

Gravitatie

Newton was vooral geïnteresseerd in de bewegingen van de maan en de planeten. Hij onderzocht of hij voor vallende voorwerpen en de maan dezelfde regels kon vinden. Het verhaal gaat dat hij eens onder een boom lag en een appel zag vallen. Hij zou toen op het idee zijn gekomen dat voor de vallende appel en de ronddraaiende maan dezelfde wetten geldig moeten zijn. Ook als het niet waar is, is het toch een mooi verhaal en daarom wordt Newton vaak met een vallende appel afgebeeld.



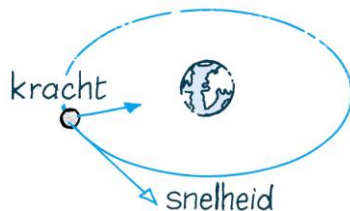
Vóór zijn tijd dacht men dat voor hemellichamen aparte regels bestonden, of dat engelen de maan in haar baan hielden. Of men zei:

‘De maan hoort *van nature* aan de hemel en een appel hoort op de grond, dat is nu eenmaal zo.’

Voor Newton was een val of een cirkelbeweging echter niet vanzelfsprekend omdat hij daarbij de snelheid zag veranderen. Voor hem was de eenparige beweging langs een rechte lijn juist de normale, ‘natuurlijke’ beweging.

Vaart en snelheid

Verandert de snelheid van de maan dan? Zij draait toch om de aarde met een constante snelheid van 1 km/s? Dat is zo, maar in de natuurkunde gebruiken we voor die 1 km/s het woord *vaart* en niet het woord *snelheid*. Als we het woord *snelheid* gebruiken, bedoelen we dat we ook op de richting letten. In deze figuur geven we de snelheid aan met een pijl die raakt aan de cirkelbaan.



Volgens Newton draait de maan in een cirkel om de aarde doordat de aarde voortdurend aan de maan trekt. Door deze kracht wordt de vaart niet groter of kleiner, maar verandert de snelheid wel, namelijk van richting. Zonder deze aantrekkingskracht zou de maan eenparig langs een rechte lijn van ons af bewegen. Newton schreef voor de kracht F tussen twee massa's M en m op afstand r :

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

Vlak bij de aarde (\oplus) wordt dit:

$$F_z = m \cdot g \quad \text{dus} \quad g = G \frac{M_{\oplus}}{r_{\oplus}^2}$$

Later bepaalde Cavendish (een nerd zouden wij hem nu noemen, want hij kwam nooit buiten) de waarde van G . Twee massa's van 1 kg op 1 m afstand trekken elkaar aan met $6,7 \cdot 10^{-11}$ N. Toen kon de massa van de aarde berekend worden. Zo is van elk hemellichaam de massa te berekenen als het een maan heeft.

Unificatie

Newton noemde deze kracht de *gravitatiekracht* (van het Latijnse *gravitas*, zwaarte). Door deze kracht in te voeren kon hij dezelfde regels gebruiken voor de beweging van de maan en van vallende appels. Hij heeft *unificatie* (eenheid) in de natuurkunde aangebracht: twee verschillende verschijnselen met één wet beschreven.

Het is nog niet gelukt de gravitatiekracht te verenigen met alle andere krachten die we kennen: de elektromagnetische kracht en de zwakke en de sterke kernkracht.

In Leiden probeert men daarom gravitatiekrachtgolven op te vangen die zouden moeten optreden als zwarte gaten met elkaar botsen. Met een bol van 1400 kg, gekoeld tot -269 °C (!) probeert men trillingen van 10^{-21} m waar te nemen. Als dat tegelijkertijd met een detector elders op aarde gebeurt, weten we zeker dat gravitatiegolven bestaan.



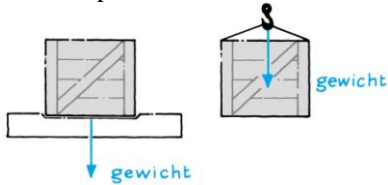
In *Binas* vind je veel formules, en dat terwijl natuurkundigen juist proberen met zo weinig mogelijk regels zoveel mogelijk verschijnselen te verklaren. Zonder natuurkunde zou het nog veel erger zijn en zou je voor iedere situatie een andere regel moeten leren.

Gewicht en gewichtloosheid

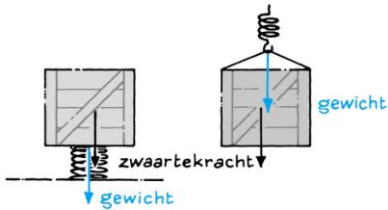
Het begrip ‘gewicht’ dat je zo goed kent uit het dagelijks leven, is natuurkundig gezien overbodig en nogal verwarrend.

Onder het gewicht van een voorwerp verstaan we de kracht die de omgeving van dat voorwerp voelt.

Als een kist op een tafel staat, is de tafel de omgeving en is het gewicht dus de kracht van de kist op de tafel. Als de kist opgehangen is, is de haak de omgeving en is het gewicht de kracht van de kist op de haak.



Je zou de tafel en de haak kunnen vervangen door veren. Als die geijkt zijn, wijzen ze ‘het gewicht’ van de kist aan.

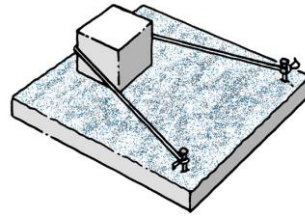


In deze voorbeelden zijn gewicht en zwaartekracht even groot. Beide wijzen omlaag, maar pas op: de zwaartekracht werkt op de kist en het gewicht werkt op de omgeving. Het zijn dus *verschillende* krachten.

Gewicht en zwaartekracht zijn niet altijd even groot. Als je staat te dansen op een weegschaal kun je hem alle waarden laten aanwijzen, ook nul en zelfs negatieve waarden.

Het is dan ook niet zo moeilijk om gewichtloos te zijn. Als je zorgt dat je geen omgeving hebt, kun je er ook geen kracht op uitoefenen en ben je gewichtloos.

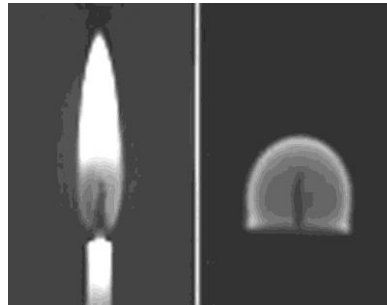
Tijdens een sprong of een val ben je gewichtloos, want je omgeving is zoek. Als je naar beneden springt met een gewicht in je handen voel je dat niet tijdens de sprong. Een sleutelbos in je zak rammelt pas bij het neerkomen. Een vallend slingeruurwerk stopt met tikken. Het elastiekje krijgt dit blokje op een plankje niet in beweging als je de wrijving groot genoeg maakt. Laat je het plankje vallen dan schiet het blokje weg. Blijkbaar komt het los van zijn omgeving – het is gewichtloos.



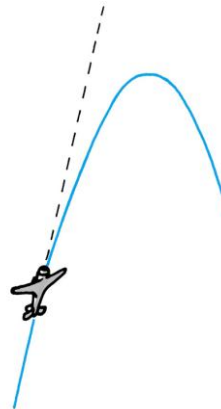
Als een ruimtevaartuig gelanceerd wordt, worden de astronauten in hun kussens gedrukt. Het voertuig oefent dan een grote kracht op hen uit om hen mee te krijgen. Hun gewicht is dan veel groter dan normaal. Een versnelling van 4 à 5 keer g is nog te verdragen.

Als de motoren worden afgezet, begint het vaartuig te vallen, bijvoorbeeld naar de maan. Tijdens die val zijn de astronauten gewichtloos. Als een astronaut uitstapt, valt hij met dezelfde versnelling als het ruimteschip in de richting van de maan. Hij heeft geen contact met zijn omgeving en is dus gewichtloos.

Vloeistof neemt aan boord een bolvorm aan en als er geen ventilatoren zouden zijn, was er geen luchtcirculatie. Een astronaut zou dan zelf op zoek moeten gaan naar zuurstof. Een kaars brandt wel, maar heel zwak en de vlam is bolvormig.



Om aan gewichtloosheid te winnen, gebruikt men een vliegtuig dat in een ‘ballistische baan’ wordt gebracht. De motoren worden afgezet en het vliegtuig gaat een paraboolbaan beschrijven: het valt weg van de rechte lijn. Na ongeveer een minuut moet de piloot de motoren weer aanzetten en heeft iedereen aan boord weer gewicht.

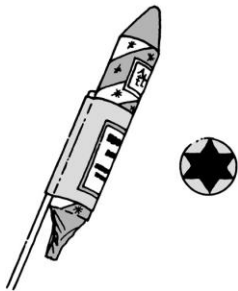


Raketten

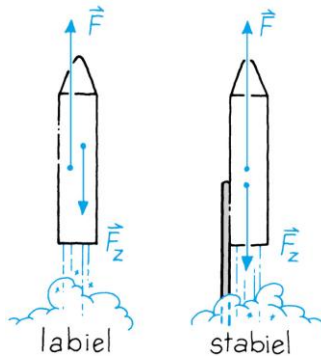
Al in de tweede eeuw voor Christus gebruikte Heron het reactieprincipe door een bol met behulp van stoom te laten draaien. In tuinsproeiers vind je dat idee weer terug.



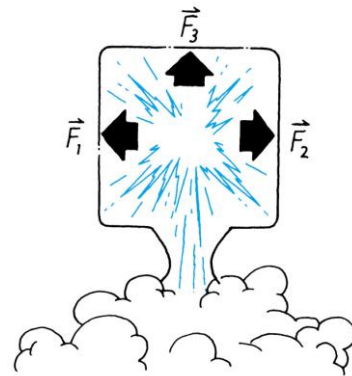
In de 13e eeuw gebruikten Chinezen vuurpijlen om hun steden te verdedigen. Een vuurpijl bevat vaste brandstof. In de as kan een gat geperst zijn dat vaak stervormig is om een zo groot mogelijk oppervlak te krijgen. Dan kan veel brandstof tegelijk ontbranden en is de $F(t)$ -grafiek kort en hoog.



Bovendien wordt de koker van een houten latje voorzien om de stabiliteit te vergroten. De stuwkracht grijpt aan in de top van het gat. Door het latje wordt de wrijvingskracht wel iets vergroot, maar het aangrijpingspunt van F_z ligt iets meer naar onder. Probeer maar eens een naald in een prikbord te gooien. Dat zal je niet lukken, tenzij je een draad door het oog van de naald hebt gehaald. De 'staart' zorgt voor stabiliteit.



Het principe van de reactiemotor is eenvoudig. In een kamer wordt een ontploffing (snelle verbranding) teweeg gebracht. De krachten \vec{F}_1 en \vec{F}_2 heffen elkaar op; ze proberen alleen de raket uit elkaar te duwen.



De kracht \vec{F}_3 blijft over en stuwt de raket omhoog. De raket zet zich dus niet af tegen de grond; raket en gassen zetten zich af tegen elkaar.

In de loop van de 20e eeuw zag men in dat vloeibare brandstof de voortstuwing beter regelbaar maakte. De hoofdmotoren van de Spaceshuttle gebruikten vloeibare waterstof als brandstof. De beruchte V-2 uit de tweede wereldoorlog bevatte een mengsel van vloeibare zuurstof en verdunde alcohol. De gehele brandstofvoorraad van 9 ton (70% van de startmassa) werd in ongeveer 1 minuut opgebruikt. De stuwkracht van zo'n $2,5 \cdot 10^5$ N werkte dus op een steeds kleinere massa, zodat de versnelling voortdurend toenam. De raket bereikte een topsnelheid van 1,5 km/s. Dat is sneller dan het geluid. Je hoorde zo'n V-2 dan ook niet aankomen. Toch is 1,5 km/s nog lang niet genoeg om een satelliet te lanceren: daarvoor is 7,9 km/s nodig. Vandaar dat men voor dat doel meertrapsraketten gebruikt, zodat de raket onderweg zoveel mogelijk massa verliest. Voor ruimtereizen voorbij Mars gebruikt men een ionenmotor. In zo'n motor (500 kg) worden atomen geïoniseerd. De ionen worden versneld en uitgestoten en dat levert een resultante van 0,1 N zodat de motor in zijn eentje na een dag een snelheid van 17 m/s zou hebben. De elektronen worden overigens via een omweg weer aan de ionen toegevoegd omdat het voertuig anders geremd zou worden door de wolk ionen die het uitstoot.

