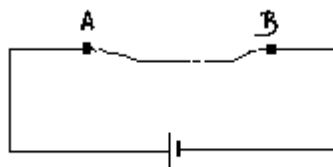
Wanneer de algemene leiding overbelast raakt (= door te hoge stroomsterkte), zal de hoofdschakelaar uitvallen.

Naast deze onderdelen vinden we in de zekeringenkast ook nog de verliesstroomschakelaar, de aarding en de zekeringen voor de verschillende kringen.

2 Werking van de zekering

PROEF

We verbinden de twee polen van een stroombron met de uiteinden van een dunne metalen draad (Cr/Ni: 0,2 mm), die tussen twee klemmen gespannen is. We sturen een sterke stroom (grote stroomsterkte) door de stroomkring.



Waarneming

De draad wordt roodgloeiend en kan zelfs doorbranden.

Een zekering werkt op precies dezelfde manier. Ze onderbreekt de stroom als de stroomsterkte te groot wordt. In de zekering is de stroomdraad immers dunner dan in de rest van de stroomkring. Die draad smelt door bij overbelasting. Je moet dan een nieuwe zekering plaatsen. Zelf herstellen van de zekering is heel gevaarlijk. Bij gebeurlijke ongevallen weigeren de meeste verzekeringen trouwens om de schade uit te betalen.

Tegenwoordig zijn er magnetische zekeringen op de markt. Deze zijn een stuk duurder dan gewone zekeringen, maar ze kunnen niet doorsmelten. De stroomkring wordt er op een andere manier onderbroken. (zie deel over magnetisme) Een simpele druk op de knop volstaat dan om opnieuw stroom te hebben.

3 Elektrocutie

Het menselijk lichaam kan een elektrische schok krijgen door aanraking van een geleider, die onder spanning staat.

Al naar gelang de omstandigheden waarin we ons bevinden, is ons lichaam een min of meer goede geleider. Zo is de combinatie van elektriciteit en water altijd een zeer gevaarlijk.

In het lichaam volgt de elektrische stroom steeds de weg van de minste weerstand. Het bloed en de zenuwstrengen zijn de beste geleiders. Bij elektrocutie zal de stroom zich verspreiden via de bloedsomloop en de zenuwen. Vooral het hart is een zeer teer punt. Het is het centraal gedeelte van de bloedsomloop en is dus bijna altijd de eerst getroffen plaats in het menselijk lichaam.

Elektrocutie kan op twee manieren optreden:

- door rechtstreekse aanraking, dit gebeurt wanneer de twee geleiders tegelijk aangeraakt worden, of bij aanraking van een geleider, terwijl er contact is met de grond
- door onrechtstreekse aanraking, het metalen omhulsel van een toestel (massa genoemd) kan onder spanning komen wanneer de isolatie beschadigd is. Bij aanraking van deze massa kan elektrocutie optreden.

De gevolgen van elektrocutie zijn afhankelijk van verschillende factoren. Zo zal de stroomsterkte een belangrijke invloed uitoefenen. Hoe groter de stroomsterkte, hoe ernstiger de gevolgen. Er kunnen niet alleen zware brandwonden veroorzaakt worden, maar zeer grote stroomsterkten kunnen zelfs dodelijk zijn.

Voorbeelden

- 1 mA veroorzaakt een lichte kriebel
- 15 mA maakt dat de spieren verkrampen; je kan de geleider niet meer loslaten
- 100 mA heeft meteen de dood voor gevolg.

Bedenk daarbij dat bij aanraking van een 220 V kabel verschillende mA door je lichaam stromen.

Willekeurige omstandigheden spelen ook een rol. We sommen er enkele op:

- bepaalde personen zijn gevoeliger voor elektriciteit dan andere
- vochtigheid is een goede geleider voor de elektrische stroom
- een stenen vloer is gevaarlijker dan een houten vloer omwille van zijn grotere geleidbaarheid
- schoenen met rubberen zolen zijn te verkiezen boven schoenen met lederen zolen.

Het lijkt er nu wel op dat we je de daver op het lijf willen jagen. Niets is minder waar. We willen je alleen wijzen op het gevaar van elektriciteit en meteen iets vertellen over de methoden, waarop je veiligheid kan inbouwen.

Wanneer je de volgende algemene veiligheidsmaatregelen in acht neemt, is de kans op elektrocutie meteen veel kleiner.

- zorg voor een goede isolatie voor de elektrische bedrading
- let er op dat alle elektrische toestellen geaard zijn

- in de zekeringenkast moet voor alle stroomkringen een verliesstroomschakelaar ingebouwd worden. De kring voor de badkamer elektriciteit (zeker bij een spanning van 220 V) een gevaarlijk medium.

Het is daarom zeker niet overbodig om veilig te werken bij het gebruik van elektrische toestellen.

Wanneer je een stekker uit het stopcontact wil halen, trek dan nooit aan het snoer. Hierbij kan je de koperdraden, die met de polen van de stekker verbonden zijn, lostrekken. Dat leidt meteen tot kortsluiting.

Proper en net is prettig. Maar haal daarvoor geen halsbrekende toeren uit. Wrijf nooit met een vochtige doek of zeemlap over een stopcontact. Dat is uiterst gevaarlijk.

Dominostekkers zijn totaal uit den boze.

Gebruik goed geïsoleerde leidingen. Blootliggende draden kunnen zeer nare ervaringen opleveren. Let er dus op dat je een beschadigd elektrisch snoer onmiddellijk herstelt of vervangt.

Verlengsnoeren mag je nooit laten rondslingeren. Ze moeten een vaste plaats hebben in een kast. Let er ook op dat het verlengsnoer uit het stopcontact gehaald is, vooraleer je het toestel losmaakt.

Stopcontacten moeten voorzien zijn van een kinderbeveiliging en een aarding. In oude huizen kunnen stopcontacten beveiligd worden met een beschermingsplug.

Je moet kinderen verbieden om met vliegers te spelen in de nabijheid van bovengrondse lijnen. Indien een van de hoogspanningslijnen op de grond ligt, verwittig dan onmiddellijk de elektriciteitsmaatschappij.

Gebruik veilig materiaal. Alle tangen, schroevendraaiers, enz. met geïsoleerde handvaten zijn echt veilig. Een huishoudschaar met geïsoleerde handvaten is ook een aanrader.

ONWEER, BLIKSEM EN DONDER

We willen eerst en vooral zeggen dat wetenschappers het hele fenomeen deels kunnen uitleggen, maar voor een groot gedeelte tasten ook zij nog in het duister.

1 Hoe ontstaat een onweerswolk?

In een onweerswolk (voor meteorologen: cumulo-nimbus) ontstaan grote hoeveelheden elektrische lading. Gewoonlijk wordt de onderkant van de wolk negatief geladen en de bovenkant positief. Dat kan onder andere gebeuren op de volgende manier.

In een 'donderwolk' ontstaan massale hoeveelheden kleine ijskristalletjes. Die zijn positief geladen aan de buitenkant en negatief aan de binnenkant. Deze ijskristallen verpulveren en hierbij gaan de fijne positief splinters naar boven geblazen worden, terwijl de zwaardere negatieve stukken naar beneden vallen. De negatieve lading aan de onderzijde van de wolk laadt het aardoppervlak positief op door inductie, omdat de elektronen naar de diepte van de aarde weggedrukt worden.

De spanning binnen de wolk en tussen de wolk en de aarde wordt daardoor zo groot (tot enkele miljarden volt!) dat de veldsterkte groter wordt dan 3000000 V/m. Op dat moment wordt de lucht geleidend voor de elektriciteit. De meeste bliksemontladingen gebeuren binnen de wolken, maar die van wolk naar aarde zijn natuurlijk meest spectaculair.

2 Welke weg volgt een bliksemflits?

Als je een bliksem bekijkt, denk je waarschijnlijk dat het een korte flits is, maar onderzoek met ultrasnelle camera's heeft aangetoond dat elke bliksem uit tientallen ontladingen bestaat.

De bliksem is er zelfs al voor dat je hem ziet! Eerst schiet een onzichtbare stroom elektronen (de verkennersschicht) naar beneden. Dat gebeurt schoksgewijs en in grillige vertakkingen: de verkenningsschicht zoekt de gemakkelijkste weg.

Door de naderende negatieve lading worden de elektronen aan het aardoppervlak nog verder 'weggedrukt' naar de diepte. Dat gebeurt vooral in de top van torens, masten, bomen enz. Zelfs de strook lucht erboven duwt zijn elektronen weg en raakt daardoor positief opgeladen.

Als de verkennersschicht in contact komt met die strook lucht schiet een massa elektronen (tot 200000 A in een band van 10 cm breed!) plotseling naar beneden. Dat is de eigenlijke bliksemschicht. Direct daarna flitst een elektrische ontlading terug omhoog tot aan de wolk. Deze laatste ontlading verloopt heel ingewikkeld maar is erg belangrijk; we noemen ze de retourschicht.

Heel dit verhaal heeft een poosje geduurd, toegegeven, maar in werkelijkheid duurt dit heen-en-weer-spelletje zo'n duizendste seconde. Het herhaalt zich enkele tientallen keren. Na ten hoogste een tiende seconde is de ontlading volledig voorbij.

Nog enkele pikante details:

- de lucht bereikt bij het 'bliksemen' een temperatuur tot 20000 °C*
- de bliksemflits geeft evenveel licht als een miljoen gewone gloeilampen! Dit licht komt hoofdzakelijk van de retourschicht. Bliksem beweegt dus eigenlijk omhoog.*

Omdat de lucht in de bliksembaan zo sterk verhit wordt, ontploft hij letterlijk: dat is de knal van de bliksem. Bovendien veroorzaakt die ontploffing een supersonische schokgolf, die in alle richtingen uitstraalt en weerkaatst. Dit veroorzaakt de donder.

3 Bliksem: een energiebron?

Elke dag zijn er op aarde ongeveer 50000 onweders! In België alleen al wordt elke vierkante kilometer minstens eenmaal per jaar getroffen door bliksem. Torens en molens worden eens in de twintig tot vijftig jaar getroffen, zeer hoge masten zelfs tientallen keren per jaar. Aan bliksem is er dus geen gebrek.

De gegevens over stroom en spanning bij bliksem zijn indrukwekkend. Een flits levert inderdaad evenveel vermogen als een elektrische centrale. Hij duurt echter zo kort dat de geleverde energie maar net zo groot is als van enkele liters benzine.

4 Bliksem en veiligheid

Gebouwen kunnen erg beschadigd worden bij blikseminslag. Ze kunnen echter op een efficiënte manier beschermd worden door een bliksemafleider. Dit is een metalen staaf boven op het gebouw, die de elektronen naar de aarde afvoert. Nochtans is zijn werking niet altijd afdoende, want men heeft reeds bliksems zien inslaan aan de voet van een bliksemafleider.

Een nog betere bescherming is de zogenaamde 'kooi van Faraday'.

PROEF

We plaatsen een elektroscop in een metalen kooi uit metaalgaas. Daarna laden we kooi op met de bandgenerator van Van De Graaff.

Waarneming

De elektroscop wijkt niet uit.

Besluit

De elektroscop is ongeladen. Binnen een metalen omhulsel of kooi kan geen elektrische lading doordringen.

Toepassingen

- Door het gebruik van gewapend beton (= beton met een metalen rooster) zijn veel gebouwen goed beschermd tegen blikseminslag.

- Een auto functioneert ook als een kooi van Faraday. Hij geeft dus een perfecte bescherming tijdens een onweer.

Wanneer mensen getroffen worden door de bliksem, heeft dat meestal zware verwondingen of zelfs de dood voor gevolg. Bij rechtsreeks inslag kan een mens

immers tot dertig meter ver geslingerd worden. In een straal van 100m rond het inslagpunt kunnen de ogen door het felle licht beschadigd worden en de trommelvliezen door het geluid. Toch is de kans op zo'n ongeval betrekkelijk klein: in België worden gemiddeld slechts vijf personen per jaar getroffen. De meeste ongelukken gebeuren op het platteland. Mits enkele voorzorgsmaatregelen in acht te nemen kunnen ze meestal vermeden worden. De bliksem heeft immers een voorkeur voor puntige voorwerpen. Vooral metalen voorwerpen zijn erg gevaarlijk. Je begrijpt meteen dat je bij onweer niet onder een paraplu of tent moet schuilen. Ook de nabijheid van hoge voorwerpen zoals bomen, palen, kabels en masten of metalen voorwerpen zoals je motor of fiets zul je best vermijden. De bliksem zal weliswaar eerst de boom treffen, maar de stroom kan door de grond afgevoerd worden tot in je lichaam!

In een bos schuil je niet aan de rand of op een open plek maar onder lage, tamelijk dichte begroeiing. Als je toch in het open veld moet blijven, ga dan gehurkt zitten met je voeten zo dicht mogelijk bijeen. Geloof ook niet dat bliksem nooit twee maal op dezelfde plaats inslaat: het gebeurt maar al te goed.

Ziezo... laat het nu maar bliksemen en donderen, want jullie zijn gewapend.

SAMENVATTING ELEKTRICITEIT

Elektrische ladingen kunnen ontstaan door wrijving.

Er zijn twee soorten elektrische ladingen:

- negatieve ladingen (op eboniet, plastic...)
- positieve ladingen (op glas...)

Ongelijknamige ladingen trekken elkaar aan.

Gelijknamige ladingen stoten elkaar af.

Het symbool voor elektrische lading is 'q'.

De eenheid van lading is de Coulomb (afgekort: C).

Geleiders geleiden de elektrische stroom.

Isolatoren geleiden de elektrische stroom niet.

Met een elektroscop kunnen we aantonen of een voorwerp al dan niet geladen is. Door de grootte van de uitwijking krijgen we een idee over de grootte van de lading.

Ladingen kunnen op twee manieren overgebracht worden:

- door contact; de overgebrachte lading heeft hetzelfde teken als de oorspronkelijke lading.
- door inductie; de geïnduceerde lading heeft het tegengesteld teken als de oorspronkelijke lading.

Rond een elektrisch geladen voorwerp is er een ruimte, waarbinnen de werking van die lading voelbaar is. We noemen die ruimte het elektrisch veld.

De spanning tussen twee punten b en a is gelijk aan de arbeid die we moeten verrichten om de eenheidslading van b naar a te brengen. Het symbool is U. De eenheid is de Volt (V).

De veldsterkte wordt gegeven door de formule:

$$E = U/l$$

Door elk punt van het veld gaat slechts een veldlijn.

De veldlijn ontspringt of komt toe loodrecht op de geleider.

Een veldlijn verbindt steeds ongelijknamige ladingen en we kiezen de zin van plus (+) naar min (-).

De (elektrische) potentiaal is de potentiële energie die de eenheidslading in het beschouwde punt bezit.

of ook: Het is de arbeid die nodig is om de positieve eenheidslading vanaf de plaats waar we de potentiaal nul kiezen (op oneindig) tot in het beschouwde punt te brengen.

Een elektrische spanning over een geleidend lichaam veroorzaakt een elektrische stroom door dat lichaam.

Om een elektrische stroom te onderhouden, is er een blijvende elektrische spanning nodig.

Spanning (U) wordt uitgedrukt in volt (V). We kunnen ze meten met een voltmeter. De stroomsterkte is de hoeveelheid lading die per seconde door een geleider gaat. De eenheid van stroomsterkte (I) is de ampère (A). Ze wordt gemeten met een ampèremeter.

De elektrische stroom gaat van de positieve naar de negatieve pool. Dit is de conventionele stroomzin. In werkelijkheid gaat de elektronenstroom van negatief naar positief.

Metalen oefenen een weerstand uit op de elektrische stroom.

Weerstand stellen we voor door het symbool 'R'. De eenheid is de Ohm. (Ω)
De stroomsterkte door een geleider is recht evenredig met de spanning en omgekeerd evenredig met de weerstand. Dit is de wet van Ohm.

$$U = R \cdot I$$

De weerstand van een draad is recht evenredig met zijn lengte en omgekeerd evenredig met zijn doorsnede.

De weerstand is ook afhankelijk van de aard van de stof waaruit de draad gemaakt is. Dit is de wet van Pouillet.

$$R = \rho \cdot l / A$$

Elektrische energie kan omgezet worden in tal van andere energievormen:

- warmte-energie
- mechanische energie
- stralingsenergie
- chemische energie

Het elektrische vermogen is gelijk aan de hoeveelheid elektrische energie die per seconde verbruikt of geproduceerd wordt. Het symbool is P en de eenheid de watt (W).

Het opgenomen vermogen is afhankelijk van de spanning (U) en de stroomsterkte (I).
Het is gelijk aan: $P = U \cdot I$

ELEKTROMAGNETISME

1 ELEKTRICITEIT EN MAGNETISME

1 Wat is magnetisme?

Proef

Hou enkele muntstukken bij een magneet.

Waarneming

Sommige worden aangetrokken, andere niet.

Besluit

Magnetisme is de eigenschap die bepaalde ijzerertsen bezitten om ijzeren voorwerpen aan te trekken.

Deze permanente magneten (staafmagneten, hoefijzermagneten, naaldmagneten, cilindermagneten...) gemaakt uit deze ijzerertsen worden gebruikt bv. op een magneetbord of als speelgoed.

Een magneetnaald draaibaar opgesteld op een spil wijst het noorden aan.

De stoffen zoals ijzer, nikkel en kobalt die door magneten worden aangetrokken noemt men ferromagnetische stoffen.

2 Eigenschappen van magneten

We onderzoeken de eigenschappen van magneten met enkele proeven.

PROEF 1

Brengen we een staafmagneet in ijzervijlsel, dan zien we een grote concentratie aan de uiteinden en weinig in het midden.

Besluit

De werking van een magneet gaat niet uit van het middengedeelte maar van de uiteinden.

PROEF 2

Draaien we een permanente magneet over 180° , dan krijgen we een andere stand met een draibare magneet.

Besluit

Er zijn 2 verschillende uiteinden, het ene uiteinde noemt men noordpool het andere uiteinde noemt men zuidpool.

PROEF 3

Brengen we twee permanente magneten in elkaars nabijheid dan zien we dat er bij gelijke polen afstoting is en bij ongelijke polen aantrekking.

Besluit

Gelijknamige polen stoten elkaar af en ongelijknamige polen trekken mekaar aan.

PROEF 4

Naderen twee ijzeren voorwerpen elkaar en is er tweemaal aantrekking dan is een van de voorwerpen niet magnetisch.

Besluit

Alleen afstoting toont ondubbelzinnig aan dat het voorwerp een magneet is.

PROEF 5

We brengen een stalen staaf die niet magnetisch is in een spoel met talrijke windingen. We sluiten de spoel aan op een gelijkstroom bron. De ijzeren voorwerpen worden aangetrokken zolang er stroom door de spoel gaat.

Besluit

Door elektrische stroom krijgt staal de eigenschap ijzeren voorwerpen aan te trekken. De staaf is gemagnetiseerd.

PROEF 6

Nemen we een elektromagneet en trekken we daarmee een stukje ijzer aan, dan zal dit stukje ijzer op zijn beurt magnetisch worden.

Besluit

Als een ijzeren voorwerp zich in de nabijheid van een magneet of van een elektrische stroom bevindt wordt het gemagnetiseerd. Men spreekt over magnetische influentie of magnetostatische inductie.

Uit de voorgaande proeven kunnen we ook nog het volgende vaststellen:

Een weekijzeren staaf kan tijdelijk magnetisch zijn.

Een spoel met weekijzeren kern kan magnetisch zijn als er stroom doorgaat, men heeft dan een elektromagneet.

Een stalen staaf kan permanent magnetisch zijn, men heeft dan een permanente magneet.

Schematisch

Magneten hebben de eigenschap ijzeren voorwerpen aan te trekken.

Magneten hebben een noordpool en een zuidpool.

Gelijknamige polen stoten elkaar af en ongelijknamige polen trekken mekaar aan.

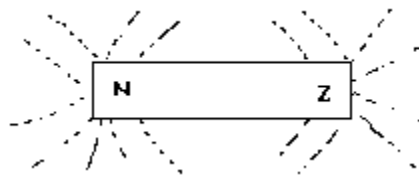
Stuurt men een elektrische stroom door een spoel dan ontstaat een elektromagneet.

3 Magnetisch veld en magnetische veldlijn

PROEF

Brengen we een staafmagneet in ijzervijzel dan zien we bepaalde figuren ontstaan.

Het krachtveld rond de magneet noemt men het magnetisch veld.

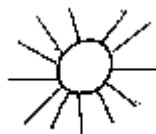


Besluit

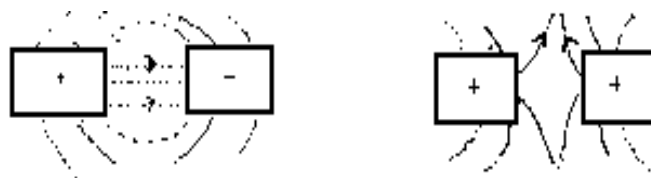
In elk punt van de ruimte in de nabijheid van permanente magneten of van stroomvoerende geleiders treden magnetische eigenschappen op. Er ontstaat een krachtveld, men spreekt van het magnetisch veld.

4 Voorbeelden

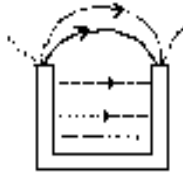
4.1 cilinderveld



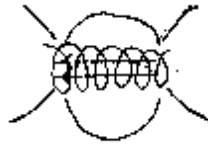
4.2 veld tussen 2 gelijknamige en 2 ongelijknamige polen



4.3 homogeen veld bij een hoefijzermagneet



4.4 veld van een solenoïde



5 De magnetische inductie

Om het magnetische veld te kunnen beschrijven voeren we een vector in: de magnetische inductie B .

- het aangrijpingspunt is het punt zelf
- de richting is de richting van de raaklijn
- de zin is de zin van de noordpool
- de grootte geeft de sterkte aan van het veld

De eenheid van magnetische inductie is de tesla (T).

6 Eigenschappen van veldlijnen

Een magnetische veldlijn is een lijn waarvan de raaklijn in een willekeurig punt de richting aangeeft volgens dewelke een kleine magneetnaald gericht wordt. Door elk punt van de ruimte gaat een veldlijn en de veldlijnen snijden elkaar niet. De veldlijnen verlopen zowel binnen als buiten het ijzer. Buiten de magneet of solenoïde gaan de veldlijnen van N naar Z. Binnen de magneet gaan de veldlijnen van Z naar N. De zin is de zin van de noordpool.

Schematisch

Rond magneten is een krachtveld aanwezig, dat men het magnetisch veld noemt.

De veldlijnen maken het magnetisch veld zichtbaar.

Het magnetisch veld wordt voorgesteld met de magnetische inductie B , die uitgedrukt is in T (Tesla).

7 Over aardmagnetisme

Een magneetnaald die zich niet in de nabijheid van andere ijzeren voorwerpen bevindt zal zich draaien tot ze ongeveer de noordzuid richting aanwijst. Dit betekent dat de aarde zelf door een magneetveld omgeven is. De reden waarom dit magnetisch aardveld er is, kan nog niet volledig verklaard worden. Het heeft te maken met magmastromen diep in het binnenste van de aarde. De aarde zelf gedraagt zich dus als een permanente magneet. De polen liggen dicht bij de geografische polen, maar vallen niet samen. Bovendien verandert deze ligging met de tijd. De magnetische noordpool ligt in Victorialand, niet ver van de geografische zuidpool. De magnetische zuidpool ligt op het eiland Prince of Wales dicht bij de geografische noordpool.

De afwijking tussen de geografische en de magnetische noordzuid richting noemt men de declinatie.



De afwijking tussen het horizontaal vlak, bij een vrij opgestelde magneet, en de noordzuid richting noemt men de inclinatie.

Deze afwijkingen brengen problemen mee bij het opstellen van magnetische kaarten voor scheepvaart en luchtvaart.

8 Vragen en opgaven

- 1 Verklaar hoe het komt dat sommige ijzeren voorwerpen, zoals staven van een ijzeren hekken of verwarmingsradiatoren soms gemagnetiseerd zijn. Waar bevindt zich dan hun noordpool, bovenaan of onderaan?
- 2 Hoe kan men door gebruik van een magneetnaald nagaan of een voorwerp magnetisch is of niet?
- 3 Waarom voorziet men een hoefijzermagneet van een weekijzeren sluitstuk?
- 4 Waarom zal een lange magneetnaald zich gemakkelijker N-Z richten dan een korte?
- 5 Hoe kunnen we aan het verloop van de veldlijnen zien waar het veld het sterkst is?
- 6 Waarom wordt de doos van een kompas nooit uit ijzer gemaakt?

7 In welk vaartuig kan men geen magnetisch kompas gebruiken.

9 Magnetisch veld rond een lange rechtlijnige stroomvoerende geleider

PROEF

Plaats een draaibaar opgestelde magneetnaald evenwijdig met een rechtlijnige stroomgeleider. Wanneer door de geleider stroom gaat dan stelt de magneet zich loodrecht op de richting van de stroomgeleider.



Besluit

Een stroomvoerende geleider doet een magnetisch veld ontstaan dat een draaibaar opgestelde magneetnaald beïnvloedt.

Hoe vinden we de veldlijnen?

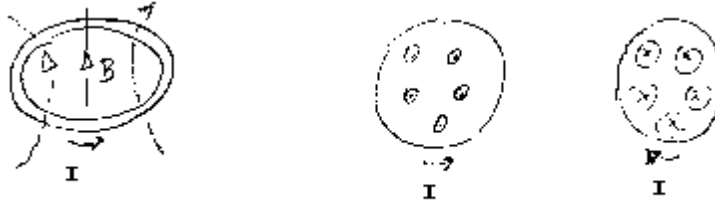
Met behulp van ijzervijlsel op een micaplaat of met magneetnaalden kunnen we aantonen dat rond een stroomvoerende geleider een magneetveld ontstaat. Het magneetveld rond een stroomvoerende rechtlijnige stroomgeleider bestaat uit concentrische cirkelvormige veldlijnen, die in een vlak loodrecht op de geleider staan. De zin van de veldlijnen wordt gevonden met:

- 1 de rechterhandregel Als de duim de richting van de stroom aangeeft, dan geven de gebogen vingers de zin van de veldlijnen weer.
- 2 kurkentrekkerregel (eerste regel) Als de zin van de verplaatsing van de kurkentrekker de stroomzin aangeeft, dan is de draaizin de zin van de veldlijnen.

10 Magneetveld rond een cirkelvormige stroomgeleider

PROEF

We sturen een stroom door een cirkelvormig stroomgeleider en stellen met magneetjes de polen vast. Al de veldlijnen schijnen langs de voorzijde van de winding in te treden en uit te treden aan de achterzijde. Ze komen uit het noordvlak en vloeien in het zuidvlak.



Besluit

Rond een cirkelvormige geleider is een magneetveld aanwezig. De veldlijnen zijn cirkels rond de geleider.

De zin van de veldlijnen wordt gevonden met

- 1 de rechterhandregel Als de vingers van de rechterhand in de zin van de stroom gedraaid zijn, dan is de uitgestrekte duim in de zin van de veldlijnen in de spoel.
- 2 de kurkentrekkerregel (tweede regel) Als de draaizin van de kurkentrekker de stroomzin aangeeft, dan is de verplaatsingszin de zin van de veldlijnen.

11 Magnetisch veld van een solenoïde

Wat is een solenoïde of spoel?

Een spiraalvormig opgerolde geleidraad die door een elektrische stroom doorlopen wordt. De lengte van de spoel moet groot zijn t.o.v. De diameter van de spoel.

PROEF

We sturen een stroom door een solenoïde. Met magneetnaaldjes binnen en buiten te plaatsen of met ijzervijlsel op een micaplaat kunnen we het magneetveld en de veldlijnen aantonen.

Besluit

Buiten de solenoïde stemt het magneetveld volledig overeen met dat van een staafmagneet. Binnenin verlopen de veldlijnen nagenoeg evenwijdig; dit noemt men een homogeen magneetveld.

De zin van de veldlijnen wordt gevonden met:

1 de rechterhandregel

Als de vingers van de rechterhand in de zin van de stroom gedraaid zijn, dan is de uitgestrekte duim in de zin van de veldlijnen in de spoel.

2 de kurkentrekkerregel (tweede regel)

Als de draaizijn van de kurkentrekker de stroomzin aangeeft, dan is de verplaatsingszin gelijk aan de zin van de veldlijnen in de spoel.

Schematisch

Door elk punt van de ruimte gaat een veldlijn en de veldlijnen snijden elkaar niet. Bij stroomvoerende geleiders zijn de veldlijnen gesloten lijnen die de stroom omringen.

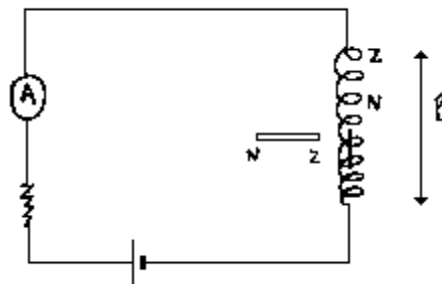
De veldlijnen verlopen zowel binnen als buiten het ijzer. Buiten de magneet of solenoïde gaan de veldlijnen van N naar Z. Binnen de magneet of solenoïde gaan de veldlijnen van Z naar N.

De zin is de zin van de noordpool (regel van de kurkentrekker)

12 Magnetische inductie in een homogeen veld

LABPROEF

Om de grootte van het magneetveld aan te tonen maken we de volgende proefopstelling.



Een solenoïde met n windingen en lengte l wordt verticaal opgesteld. Met een teslameter meet men de grootte van magneetveld. De stroomsterkte is I . Uit metingen vindt men dat de grootte van het veld binnen de solenoïde niet verandert als de verhouding n/l constant wordt gehouden. Men noemt n/l de windingsdichtheid en $n \cdot I$ het aantal ampère windingen.

Uit de proef in het lab blijkt dat:

$$B \sim \frac{nI}{l}$$

$$B = \text{constante} \cdot \frac{nI}{l}$$

Deze constante noemt men de permeabiliteit van de middenstof. Het symbool is μ . B noemt men de magnetische inductie, het geeft de grootte van de magnetische veldsterkte.

$$B = \mu \cdot \frac{nI}{l}$$

met B in T, I in A, l in m, en μ in Tm/A (Vs/Am)

Merk op dat in een cilinderveld de magnetische inductie door de volgende formule gegeven wordt:

$$B = \mu \cdot N \cdot I / 2\pi r \quad \text{met } l = 2\pi r$$

De permeabiliteit μ kan gesplitst worden in μ_0 en μ_r . Hierbij is $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$

$$\text{met } \mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}$$

en μ_r = de relatieve permeabiliteit

$$\text{daar } \mu_r(\text{lucht}) = 1 \text{ is } \mu(\text{lucht}) = \mu_0$$

Hieruit kunnen we ook de stoffen die magnetisch zijn in 3 soorten verdelen:

- 1 $\mu_r < 1$ diamagnetische stoffen
- 2 $\mu_r > 1$ paramagnetische stoffen
- 3 $\mu_r \gg 1$ ferromagnetische stoffen (orde 100000)

13 Tabel met relatieve permeabiliteiten

Materiaal	μ_r
koper	0.999 999 91
goud	0.999 999 85
aluminium	0.000 000 65
platina	1.000 001 10
lucht	1.000 000 03
ijzer	100000

Schematisch

Rond stroomvoerende geleiders ontstaat een magnetisch veld. De grootte van het veld wordt gegeven door:

$$B = \mu \cdot n \cdot I / l$$

Hierin is de permeabiliteit μ gegeven door $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ met $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}$

14 Vragen en opgaven

- 1 Moeten we de concentrische cirkelvormige veldlijnen om een rechte geleider op gelijke afstanden tekenen?
- 2 Een solenoïde heeft 120 windingen, een lengte van 15 cm en er gaat een stroom van 3 A door. Bereken de magnetische inductie.
- 3 In een cilinderveld met 1200 windingen en een stroom van 2,5 A heerst een veldsterkte van 10 mT. Bereken de straal van deze cirkel.

15 Hoe ontstaat magnetisme?

Een elektrische stroom geeft aanleiding tot het ontstaan van een magneetveld. Een elektrische stroom bestaat uit bewegende ladingen, bewegende ladingen veroorzaken dus een magneetveld. Ladingen bestaan uit elektronen. Bewegende elektronen veroorzaken dus een magneetveld. Elk elektron veroorzaakt een klein magneetveld. Compenseren de velden elkaar, dan is er geen magneetveld. Bij stoffen zoals ijzer is het magneetveld niet gelijk aan nul, maar groeperen de atomen zich tot bepaalde gebieden, die men Weissgebieden noemt. Magnetische verschijnselen kunnen dus verklaard worden door aan te nemen dat ijzer samengesteld is uit elementaire Weissgebieden volgens onderstaande figuur. Is ijzer niet gemagnetiseerd dan zijn de Weissgebieden ordeloos.



Wat is dan magnetiseren?

Magnetiseren is dan oriënteren en ordenen van de Weissgebieden.

Waarom zijn er dan verschillende soorten magnetisaties?

Omdat in bepaalde ijzersoorten een verschillend gehalte aan koolstof aanwezig is zodat de wenteling gemakkelijker zal gebeuren. In weekijzer gaat dat gemakkelijker dan in staal.

Wat zijn dan de oorzaken van demagnetisering?

Demagnetisering kan door thermische agitatie, verwarmen of heftige schokken.

Wenst men de magnetisering te bewaren, dan sluit men de magneet met een ijzeren lat.

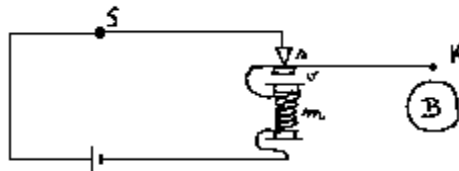
16 Vragen en opgaven

- 1 Hoe zou je een weekijzeren en een stalen staaf uit elkaar kennen?
- 2 Waarom houdt men een te magnetiseren staafstaaf beter binnen in een doorstroomde klos, dan in de nabijheid hiervan?
- 3 Door op een stalen staaf te hameren kan ze gedemagnetiseerd worden, doch ook wel gemagnetiseerd. Hoe is dit te verklaren?

17 Toepassingen van elektromagneten

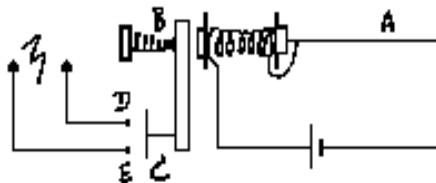
Een elektrische stroom door een spoel sturen geeft aanleiding tot een magneet. We kunnen dus een magneet aan en uitschakelen door de stroom aan en uit te schakelen. Dit principe wordt heel veel toegepast. We bespreken enkele toepassingen.

1 De elektrische bel



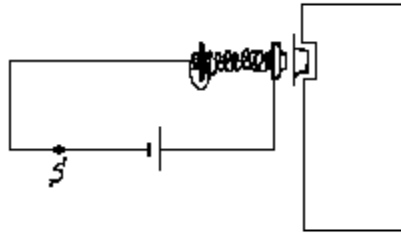
Bij het indrukken van de contactknop S wordt de elektrische stroom naar de contactschroef s gestuurd die verbonden is met het veertje v, de verende klepel k en de elektromagneet m. Deze elektromagneet is dus magnetisch vermits er een stroom doorgaat en trekt de ijzeren klepel k aan. Het uiteinde hiervan slaat tegen de bel b en het belt. Het contact tussen schroef s en veertje v is daardoor echter verbroken en de stroomkring onderbroken, de stroom valt uit in de elektromagneet. De klepel komt terug, het veertje v en het schroefje s maken terug contact... en het verhaal herbegint zolang je de contactknop S ingedrukt houdt.

2 De magnetische schakelaar of relais



Wanneer men een schakelaar van op afstand wil in werking brengen, zal men gebruik maken van een relais. Dit zal o.m. Nodig zijn om hoogspanning waarvan het aanraken levensgevaarlijk zou zijn voor de bediener, in te schakelen. Met schakelaar A wordt de stroom onder lage spanning in de elektromagneet gezonden. De hefboom B wordt aangetrokken door de elektromagneet. De knop C maakt het gewenste contact tussen de punten D en E van de hoogspanningsleiding.

3 Elektrisch deurslot



Bij deursloten en elektromagnetische schakelaars ontgrendelt het bewegende anker een gespannen veer, zodat het slot of de schakelaar geopend wordt.

4 De automatische zekering

In het deel over elektriciteit hebben we reeds de smeltveiligheid besproken. Tegenwoordig gebruikt praktisch iedereen zogenaamde automatische zekeringen. In zo'n zekering zit een spoel met ijzeren kern. De stroom die men wil uitschakelen loopt door de spoel. Spoel en kern worden magnetisch en trekken een plaatje aan. Wordt de stroom te groot, dan wordt de aantrekkingskracht groter en wordt de zekering uitgeschakeld. Een simpele druk op de knop volstaat dan om opnieuw stroom op die kring te hebben, als de oorzaak van de te hoge stroom is uitgeschakeld.

Andere toepassingen zijn o.a. Het heen en weer bewegen van de conus in luidsprekers, het op de baan houden van elementaire deeltjes, het gebruik van magnetische strips op bankkaarten, de audio- en videotapes, de computerschijven, het beveiligen van kledingstukken.

2 ELEKTROMAGNETISCHE INDUCTIE

1 Wat is elektromagnetische inductie?

Jullie weten al dat rond elke stroomvoerende geleider (draad of spoel) een magneetveld aanwezig is. Plaatsen we een weekijzeren kern in een stroomvoerende klos dan wordt het ijzer magnetisch.

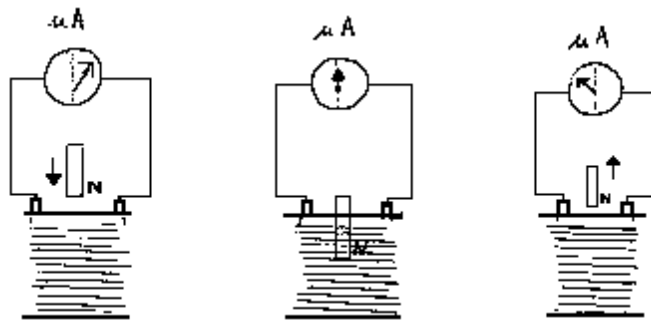
Indien we nu een staafmagneet in een stroomloze klos brengen loopt er dan elektrische stroom door de windingen?

We kunnen de vraag ook als volgt stellen: "Ontstaat er in een geleider een elektrische stroom als deze geleider in een magneetveld is gebracht?"

Enkele proeven zullen dat duidelijk maken.

PROEF 1

We verbinden eerst een spoel met 500 windingen en daarna een met 1000 windingen met een micro-ampèremeter. We laten een staafmagneet zakken in de spoel en trekken ze daarna weer uit de spoel.



De resultaten noteren we in onderstaande tabel:

Spoel	500 windingen	1000 windingen
dalen		
stilstaan		
stijgen		

Besluit

Er ontstaat in elke spoel een stroom telkens men het magneetveld verandert, laten zakken of uittrekken van de magneet. De stroom die ontstaat noemt men inductiestroom. Deze inductiestroom is groter naarmate er meer windingen in de spoel zijn. De zin van deze stroom is verschillend naargelang men het magneetveld laat toenemen of afnemen (inbrengen of uittrekken van de magneet).

PROEF 2

We gebruiken dezelfde opstelling en nemen de spoel met 1000 windingen. We laten de magneet eerst langzaam dalen en stijgen en daarna vlug. We noteren weer de resultaten in de tabel:

Spoel	langzaam	vlug
dalen		
Stilstaan		
Stijgen		

Besluit

De ontstane inductiestroom is sterker naarmate men de magneet vlugger beweegt, dus naarmate het magneetveld vlugger verandert.

PROEF 3

We herhalen de proeven, maar we houden de magneet onbeweeglijk en bewegen met de spoel naar de magneet toe. We brengen de spoel over de magneet, houden ze stil en trekken de spoel terug.

Besluit

We bekomen dezelfde resultaten. Het maakt dus niets uit wat we bewegen.

PROEF 4

We kunnen deze proeven ook uitvoeren door inductiestroom te laten ontstaan door middel van een elektromagneet. We kunnen de stroom en ook het magneetveld laten variëren.

Besluit

Ook met een elektromagneet bekomen we een analoog resultaat. De voorgaande proeven kunnen we als volgt samenvatten. Sluiten we een klos van 1000 windingen aan op een μA - meter en brengen we de noordpool van een staafmagneet snel in de klos, dan ontstaat er een kortstondige stroom die men inductiestroom noemt. Trekt men de magneet weg, dan ontstaat een uitwijking in tegengestelde zin. Dit verschijnsel is eveneens geldig als men de permanente magneet door een elektromagneet vervangt.

Schematisch

Wanneer een magnetisch veld in de nabijheid van een gesloten keten een wijziging ondergaat of t.o.v. Die keten beweegt, dan ontstaat hierin een inductiestroom zolang de wijziging of de beweging duurt. De inductiestroom wordt groter als het magneetveld vlugger verandert en het wordt ook groter als het aantal windingen van de spoel toeneemt. Men noemt dit verschijnsel de elektromagnetische inductiewerking.

2 Toepassingen

Door het draaien van een spoel in een magneetveld ontstaat een spanning waarvan grootte en de zin in de loop van de tijd veranderen. Men spreekt dan van wisselstroom en van wisselspanning. Inductiestroom en dus ook inductiespanning liggen aan de basis van de technologische vernieuwingen sedert 1900.

Enkele toepassingen zijn:

- fietsdynamo
- generatoren
- ontstekingssystemen
- transformatoren

De meest eenvoudige dynamo is de fietsdynamo. Hij bestaat uit een wikkeling, draaiend in een permanent magneetveld. De stroom wisselt telkens nadat de wikkeling een halve slag is gedraaid van richting: er ontstaat dus wisselstroom. De stroom groeit aan van 0 tot een maximum neemt dan weer af tot nul, dan gebeurt hetzelfde maar in tegengestelde zin. In een fietsdynamo roteert de magneet boven de spoel en induceert daarin wisselstroom.

3 Zin van de inductiestroom

PROEF

Naderen we de spoel met de N-pool van de magneet, dan wordt ook het uiteinde van de spoel N-pool. Naderen we de spoel met de Z-pool van de magneet, dan wordt ook het uiteinde van de spoel Z-pool. De inductiestroom zorgt dus voor een afstotend veld.

Besluit

De zin van de inductiestroom is zodanig dat hij de verandering waardoor hij ontstaat tracht tegen te werken: dit is de wet van Lenz

Toepassing: de slinger van Waltenhofen

Een koperen plaat slinger tussende polen van een elektromagneet, daardoor ontstaat een inductiestroom (wervelstroom of Foucaultstroom) en de slinger wordt zeer vlug gedempt. Nemen we een Cu-plaat met gaten in, dan is de demping geringer (kleinere wervelstromen)

4 Magnetische flux

Proef

Uit de voorgaande proef hebben we vastgesteld dat de spanningsstoot gegeven door $U_m \cdot dt$ evenredig is met n , waarbij n het aantal windingen is.

Nu is $U_m \cdot dt = c^{te} \cdot n$

Die constante noemt men de flux ϕ (spreek uit fi)

Hieruit $\phi = U_m \cdot dt / n$

Flux dat eigenlijk een maat is voor het aantal windingen wordt gegeven door spanningsstoot / windingen

Eenheden zijn $V \cdot s = Wb$ (Weber)

Opmerking

De spanningsstoot $U_m \cdot dt = R \cdot I \cdot dt$ met R de totale weerstand, dit is de weerstand van de klos, de microampèremeter en de eventueel uitwendige weerstand.

5 Flux en magnetische inductie

De oppervlakte van de beschouwde winding heeft invloed op de flux, ze zijn evenredig met elkaar

$d\phi \sim dA$

of $d\phi/dA = c^{te}$

die constante is B , de magnetische inductie

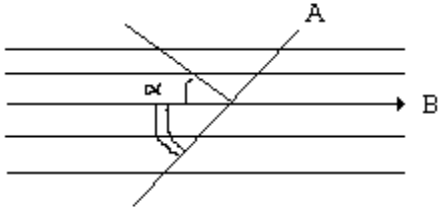
$B = d\phi/dA$

Dit is voor een niet homogeen veld, de eenheden zijn $1 Wb/m^2 = 1 T$ (Tesla)

Opmerking

Voor een homogeen veld is $B = \phi/A$

Men kan deze uitdrukking ook veralgemenen



Is $\alpha = 0^\circ$ dan is A loodrecht op B en $\cos \alpha = 1$

Is $\alpha = 90^\circ$ dan is A evenwijdig met B en $\cos \alpha = 0$

Hieruit volgt dat $\phi = B.A. \cos \alpha$

$$\phi = B.A. \sin (B,A)$$

6 Algemene inductiewet

Uit de definitie voor de flux nl. $U_m \cdot dt = n \cdot d\phi$ halen we

$$U_m = n \cdot d\phi / dt$$

Hierbij dient opgemerkt dat als ϕ stijgt de U_{ind} zal dalen of:

$$U_m = - n \cdot d\phi / dt$$

Algemeen vinden we

$U_{ind} = - n \cdot d\phi / dt$ $\phi = B.A. \sin (B,A)$

dit is de wet van Faraday.

7 Vragen en opgaven

- 1 Hoe lang duurt de inductiestroom in een gesloten ring, die men naar de magneet nadert? Waaraan is het verdwijnen van die stroom te wijten?
- 2 Bereken de inductie van een solenoïde met flux van 100 Wb en een oppervlak van 100 cm².
- 3 Hoe groot is het oppervlak van een klos van 100000 T en een flux van 500 Wb als de hoek tussen het oppervlak en de veldsterkte 30° is.
- 4 Bereken de flux als de veldsterkte 0,32 mT is in lucht, de oppervlakte van de spoel 10 cm² en $\mu_r = 4 \cdot 10^4$.

8 Zelfinductie

8.1 De self

Een veranderende stroom doet een inductiespanning ontstaan in zijn eigen leiding. Dit verschijnsel noemt men zelfinductie. Brengt men een ijzeren spoel door de kern, dan spreekt men van een self of smoorspoel.

8.2 Verband tussen zelfinductie en stroomsterkte

In de formule voor de inductiespanning

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot d\phi/dt$$

kunnen we $\phi = B \cdot A$ substitueren dan is

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot A \cdot dB/dt$$

Met $B = \mu \cdot n \cdot I/l$ wordt dat

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot \mu \cdot A \cdot \frac{n \cdot dl}{l \cdot dt}$$

$$\frac{-U_{\text{ind}}}{dl/dt} = \frac{\mu \cdot n^2 \cdot A}{1}$$

Het rechterlid van deze uitdrukking hangt alleen af van de gegevens van de zelfinductiecoëfficiënt en men stelt het voor door L.

$$L = \mu \cdot \frac{n^2 \cdot A}{l}$$

1

en $L = - U_{\text{ind}} \cdot dt / dI$

Is $dI > 0$ dan is $U_{\text{ind}} < 0$

$dI < 0$ dan is $U_{\text{ind}} > 0$

Eenheden van L

$V \cdot s/A = Wb/A = H$ (Henry) (analoog uit de 2^{de} formule)

8.3 Energie in een smoorspoel

Uit de formule van het vermogen nl. $P = U \cdot I$
vinden we met $U = L \cdot dI/dt$

dat $P = I \cdot L \cdot dI/dt$

$$\text{of } P = \frac{d(1/2 \cdot L \cdot I^2)}{dt} = \frac{d(E_{\text{mag}})}{dt}$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

8.4 Vragen en opgaven

1 Waarom heeft een self een ijzeren kern?

2 Bereken de zelfinductiecoëfficiënt van een spoel met $\mu_r = 100000$, een oppervlakte van 250 cm^2 , een lengte van 100 cm en 1000 windingen.

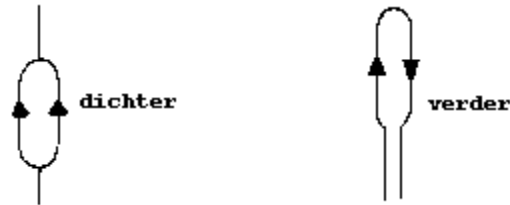
3 Bereken de zelfinductie van een self die een energie van 12 J heeft, en waar een stroom van $0,45 \text{ A}$ doorgaat.

3 KRACHTWERKING BIJ MAGNETEN

1 Krachtwerking van stromen op elkaar

PROEF

We sturen een stroom door twee evenwijdige geleiders zoals op de onderstaande figuren.



Waarneming

We zien dat twee stromen in dezelfde zin elkaar aantrekken en twee stromen in tegengestelde zin elkaar afstoten.

Besluit

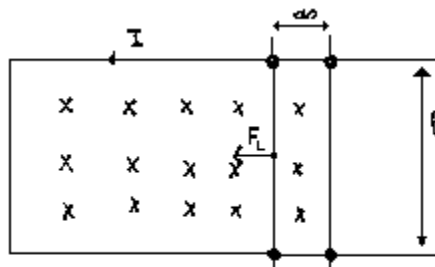
Stroomvoerende geleiders oefenen krachten uit op elkaar. Stromen in dezelfde zin trekken elkaar aan en stromen in tegengestelde zin stoten elkaar af.

Schematisch

Twee stromen in dezelfde zin trekken elkaar aan.
Twee stromen in tegengestelde zin stoten elkaar af.

2 Lorentzkrachten

Een stroomvoerende geleider die in het veld van een magneet geplaatst wordt, is onderworpen aan een kracht. Intuïtief kunnen we inzien dat die kracht zal afhangen van de stroomsterkte I , de magnetische inductie B en de lengte l van de draad nl. $F_L = B \cdot I \cdot l$



Beschouw een rechthoekige gesloten leiding, één zijde met lengte 1 is verplaatsbaar zonder wrijving op de twee aangrenzende zijden. Het geheel staat in een magnetisch veld met veldsterkte B (aangeduid met een x)

Verschuiven we de staaf naar rechts over een afstand ds , dan verandert de flux Φ die door de leiding omvat wordt met een bedrag

$$d\Phi = B \cdot dA \quad \text{met } dA = l \cdot ds$$

Gebeurt dat in een tijd dt , dan wordt de inductiespanning

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot d\Phi/dt \quad \text{met } n = 1$$

of $U_{\text{ind}} = -B \cdot l \cdot ds/dt = -B \cdot l \cdot v$

$$U_{\text{ind}} = -B \cdot l \cdot v$$

Deze inductiespanning zal in de leiding een stroom I doen ontstaan met energie $E = W = U \cdot I \cdot dt$

Men heeft een arbeid W moeten leveren om deze energie te doen ontstaan

$$W = U \cdot I \cdot dt = -B \cdot l \cdot I \cdot ds/dt = -B \cdot l \cdot I \cdot ds$$

en men heeft dus een kracht W/ds naar rechts moeten uitoefenen. Wegens de wet van actie en reactie zal het veld een even grote kracht naar links ondergaan

$$F = -W/ds = -(-B \cdot l \cdot I \cdot ds/ds) = B \cdot l \cdot I$$

of

$$F_L = B \cdot l \cdot I$$

We noemen deze kracht de Lorentzkracht.

Hoe vinden we de zin van de kracht door het veld op de stroom uitgeoefend?

Met de rechterhandregel of derde regel van de kurkentrekker

- de wijsvinger of index in de richting van I
- de middenvinger in de richting van het magnetisch veld
- de duim heeft de zin van de Lorentzkracht

Schematisch

Een bewegend magnetisch veld veroorzaakt een Lorentzkracht.

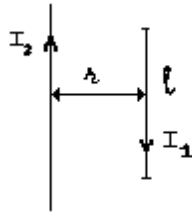
De formule voor de Lorentzkracht : $F = -B \cdot l \cdot I$

4 Wat is de absolute ampère?

De meter, de kilogram en de seconde zijn eenheden die exact gedefinieerd zijn. Om nu de elektrische eenheden te kunnen gebruiken moeten we dit ook doen voor de eenheid van stroomsterkte, nl. de absolute ampère.

Uit de formule van de Lorentzkracht kunnen we nu exact de absolute ampère definiëren:

'de absolute ampère is de sterkte van de stationaire stroom, die als hij door een oneindig lange rechte geleider gaat en door een evenwijdig stroomelement van 1 m lengte, op een afstand van 1 m in het luchtledige geplaatst gaat, op dit laatste een kracht van $2 \cdot 10^{-7}$ N uitoefent'



Als $F_L = B \cdot I \cdot l$ (l loodrecht op B) en $B = \mu \cdot I_2 / 2\pi r$

Dan is $F = \mu \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l / 2\pi \cdot r$ met $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Vs/Am

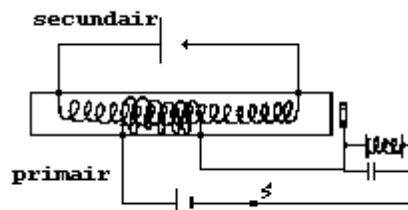
of $\mu_0 / 2\pi = 1,257 \cdot 10^{-6} / 2 \times 3,1415 = 2 \cdot 10^{-7}$ N

mits $l = 1$ m, $r = 1$ m en $I_1 = I_2 = 1$ A

5 Toepassingen

5.1 De inductieklos van Ruhmkorff

Een inductieklos of vonkindicator wordt o.a. Gebruikt om ontstekingsvonken in de auto te krijgen, om gasontladingen, kathodestralen en röntgenstralen te doen ontstaan.



Een vonkindicator bestaat uit een weekijzeren kern omgeven door 2 wikkelingen, de primaire wikkeling, een klein aantal windingen met dikke draad en de secundair, een groot aantal wikkelingen met dunne draad.

Hoe werkt een vonkindicator?

We sluiten de primair aan op een laagspanningsbron die regelmatig onderbroken wordt zoals bij een elektrische bel.

Zowel bij het inschakelen als bij het uitschakelen wordt in de secundair een hoge spanning geïnduceerd die toelaat hoge vonken te krijgen. De ogenblikkelijke spanning U_s in de secundair door I_p opgewekt wordt gegeven door

$$U_s = - n_s \cdot d\phi/dt$$

n_s en n_p zijn respectievelijk het aantal wikkelingen in de secundair en het aantal wikkelingen in de primair

met $\phi = B \cdot A$ en $B = \mu \cdot n_p \cdot I_p / l$

wordt de inductiespanning

$$U_s = - \frac{\mu \cdot n_s \cdot n_p \cdot A}{l} \cdot \frac{dI_p}{dt}$$

We zien dat we een hoge spanning in de secundair krijgen door het aantal windingen n_s op te drijven.

5.2 De glimlamp

De glimlamp bestaat uit een glazen buisje van 1.5 cm hoog dat met neongas gevuld is bij een druk van 1 mm kwik. De elektroden bevinden zich op een onderlinge afstand van 1 tot 2 mm. Verbinden we een neonlampje met 3, 4,... 8 batterijen (72 V) met bronspanning 9 V in serie geschakeld dan is er geen licht. Verbinden we het neonlampje met 9 batterijen (81 V) dan licht het lampje hel op. Rond de negatieve elektrode bevindt zich een "lichtende laag" gloeiend neongas (negatief glimlicht). De kleur van het uitgestraalde licht is rood. Belangrijk is dus: een neonlampje ontsteekt pas bij een spanning van 70 tot 80 V. Zo'n lampje is dus een middel om de aanwezigheid van hoge spanning vast te stellen. Dit principe wordt o.a. toegepast in schroevendraaiers als spanningszoeker.

Hoe werkt een spanningszoeker?

Stroom kan alleen lopen in een gesloten kring. Elke verbruiker zal dus uitgerust dienen te zijn met twee aansluitingen - dat is duidelijk. Toch zijn er dingen die tegen deze laatste wet lijken te zondigen. Neem nou zo'n simpele spanningszoeker. Die lijkt toch echt maar één aansluiting te hebben. Je prikt hem in het stopcontact en als je de fase te pakken hebt, gloeit het neonlampje op.

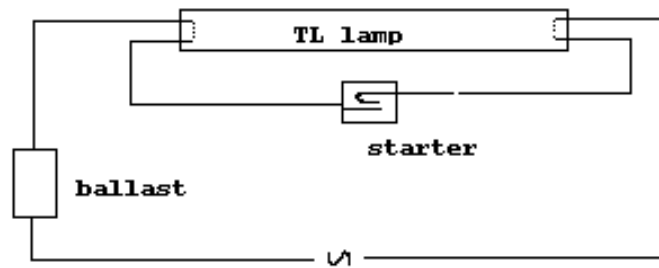
Hoe kan dat?

Wel, om te beginnen heeft een spanningszoeker, niet één maar twee aansluitingen - het dopje achterop vormt de tweede pool. Wil het neonlampje opgloeien, dan moet je dat dopje ook met je vinger aanraken. Maar hoe loopt de stroom dan - door je vinger??? Ja, inderdaad, of beter gezegd: door je lichaam.

Overigens, gevaarlijke vormen kan de stroom door het lichaam bij gebruik van een spanningszoeker nooit aannemen. In serie met het neonlampje is namelijk een weerstand opgenomen van enkele $M\Omega$, waardoor de stroom afdoende wordt begrensd tot een mensvriendelijke waarde, zelfs al zou u met uw andere hand de waterleiding beetpakken.

5.3 De TL-lamp

TL staat voor tube luminescent en is op de markt sedert 1945. Een TL-lamp heeft vier aansluitpennen. Verbinden we twee tegenoverstaande contactpennen met het 220 V stopcontact dan brandt de lamp niet! Zouden we de contactpennen verbinden met een 400 V spanningsbron dan zou de lamp wel branden! Naast de TL-buis hebben we een ballast en een starter nodig om ze aan 't branden te krijgen.



- Een TL-buis is in feite een gasontladingslamp d.w.z. Dat het licht ontstaat door een elektrische stroom doorheen een gas te sturen. In een TL-buis is aan beide zijden een gloeidraad ingesmolten. De buis is gevuld met een gasmengsel: kwikdamp en argon. Aan de binnenkant van het glas zit een laag fluorescerend poeder. Dit poeder straalt wit licht uit als het zelf bestraald wordt met (onzichtbare) ultraviolet stralen. Omdat de gloeidraden warm zijn, zenden ze elektronen uit. Deze elektronen botsen op kwikatomen die daardoor worden aangeslagen: de "extra-energie" wordt door het terugvallend elektron uitgezonden als ultraviolet straal.

- De ballast van een TL-buis bestaat uit een spoel met ijzeren kern, die door zelfinductie een hoge spanning kan leveren. Zolang S gesloten is, zit er een magnetisch veld in het stuk ijzer. Als S wordt geopend verdwijnt dit veld plots. Deze verandering veroorzaakt een hoge inductiespanning over de klemmen a en b. Je kan de inductiespanning hoger maken door een zwaardere ijzerkern en door meer windingen op de spoel.

- De starter dient als schakelaar en bestaat uit een neonlampje. Als we de lamp aanschakelen begint ze te knipperen: als het neonlampje brandt, dooft de gloeilamp en omgekeerd. Hoe komt dat? Van zodra de 220 V is aangesloten, loopt een stroom door het neongas en de neonlamp brandt. Die stroom is te klein om de gloeilamp te doen branden. Door de ontlading in het neongas worden de 2 bimetaalstrookjes warm. Ze buigen naar elkaar toe en maken kortsluiting. Daardoor dooft de neonlamp uit. Door de kortgesloten bimetaalstrips loopt nu wel een grote stroom en de gloeilamp brandt. Ondertussen koelen de bimetaalstrips af. Ze wijken terug uit elkaar en het verhaal herbegint.

Hoe begint een TL-buis te branden?

Zodra de schakelaar wordt gesloten, staat de netspanning over de bimetaalstrips. De starter ontsteekt, de bimetaalstrips warmen op en sluiten kort. Nu loopt een sterke stroom door ballast, gloeidraad 1, starter en gloeidraad 2. De warme gloeidraden zenden elektronen uit, maar de spanning over de TL-buis is nog niet groot genoeg voor ontsteking.

De afgekoelde bimetaalstrips wijken uiteen, de stroom stopt plots, waardoor een hoge inductiespanning over de ballast ontstaat. De spanning over de gloeidraden is nu hoog genoeg, de TL-buis begint te branden. Eens de TL gestart is het gedaan met de hoge inductiespanning. Om te ontsteken heeft een TL-buis 400 V nodig. Om te blijven branden is ze tevreden met een goede 100 V. Eens de TL gestart loopt er geen stroom meer door de gloeidraden. De gloeidraden worden voortdurend gebombardeerd door rondvliegende elektronen en ionen; daardoor blijven ze warm.

Spaarlampen: energiebesparend?

In de handel kan je naast TL-lampen ook SL- en PL-lampen verkrijgen. Ze zijn heel wat duurder dan gloeilampen en TL-lampen maar verbruiken veel minder energie. SL- en PL-lampen zijn in feite gebogen TL-buizen. Bij de SL zitten in de lampvoet een ballast en een starter.

Bij de PL zit in de lampvoet enkel een starter. Die lamp heeft dus nog een extra ballast nodig. Om te kijken of we door gebruik van spaarlampen energie besparen vergelijken we onderstaande cijfers.

	Levensduur	Lichtrendement
Gloeilamp	1000 u	10-14 lm/W
Halogeenlamp	2000 u	20-25 lm/W
TL-buis	7500 u	50-94 lm/W
PL, SL	5000 u	50 lm/W

met lm de lichtsterkte in lumen.

Zoals je zelf kunt vaststellen zijn spaarlampen energiebesparend, ondanks hun hogere aanschafprijs.

6 Vragen en opgaven

- 1 Is het voldoende dat een lading zich in een magneetveld bevindt om een Lorentzkracht te krijgen?
- 2 Een solenoïde van 24 cm lang bestaat uit 320 windingen. Hoe groot is de magnetische inductie binnen de solenoïde als er een stroom van 12,0 A doorloopt?
- 3 Bereken de magnetische inductie binnen een solenoïde van 4,5 dm lang die 900 windingen telt en door een stroom van 0,60 A wordt doorlopen als er zich binnenin een ijzeren kern met $\mu_r = 300$ bevindt.
- 4 Een toroïde met 400 windingen en gemiddelde diameter van 0,16 m heeft een magnetisch inductie van intensiteit $65 \mu\text{T}$. Hoe groot is de stroom die men door de draad moet laten vloeien?
- 5 Een inductiespoel van 50 windingen en een doorsnede van $10,0 \text{ cm}^2$ staat loodrecht op de veldlijnen van een homogeen veld van 25 mT. Hoe groot is de geïnduceerde spanningsstoot bij het in of uitschakelen van het veld en hoe groot is de gemiddelde geïnduceerde spanning, als het in of uitschakelen $1/50 \text{ s}$ duurt?
- 6 Een ruhmkorffklos is 3,50 dm lang en heeft een primair van 800 windingen met 3,50 cm straal. Binnen de klos zit een ijzeren kern met relatieve permeabiliteit 200. Door de primair loopt een stroom van 3,0 A. De secundair heeft 7000 windingen. Welke spanning ontstaat er in de secundair als men sluiten en verbreken van de primair in $1/20 \text{ s}$ doet.

4 MULTIMETERS, TRANSFORMATOREN EN MOTOREN

1 Onderscheid gelijkstroom en wisselstroom

Om de werking van de volgende meettoestellen goed te kunnen begrijpen, moeten we eerst het onderscheid aangeven tussen gelijkstroom en wisselstroom.

PROEF

We sluiten een ampèremeter aan op een batterij van 1,5 V.

Waarneming

De uitwijking van de naald blijft op dezelfde waarde staan.

Besluit

De stroom gaat dus in een zin door de stroomkring. We noemen dit gelijkstroom. Batterijen leveren o.a. gelijkstroom.

PROEF

We sluiten een ampèremeter aan op een spoel en laten een staafmagneet op en neer bewegen in die spoel.

Waarneming

De naald schommelt heen en weer.

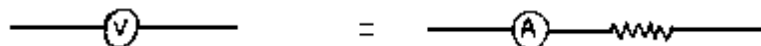
Besluit

De zin waarin de stroom door de kring gaat, wisselt voortdurend. We spreken daarom over wisselstroom. Deze wisselstroom is inductiestroom. Het elektriciteitsnet levert wisselstroom.

2 Hoe werkt een ampèremeter?

Een ampèremeter bestaat uit een hoefijzervormige magneet en een draaispoel, die in de magneet kan draaien. De draaiing van de spoel wordt echter tegengewerkt door spiraalveren. De hoek, waarover de spoel toch kan draaien, is een maat voor de stroomsterkte.

Een voltmeter is de combinatie van een ampèremeter en een grote weerstand, die in serie verbonden zijn.



3 Hoe werkt een transformator?

Een transformator zet een spanning om in een hogere of in een lagere spanning. Je kunt er dus spanningen mee transformeren. Op twee aansluitingen zet je een wisselspanning en op twee andere aansluitingen ontstaat dan een andere

wisselspanning. De eerste twee aansluitingen zijn de primaire kant en de twee andere de secundaire kant van de transformator.

Een transformator bestaat uit een ijzeren kern met twee spoelen. De eerste spoel is de primaire spoel en heeft n_p windingen. De tweede spoel is de secundaire spoel en heeft n_s windingen. De transformatieverhouding van U_p tot U_s is alleen afhankelijk van de verhouding van het aantal windingen.

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{n_p}{n_s}$$

In een schema wordt een transformator als volgt getekend

4 Motoren

We hebben al gezien dat een ampèremeter en een voltmeter in feite kleine motoren zijn. We kunnen nu ook grotere motoren maken die als volgt werken.

Draaien we een klos met ijzeren kern anker genoemd eenparig tussen de benen van een hoefijzermagneet, inductor genoemd.

De uiteinden van het anker zijn verbonden met twee sleepringen (collector) waartegen twee borstels slepen, dan ontstaat een wisselstroom.

Vervangt men het anker door een gelijkaardig, maar waarvan de uiteinden verbonden zijn met twee halfcirkelvormige segmenten waartegen borstels wrijven dan ontstaat gelijkstroom.

Hier wordt mechanische energie in elektrische energie omgezet.

- Gebruikt men een permanente magneet als inductor dan spreekt men van magneto's. Deze worden voor kleine vermogens gebruikt. Een fietsdynamo is dus eigenlijk een magneto en produceert wisselstroom.

- Gebruikt men een elektromagneet als inductor dan spreekt men van een dynamo. De voedingsstroom van de dynamo kan of door een afzonderlijke gelijkstroombron of door de dynamo zelf geleverd worden (zelfbekrachtiging). Dit laatste is mogelijk dank zij de remanente inductie, dit is het feit dat de ijzeren kern een gering deel van zijn eigenschappen blijft behouden. Sluiten we nu de borstels van een dynamo aan op een gelijkstroombron, dan draait de dynamo. De dynamo is dus een omkeerbaar toestel.

Zetten we de mechanische energie om in elektrische energie, dan spreken we van een generator. Sluiten we het anker aan op gelijkstroom, dan wordt elektrische energie in mechanische energie omgezet en men spreekt van een elektromotor. Merk op dat de draaizinn van generator en elektromotor voor dezelfde stroomzin tegengesteld zijn.

5 Meer over wisselstroom

5.1 Hoe ontstaat wisselstroom?

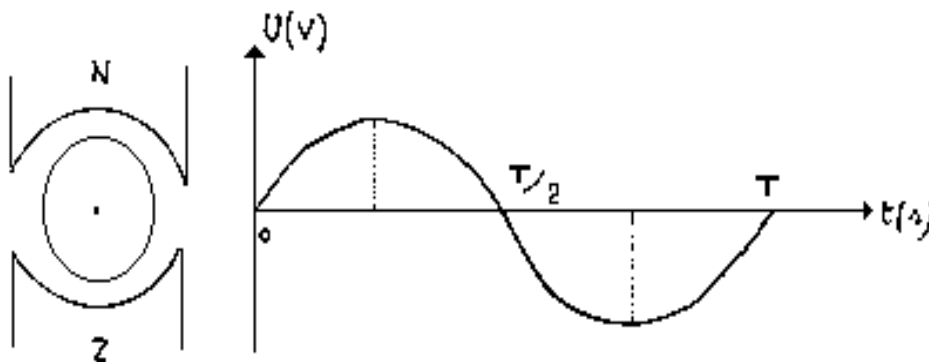
PROEF

Bewegen we een staafmagneet voortdurend op en neer in een spoel, dan stellen we vast dat de uitwijking op de ampèremeter voortdurend van zin verandert.

Besluit

Verandert de stroomsterkte en dus ook de spanning gedurende elke halve periode dan spreekt men van wisselstroom en van wisselspanning. We hebben we gezien dat er een verband bestaat tussen stroomsterkte en spanning nl. $U = R \cdot I$, dit is de wet van Ohm. We zetten de wisselspanning uit in een $U(t)$ -grafiek.

In een constant magnetisch veld draait een spoel. De ontstane stroom verandert voortdurend van zin, men verkrijgt een sinusfunctie of sinusoïde.



Wiskundig kan men een sinusfunctie schrijven als:

$$I = I_m \cdot \sin \omega t$$

$$U = U_m \cdot \sin \omega t$$

Hierin zijn:

- U_m en I_m de amplitudes of resp. de maximale spanning en stroomsterkte
- $\omega = 2\pi/T$ de pulsatie of hoeksnelheid in rad/s
- $\omega = 2\pi f$
- T de periode in s
- $f = 1/T$ de frequentie in s^{-1} of Hz (Hertz)
- t de tijd in s

Merk op dat de wisselstroom die wij kennen heeft een frequentie heeft van 50 Hz.

5.2 Wat lezen we af op een ampèremeter of voltmeter?

Hetgeen we aflezen op de ampère - of voltmeter is niet de maximumwaarde van U of I, maar een gemiddelde waarde. We noemen deze gemiddelde waarde de effectieve waarde.

Ze zijn gelijk aan:

$$I_e = I_m / \sqrt{2} = I_m \cdot 0,707$$

$$U_e = U_m / \sqrt{2} = U_m \cdot 0,707$$

Merk op dat we in het vervolg de index e zullen weglaten.

5.3 Waarom wisselstroom en wisselspanning?

Om elektrische stroom te verplaatsen kan men geen gelijkstromen gebruiken omdat de kabels te dik zouden moeten zijn om grote stromen over lange afstanden te verplaatsen. Wisselstroom daarentegen kan men zeer gemakkelijk transporteren omdat men de stroomsterkte kan verminderen door de spanning te vergroten. Bij ontvangst worden de spanningen dan weer verlaagd zodat de stroomsterkte weer stijgt.

5.4 De fietsdynamo als toepassing

Een eenvoudige dynamo bestaat uit een wikkeling, draaiend in een permanent magneetveld. Zoals uit de afbeelding hierboven blijkt, wisselt de stroom telkens nadat de wikkeling een halve slag is gedraaid, van richting; er ontstaat dus wisselstroom, van 0 aangroeiend tot een maximum, afnemend tot nul en dan hetzelfde maar tegengesteld. In een fietsdynamo roteert een magneet boven een spoel en induceert daarin wisselstroom. Voor het opwekken van een inductiestroom maakt het niets uit of een spoel passeert. In een fietsdynamo heeft men een roterend magneetveld en vaste inductiespoelen, waarin wisselstroom ontstaat.

6 Vragen en opgaven

- 1 Bereken de effectieve spanning bij een maximale spanning van 2,3 V.
- 2 Bereken de periode van onze wisselstroom.
- 3 Hoe groot is de spanning bij 50 Hz na 0,1 s als de amplitude $U_m = 3,1$ V?
- 4 De spanning van de primair van een transformator is 500 V en de primaire spoel heeft 2500 windingen. Hoeveel windingen heeft de secundaire spoel als we een spanning van 12 V wensen te bekomen.
- 5 Bereken de stroomsterkte van een wisselspanning als $I_m = 1,7$ A met een periode van 0,02 s en na een tijd van 0,375 s.

Schematisch

Bij gelijkstroom gaat de stroom in een zin door de stroomkring.

Bij wisselstroom wisselt de stroomzin voortdurend.

Een transformator kan een spanning omzetten in een hogere of lagere spanning.

Transformatoren worden ingeschakeld bij de elektriciteitsdistributie. Om het energieverlies in de draden tot een minimum te herleiden, wordt de elektriciteit getransporteerd onder hoogspanning. Net voordat de stroom bij de gebruiker komt wordt de hoogspanning getransformeerd tot een waarde van 220 V.

SAMENVATTING MAGNETISME

Magneten hebben de eigenschap ijzeren voorwerpen aan te trekken.
Magneten hebben een noordpool en een zuidpool.
Gelijknamige polen stoten elkaar af en ongelijknamige polen trekken mekaar aan.
Stuurt men een elektrische stroom door een spoel dan ontstaat een elektromagneet.

Door elk punt van de ruimte gaat een veldlijn en de veldlijnen snijden elkaar niet.
Bij stroomvoerende geleiders zijn de veldlijnen gesloten lijnen die de stroom omringen.
De veldlijnen verlopen zowel binnen als buiten het ijzer. Buiten de magneet of solenoïde gaan de veldlijnen van N naar Z. Binnen de magneet of solenoïde gaan de veldlijnen van Z naar N.
De zin is de zin van de noordpool (regel van de kurketrekker)

Bij gelijkstroom gaat de stroom in een zin door de stroomkring.
Bij wisselstroom wisselt de stroomzin voortdurend.
Een transformator kan een spanning omzetten in een hogere of lagere spanning.
Transformatoren worden ingeschakeld bij de elektriciteitsdistributie. Om het energieverlies in de draden tot een minimum te herleiden, wordt de elektriciteit getransporteerd onder hoogspanning. Net voordat de stroom bij de gebruiker komt wordt de hoogspanning getransformeerd tot een waarde van 220 V.

PRODUCTIE VAN ELEKTRICITEIT

1 ENERGIE

1 Energie

Een "systeem" bezit energie als het in staat is arbeid te verrichten. De eenheid van energie is de Joule.

Voorbeelden

- met een veer wind je een speelgoedauto op, het autootje rijdt.
- je duwt tegen een rotsblok en de rotsblok valt van de helling

Energie kan in verschillende vormen voorkomen.

- 1) MECHANISCHE ENERGIE
- 2) THERMISCHE ENERGIE
- 3) ELEKTRISCHE ENERGIE
- 4) STRALINGSENERGIE
- 5) MASSA-ENERGIE
- 6) CHEMISCHE ENERGIE

2 Wet van behoud van energie

Men kan aantonen dat in de natuur geen energie kan ontstaan en ook geen energie kan verloren gaan, wel kan de ene vorm in de andere worden omgezet.

Voorbeelden

- Bij een atoombom wordt massa omgezet in thermische energie (warmte) en stralingsenergie
- Bij een motor wordt elektriciteit in mechanische energie omgezet.

3 Rendement

Het doel van elke door de mens gewilde energie-omzetting is het bekomen van een bepaalde energievorm. We zullen daar echter nooit volledig in slagen omdat er altijd een deel van de energie verloren gaat onder de vorm van warmte. We zouden dus moeten proberen het verlies zoveel mogelijk te beperken.

Het rendement is de verhouding van de nuttige energie tot de totale geleverde energie. Het symbool is η en wordt meestal in procent uitgedrukt.

$$\eta = \frac{\text{nuttige energie}}{\text{geleverde energie}}$$

Voorbeelden

gloeilamp 5%
TL-lamp 25%
benzinemotor 25%
dieselmotor 40%
accu 80%
elektromotor 90%
transformator 98%

2 DE ZON ALS ENERGIEBRON

1 Ontstaan van zonne-energie

Het is voor iedereen duidelijk dat de aarde door de zon opgewarmd wordt, dus haar energie van de zon krijgt. Hoe produceert de zon haar energie?

In de zon grijpen kernfusies plaats. De zon is opgebouwd uit waterstof en helium. In de kern van de zon worden temperaturen tot 20 miljoen graden Celcius bereikt. Dit proces behoort tot het domein van de kernfysica en er wordt hier dieper op ingegaan in het zesde jaar.

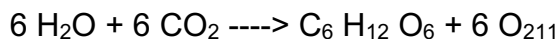
2 Opslaan van zonne-energie

Planten kunnen de zonne-energie opslaan. Worden de planten dan bedekt door lagen aarde, dan zullen er na miljoenen jaren chemische processen plaatsgrijpen die het ontstaan geven aan o.a. steenkool, petroleum en aardgas. Deze fossiele brandstoffen kunnen verbrand worden en geven hun opgeslagen energie weer vrij onder de vorm van warmte die dan kan gebruikt worden om ze weer in andere energievormen om te zetten.

3 De fotosynthese

De zonne-energie kan door planten worden vastgehouden. Het koolstofdioxide uit de lucht en het water uit de bodem wordt door planten omgezet in zetmeel en zuurstof. Dit kan alleen door de bladgroen korrels en onder invloed van licht. We spreken daarom over de bladgroen verrichting of over de fotosynthese.

De reactie is als volgt:



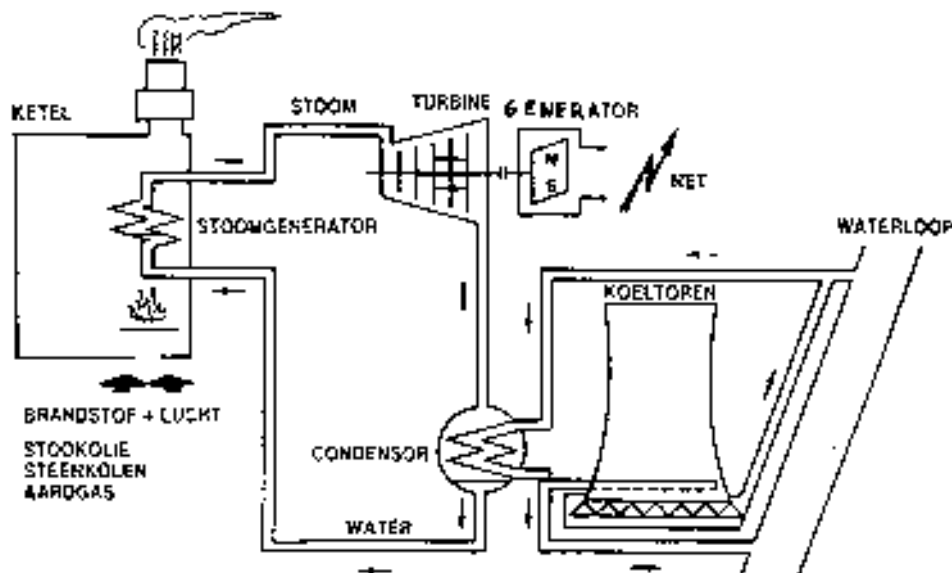
3 ENERGIE-OMVORMERS

1 Elektriciteit

Draaien we een magneet rond in een spoel of omgekeerd dan ontstaat er een wisselstroom. Grote magneten en spoelen noemt men generatoren. Het komt er dus op aan om de generatoren te kunnen laten ronddraaien. Daarvoor hebben we in een elektrische centrale brandstof nodig.

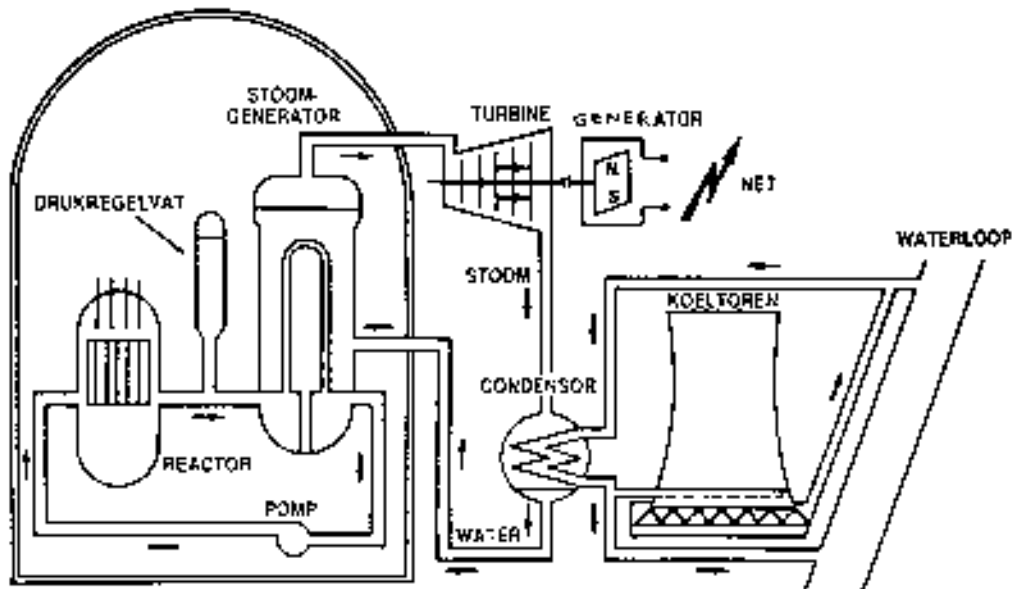
2 Klassieke centrales

Is de brandstof steenkool petroleum of aardgas, dan spreekt men van een klassieke thermische centrale. Er wordt warmte (stoom) geproduceerd die men dan in een draaiende beweging omzet en daarmee de generator aandrijft. Onderstaand schema geeft een beeld van de elektriciteitsproductie.



3 Kerncentrales

Het grote verschil met de klassieke centrale is alleen de brandstof. Hier wordt gebruik gemaakt van uranium dat met neutronen wordt beschoten. Het is een fissie reactie, waarbij veel energie vrijkomt. Onderstaand schema toont de verschillen en de gelijkenissen met de klassieke centrale.



4 ALTERNATIEVE OMVORMERS

1 Zonne-energie

De zon levert al vijf miljard jaar energie. Fossiele brandstoffen zijn eveneens te beschouwen als afkomstig van de zon. Wij spreken over zonne-energie als we rechtstreekse zonne-energie gebruiken.

De voordelen zijn:

- praktisch onuitputtelijke energiebron
- erg milieuvriendelijk
- geen vervoerkosten omdat ze meestal ter plaatse wordt opgewekt.

De nadelen zijn:

- lage rendementen, grote opvang vlakken nodig
- wisselvallige bron wegens dag en nacht en seizoenen

Toepassingen zijn:

- de zonnecollector: de warmte van de zon wordt via een zwarte metalen plaat overgedragen aan water dat op die manier tot 70 °C verwarmd wordt en dan naar een opslagplaats getransporteerd wordt.
- de zonnecel: de energie wordt rechtstreeks in spanning omgezet via zonnecellen gemaakt uit silicium.
- de elektrische zonnecentrale

2 Windenergie

De voordelen:

- het kost niets (behalve de molen)
- het is een schone energiebron die in de kuststreek overvloedig beschikbaar is.

De nadelen:

- het snelle draaien kan geluidshinder veroorzaken.
- het waait niet altijd.
- 1 windmolen levert weinig energie, er moeten dus een heleboel windmolens bij elkaar geplaatst worden zodat men kan spreken over visuele milieuhinder.

3 Waterkracht energie

Bij hydrocentrales moet je over een krachtige waterstroom beschikken om met water een waterrad in beweging te brengen. Men moet dan soms stuwdammen bouwen om over een groot hoogteverschil te beschikken. Men kan ook gebruik maken van

het hoogteverschil tussen eb en vloed, men spreekt dan van een getijden centrale (in Bretagne is er 11,4 m verschil in hoogte tussen eb en vloed)

Voordelen:

- water aanwezig
- geen schadelijke stoffen in het milieu

Nadelen:

- de bouwkosten zijn zeer groot
- de bouw van stuwdammen beïnvloed de stand van het water en heeft ecologische gevolgen getijden centrales kunnen slechts op weinig plaatsen ingebouwd worden.

5 ENERGIE EN MILIEU

1 Luchtverontreiniging

Om in zijn energiebehoefte te voldoen maakt de mens gebruik van de verbranding van fossiele brandstoffen. Verbranden van fossiel brandstoffen levert schadelijke stoffen op zoals zwaveldioxide, stikstofoxiden, koolstofmonoxide en koolstofdioxide. Het zwaveldioxidegas is de belangrijkste component van de luchtverontreiniging en tast ademhalingswegen aan, maar ook planten, metalen en gebouwen. Het ontzwavelen van brandstoffen is een mogelijkheid om het probleem te omzeilen, naast het gebruik van zwavelarme brandstoffen.

2 Waterverontreiniging

Onder de vorm van neerslag komen de uitgestoten gassen terug in het water terecht en zorgen ook daar voor een nieuwe verontreiniging. De zure regen tast gebouwen en monumenten aan.

3 Radioactieve verontreiniging

De mens wordt voortdurend blootgesteld aan radioactieve verontreiniging. Deze radionucliden zijn afkomstig van:

- radionucliden in de natuur
- radionucliden in het lichaam zelf
- radionucliden van kosmische oorsprong
- radionucliden van medische oorsprong

Het maximum toelaatbare dosisequivalent bedraagt 5 mSV per jaar Volksgezondheid bepaalt normen voor maximaal toelaatbare concentraties radionucliden, die mogen voorkomen in lucht, water en voedsel. Er zijn Europese normen in dit verband.

De radioactiviteit die vrijkomt in de atmosfeer ten gevolge van de werking van kerncentrales is zeer gering. De ongevalrisico's worden eveneens tot een minimum beperkt.

De normale werking van een reactor geeft kleine hoeveelheden radioactief gas of vloeistof, die terechtkomen in afzonderlijke installaties voor behandeling en opslag, vooraleer onder controle geloosd te worden in de lucht of in het water.

Het volume van die lozingen is streng gereguleerd en moet onder de toelaatbare concentraties blijven.

Bij verwerking van de afvalstoffen wordt onderscheid gemaakt tussen laag actieve en hoog actieve afvalstoffen.

Laag actieve stoffen

Vooraf vaste afvalstoffen zoals filters en besmette werktuigen worden ingepakt in beton, bitumen of hars en daarna in containers opgeslagen. Deze containers worden op de oceaانبodem neergelaten ofwel op geringe diepte in bewaakte plaatsen begraven. De splijtingsprodukten verliezen een groot deel van hun activiteit door natuurlijk verval. Ze worden 2 jaar bewaard en dan naar opwerkingsfabrieken gebracht. Daar wordt het nog bruikbaar uranium en plutonium eruit gehaald. Na die scheiding ontstaat het probleem van de hoog actieve stoffen.

Hoog actieve stoffen

De vloeistoffen moeten in een inerte vaste stof getransformeerd worden (verglazing) en dan worden opgeslagen in geschikte geologische lagen (zoutmijnen of zeer stabiele kleilagen) Dit mag geen biologisch risico meebrengen, alsook geen hinder voor de komende generaties want sommige afvalstoffen zullen zeer lang stralingen blijven uitzenden. Het volume vloeibare afvalstoffen is gelukkig klein. Voor het ogenblik worden ze opgeslagen in dikke dubbele vaten van roestvrij staal, die in betonnen ruimtes worden geplaatst.

SAMENVATTING ENERGIE

Energie is arbeid in voorraad

Energie kan omgezet worden van de ene vorm naar de andere vorm.
Er gaat geen energie verloren. Dit is de wet van behoud van energie.

Elektrische energie is de energievorm van produktie. Dat kan in klassieke centrales en in kerncentrales.

Alternatieve omvormers zijn o.a. zonne-energie, windenergie en waterenergie.

Produktie van energie geeft vervuiling. Dit kan zowel lucht, water of grondvervuiling zijn.

Men zoekt naar oplossingen om de energie spaarzaam en rationeel te gebruiken met zo weinig mogelijk vervuiling.