HOOFDSTUK 5 KRACHT en BEWEGING 18 pag.

Traagheid van de “massa”.

Op zekere ochtend, bij het wakker worden, vroeg ik mij weer eens af waarom alles op deze wereld (en waarschijnlijk overal in ’t heelal) zich verzet als je iets (vooral ook jezelf) in beweging wil zetten. Beweegt “het” dan eindelijk, dan verzet dat “iets” zich ook weer als je het wilt stoppen. Ook bij mensen is dat een beetje zo: moeilijk in beweging te krijgen, zijn ze eenmaal in actie, dan zijn ze ook weer moeilijk, nou ja, iets minder moeilijk, te stoppen.

Dit verschijnsel is natuurlijk al lang bekend, het wordt “massatraagheid” of “inertie” genoemd en men weet er, o.a. dank zij Isaac Newton, van alles van. Men heeft er formules voor, men kan het berekenen, maar verklaren? Waarom bestaat dit fenomeen eigenlijk? Ik moet er vaak over denken, wat enigszins vreemd is, want ik ken verder niemand die er mee zit! Maar…er blijkt toch wel veel over geschreven en nagedacht te zijn, ik ben in ieder geval niet de enige geïnteresseerde.

Ons vorige huis had een garage. Als m’n auto buiten voor de garagedeur stond en ik wilde hem naar binnen duwen, (omdat het volgens mij slecht is om een koude motor te starten en deze dan meteen weer af te zetten) dan ging dat maar moeizaam. Stond hij met z’n wielen vlak voor het garagedrempeltje dan ging het helemaal niet. Maar… daar is wel wat op te vinden! Eerst even de andere kant op duwen, één à twee meter is al genoeg, en dan opnieuw drukken richting garage. Is hij (m’n auto) dan eenmaal in beweging dan rijdt hij, door de “massatraagheid”, vlot over het drempeltje de garage in. Die garage was maar een meter of acht lang, maar gelukkig bestaat er wrijving in deze wereld, en die voorkómt dat de auto door blijft rijden en tegen de werkbank aankleddert. Daar ben ik altijd een beetje bang voor geweest, maar hij stopte gelukkig altijd op tijd.

Als ik zo bezig was met het in de garage duwen van m’n auto, ben ik toch bang dat de buren deze acties van mij met meewarige gevoelens bekeken hebben. Zíj deden het in ieder geval niet! Maar ik zag af en toe wel dat één der buren thuiskwam, z’n auto vóór de garage parkeerde en naar binnen ging. ’s Avonds bedacht hij blijkbaar ineens: ”O ja, de auto staat nog buiten”. Hij (of zij) ging naar buiten, opende de garagedeur, startte de auto en reed hem naar binnen. Tja, en daar stond de auto dan met een afgezette koude motor. Volgens mij (en anderen) is dit zeer slecht voor een motor, o.a. doordat er cilindercorrosie ontstaat door agressief spul dat op de nog koude cilinderwand condenseert. Ik heb ooit gelezen dat een motor in zo’n geval net zoveel slijt als op een rit van 1000 km. Of dit voor de moderne automotoren van de 21^{e} eeuw ook nog geldt? Ik rijd in een dergelijk geval de auto toch eerst maar even warm en zet hem dan met warme motor weg, of, als hij niet warm is …. duw hem de garage in. Wel dacht ik vaak bij mezelf: “Wie doet dit nog meer zo?” Ik heb al vaak lastige vragen hierover moeten beantwoorden en onder andere mijn vrouw uit moeten leggen waarom ik dit altijd zo doe. Soms krijg ik dan nogal speciale blikken te verwerken. Mijn vrouw is er intussen aan gewend en heeft nu alle begrip. En…, aangezien mijn financiële toestand dusdanig is dat ik lang met een auto moet doen, zet ik m’n auto nooit met koude motor weg!

Maar, we hadden het over de massatraagheid. Waarom kost dat in beweging zetten zoveel moeite en waarom het in beweging houden niet (of veel minder)? Je voelt het ook als je rijdt en flink gas geeft: je wordt in de kussens gedrukt (wat vooral als je jong of een ouwe playboy bent wel een lekker gevoel geeft). Rijd je eenmaal constant, dan zit je volkomen ontspannen in je stoel en dat vind ik, nu ik op leeftijd ben, eigenlijk het prettigste. Ook voor de eventuele passagiers (meestal mijn vrouw en ons hondje) is rijden met gelijkmatige (éénparige) snelheid het aangenaamste, door hun gedrag bevestigen zij dit.

In de 17e eeuw was dit een Engelse geleerde: Isaac Newton, ook al opgevallen en deze had er wetten over bedacht. Volgens één van deze natuurwetten (de "eerste hoofdwet van Newton") is voor een éénparige (constante) beweging geen kracht nodig, behalve dan de kracht om de luchtweerstand en de rolwrijving te overwinnen. Hij zei het zo:

"Een bewegend voorwerp waarop geen kracht werkt, volhardt in deze beweging, constant en rechtlijnig".

Constant rijden is dus ook zuinig rijden, want alleen de luchtweerstand en rolwrijving moeten overwonnen worden. Uit proeven is bijvoorbeeld gebleken dat rijden met een "tempomaat" of "cruise control" altijd zuiniger is dan normaal "voetmatig" rijden. De verklaring is eenvoudig: er hoeft niet steeds kracht opgewekt te worden om de snelheid weer op te voeren (versnelling) als je een beetje afgezakt bent, want, zoals ook bekend moet zijn: voor een versnelling is wél kracht nodig (volgens de "tweede hoofdwet van Newton"). Hoe constant je ook probeert te rijden, tegen een "tempomaat" kan een mens niet op. Cruise control zorgt ervoor dat je gewoon constanter en zuiniger rijdt! Helaas hebben in Nederland (in 2007) nog maar weinig auto's cruise control. En…. zij die hem hebben, gebruiken hem meestal niet of maar zelden (ik trouwens wél vaak)! Angst? Het Marco Bakker syndroom? Het is wel zo dat cruise control het beste werkt in combinatie met een automatische versnellingsbak! En in Europa heeft slechts 10 % een automaat terwijl in de USA maar 10 % een "shifter", zoals men daar een handgeschakelde auto noemt, heeft! Daar hadden overigens in de 70er jaren al zeer veel auto's cruise control! Hoe kunnen 2 continenten, met toch vrij gelijksoortige mensen, zo verschillen!

In België zag ik tot m'n verbazing op sommige wegen zelfs borden die het gebruik van cruise control verbieden! Sorry België, maar dat maak ik zelf wel uit. Rijden op hándgas, dat deed ik vroeger in m'n Alfa's, da's pas écht gevaarlijk! Maar cruise control? Als het link wordt: even de rem aanraken, dat doe je dan trouwens automatisch, en hij rijdt weer "normaal".

Wrijving en weerstand

De oude Grieken dachten dat voor beweging altijd kracht nodig was, want, zo redeneerden ze: je moet een kar voortduwen of trekken en doe je dat niet meer dan stopt die kar. We praten dan wel over een kar op een vlakke weg! Toch hadden zij het mis: als je niet meer duwt rijdt de kar toch nog een eindje door en stopt dán pas. Intussen weten we dat hij door de "massatraagheid" nog een eindje doorrolt en door het fenomeen "wrijving" al vrij snel stopt! Was er geen wrijving, geen weerstand, dan zou die kar wél met de gegeven snelheid blijven rijden, want voor een constante (éénparige) beweging is immers geen kracht nodig? Daarom ook draait de aarde nu al zo'n vierenhalf miljard jaar om de zon met min of meer dezelfde snelheid: ongeveer dertig kilometer per seconde! Helemaal waar is dit niet want voor een eenparige cirkelbeweging is toch wel kracht nodig, maar die wordt geleverd door de aantrekking van de zon: "zwaartekracht". En omdat er toch wel iets weerstand is, af en toe komt de aardbol wel eens iets tegen, vertraagt de snelheid heel langzaam en komt onze aarde ook héél langzaam dichterbij de zon.

Voor het in beweging zétten is wél kracht nodig. Als je een stilstaande kar naar een snelheid van laten we zeggen één meter per seconde (3,6 km per uur) moet zien te krijgen, is dit toch een versnelling en voor de versnelling van een massa is kracht nodig. Om op m'n eigen vraag terug te komen: waarom kost het in beweging zetten van iets zoveel moeite, anders gezegd: waarom kost het zoveel kracht om een hoeveelheid massa een bepaalde versnelling te geven, ook als er geen wrijving is? Zolang je kracht uitoefent neemt de snelheid toe, zodra de kracht ophoudt (en er is geen wrijving) behoudt de massa de snelheid van dat moment!

De aarde heeft indertijd dus een reusachtige douw gekregen en teert daar nog steeds op. Waaruit die "douw" precies bestond is natuurlijk ook weer een vraag, maar die laten we maar even zitten.

Om één en ander te berekenen bestaan er, daar komen ze: formules. We kunnen precies berekenen hoeveel kracht er nodig is om een "lichaam" van een zeker gewicht (massa) een bepaalde beweging te geven. Die Engelse wiskundige, Isaac Newton dus, heeft er in de 17e eeuw een eenvoudige formule voor gevonden. Deze wet, de "Tweede hoofdwet van Newton", luidt (afgeleid):

F	**=**	**m**	**x**	**a**
Kracht	**=**	**Massa**	maal	**Versnelling**

Als er dus genoeg "kracht" voor handen is gaat het in beweging zetten ook vrij gemakkelijk. Als je een auto hebt met een flinke, "krachtige" motor krijg je hem gemakkelijk en vlot op snelheid. Maar toch, waarom kost het zoveel kracht om iets in beweging te zetten en vervolgens ook weer om dit "iets" (één of ander lichaam) dan weer te stoppen, ook als er (bij voorbeeld in de ruimte) geen wrijving is? De "ether" die men indertijd bedacht had, bestaat niet, heeft men besloten. Maar… zou er dan een ander soort "ether" bestaan die voor die traagheid zorgt? Zeer kleine deeltjes die we niet kunnen zien of aantonen, maar die er toch zijn? Ik ga op zoek!

Nog veel vreemder is het volgende. Met weinig kracht krijg je dus weinig versnelling, maar als je maar volhoudt krijgt een lichaam op den duur toch een flinke snelheid, **áls die kracht maar aanhoudt**. Het duurt alleen wat langer! Zolang er kracht is, is er dus versnelling en neemt de snelheid van het lichaam toe. En, als er maar geen wrijving is, bijvoorbeeld in de ruimte, dan neemt de snelheid toe, totdat?.... Ja, totdat (en dat is het vreemde) de snelheid in de buurt van **"c",** de lichtsnelheid, komt. Deze bedraagt dus zo'n 300.000 km per seconde. Daarna kan je kracht zetten wat je wilt, de snelheid neemt niet verder toe. Maar…. je komt zelfs helemaal niet aan **c**, omdat hoe sneller je gaat hoe groter de massa (en daardoor ook de benodigde kracht) wordt: uiteindelijk dus oneindig! Waarom eigenlijk? Dat heeft weer een andere beroemde geleerde bedacht namelijk Albert Einstein (begin 20e eeuw). Volgens zijn theorie zou de massa bij versnellen naar **"c"** oneindig groot worden! Geleerden uit die tijd hadden toen al wel geconcludeerd dat niets in het heelal sneller kan bewegen dan "**c**", de snelheid van het licht. Maar het was Einstein die pas goed besefte dat dit eigenlijk een zeer vreemde zaak is (niet iedereen gelooft het dan ook) en dat dit allerlei bizarre gevolgen heeft. Een van die gevolgen is dus het feit dat, als de snelheid van een lichaam hoger wordt, ook de massa toeneemt en uiteindelijk oneindig groot wordt. Vandaar dat de lichtsnelheid door lichamen met massa nooit bereikt kan worden! (Andersom: deeltjes zonder massa bewegen zich alléén maar met de lichtsnelheid!) Vreemd! En…. is het wel werkelijk waar? En waarom is het juist die snelheid?

Door Einsteins bevindingen moesten Newton's wetten enigszins aangepast worden. Kloppen die "oude" wetten dan niet? Voor "normaal" gebruik wel, daarvoor zijn ze nog steeds prima bruikbaar, maar voor zeer hoge snelheden niet! En die komen in de wereld van het zeer kleine en in het heelal nogal eens voor!

Snelheid van het licht

Er wordt behoorlijk aan getwijfeld maar blijkbaar heeft nog niemand kunnen bewijzen dat het niet zo is en dus moeten we ervan uit gaan dat de volgende stelling werkelijk zo is:

In ons heelal beweegt niets zich sneller dan de ***lichtsnelheid “c”****!*

En nog vreemder:

*Hoe men de lichtsnelheid ook meet, we meten altijd de zelfde waarde, die altijd “****c****” is!*

Deze **“c**”, zo wordt de lichtsnelheid nu eenmaal aangeduid, bedraagt dus ongeveer 300.000 km/s, om precies te zijn: 299.792.458 ± 1,2 meter per seconde (meting uit 1975)! Volgens die laatste regel, is dus deze “lichtsnelheid”, hoe je hem ook meet, bewegend of stilstaand, deze lichtsnelheid is altijd dezelfde en dat is zo’n vreemde zaak dat daar nog steeds over gediscussieerd wordt! Daar licht (in het vacuüm) dus altijd met de snelheid **c** beweegt, moet dit ook betekenen dat licht geen massa kan hebben! En… inderdaad: “fotonen” (lichtdeeltjes) hebben volgens de inzichten van de wetenschap geen massa! Licht kan trouwens wel langzamer dan **“c”** gaan, in water, glas, lucht, daar moet ik later nog maar wat meer over vertellen.

Maar eerst: hoe meten we die lichtsnelheid eigenlijk? Er zijn diverse manieren, maar de manier waarop men het voor het eerst probeerde, boven op een berg met een lantaarntje zwaaien naar iemand anders die dan ook met een lantaarntje zwaait, nee dat werkt niet. Men heeft de snelheid op allerlei slimme manieren gemeten, o.a. door de manen van planeten te bestuderen. Verder met behulp van tandwielen en roterende spiegeltjes.

Hierbij één manier: de meting van Fizeau:
Louis Fizeau deed in 1849 een serieuze poging en wist de lichtsnelheid aardig nauwkeurig te meten. Hij liet een lichtstraal tussen de tanden van een draaiend tandwiel schijnen en zette een eind (acht kilometer) verder een spiegel neer die de lichtbundel weer terugkaatste. Als hij nu het tandwiel niet te snel roteerde kwam de lichtstraal nog steeds door de zelfde opening tussen de tanden terug. Maar door het tandwiel steeds sneller te laten draaien kwam er een moment dat de teruggekaatste lichtstraal niet door dezelfde maar door de volgende opening terugkwam. Door goed te rekenen (je moet de draaisnelheid, de afstand tot de spiegel en de “steek” en de “steekstraal” van de tanden weten), kwam hij behoorlijk dicht bij de werkelijke snelheid . Hij mat 313 duizend (i.p.v 300 duizend) km per seconde.

Toen ik over deze proef las, dacht ik al gauw, hoe zou hij dat nu precies gedaan hebben of liever: hoe zou ik dit zelf kunnen doen? (Ik heb de proef toch maar niet zelf gedaan, dus het is een “gedachte-experiment.”)

Ja, dan hebben we als eerste een geschikt tandwiel nodig. In plaats van een tandwiel lijkt me een flinke schijf, eentje van één meter doorsnee, met gaten in de omtrek, eigenlijk geschikter en groot genoeg. Geen tanden dus, maar liever een ring van regelmatige gaten in de buitenzijde van de schijf. Trekken we op deze schijf een cirkel met een straal van ruim 478 mm, dan is de omtrek van de steekcirkel precies 3 meter (π maal d). In deze “steekcirkel” boren we om elke centimeter een gat van 5 mm, de dam tussen de gaten is dan ook 5 mm breed. Nu stellen we op een flinke afstand (Fizeau nam 8 km) een spiegel en dan schijnen we met een sterke lamp door één van de gaten in de schijf. ’t Moet flink donker zijn. Het lijkt me wel een probleem om een lichtbundel te verkrijgen die zo smal is dat deze precies door deze opening schijnt, ook op de terugweg! Fizeau deed dit door het licht door een zeer nauwe spleet te laten vallen en de spiegel in een buis te plaatsen. Nu zou men dit wat makkelijker kunnen doen met een LASER straal. Als we de schijf nu niet te snel laten draaien zal de terugkomende lichtstraal steeds te zien zijn in hetzelfde gat. Maar hoe kun je dat nou controleren? Als je door het gat kijkt sta je met je hoofd in de lichtbundel! Fizeau liet het licht daarom door een halfdoorlatende, schuin geplaatste spiegel vallen, waardoor hij, van bovenaf, het tandrad kon bestuderen.

Nu kunnen we gaan draaien. De tijd die de lichtstraal nodig heeft om heen en terug te reizen is kort, over 2x8 km doet het licht slechts: 16: 300.000 seconden (= 0, 000053333 s = 53,333 microseconden). Indien de schijf niet te snel draait en er dus niet langer over doet dan deze 53 microseconden om 5 mm verder te verdraaien, zullen we het licht nog steeds door hetzelfde gat zien.

Maar draait men de schijf steeds iets sneller rond, dan zien we op zeker moment het licht niet meer: de teruggekaatste straal schijnt op de dam tussen de gaten. We meten dan de draaisnelheid. Bij nog hogere snelheid wordt dan het licht ineens weer zichtbaar door het volgende gat! De schijf is dan dus 5 mm verder gedraaid en dat komt dus neer op een omtrekssnelheid van 5 mm per 53,333 microseconden. We moeten dus het aantal omwentelingen van de schijf twee maal meten: als het licht verdwijnt en als het weer terugkomt!

Nu is 5 mm per microseconde gelijk aan 5.000 meter per seconde. 5 mm per 53,333 microseconde betekent dus dat de omtreksnelheid dan 5.000(m) : 53,333(s) = 93,75 meter per seconde bedraagt. Dit komt overeen met: 60 x 93,75 meter per minuut, dit gedeeld door de omtrek van 3 meter geeft ongeveer 1875 omwentelingen per minuut. Dat moet dus het verschil in omwentelingen per minuut zijn!

Bij deze berekening gingen we uit van **c** = 300.000 km/s. Fizeau kwam, door op deze wijze te meten en te rekenen, op een lichtsnelheid van 313000 kilometer per seconde! Was de lichtsnelheid toen (150 jaar geleden) echt zo hoog? Rekende hij niet al te nauwkeurig? Hij moest ook het aantal omwentelingen goed kunnen meten. Had hij (het was rond 1850) wel een goede tachometer en een goede klok? Dit was toch wel een geweldige prestatie van de man!

Bij nader inzien zou je, denk ik, toch beter een tandwiel met rechthoekige gaten (of tanden), in plaats van een schijf met ronde gaten, kunnen nemen. Je weet dan wat zekerder hoeveel millimeters het wiel verdraaid is als de lichtstraal terugkomt! Ik begrijp dat Fizeau inderdaad zo'n soort tandwiel gebruikt heeft. Mijn "gedachte-experiment" is dus zo geweldig niet!

De man die indertijd de lichtsnelheid berekende door de manen van de planeet Jupiter te bestuderen, was Olaf Römer. Al in 1676 berekende hij de lichtsnelheid door scherp te kijken naar de beweging van de manen. Er was verschil in die bewegingen als Jupiter ver weg of dicht bij de aarde stond, doordat het licht veel of weinig tijd nodig had om de aarde te bereiken. Door in januari en juli te meten kon hij de lichtsnelheid berekenen. Maar…..erg juist was deze methode niet: hij kwam op een lichtsnelheid van ruim 200.000 km per seconde! Olaf kende de lengtes van de banen blijkbaar nog niet zo precies. Toch was ook dat voor die tijd een prestatie!

Nu doet men het met rondraaiende spiegels in de vorm van een regelmatige veelhoek. Door daarop een lichtstraal te schijnen zal deze bij toenemende snelheid steeds verder afbuigen en daarmee kan men **c** berekenen.

"Éénparige" beweging

Laten we terug gaan naar het eerder genoemde feit dat een bepaalde snelheid gehandhaafd blijft als de kracht ophoudt. Het zit dus, volgens Newton toen al, zo: beweegt iets met constante, éénparige snelheid, dan maakt die snelheid op zich blijkbaar niets uit. Hoog of laag, snelheid is niet absoluut, maar altijd ten opzichte van iets anders. Constante (éénparige) beweging verschilt dus eigenlijk niet van stilstand (zo die al bestaat) en daarvoor is geen kracht nodig. Helaas op aarde wél, door het fenomeen wrijving en (lucht)weerstand. Om op aarde een éénparige snelheid te handhaven moeten we dus wel degelijk kracht uitoefenen, namelijk om deze weerstanden te overwinnen.

Als je nu kracht op een voorwerp uitoefent (maar dan in de ruimte buiten de aarde), zal de snelheid toenemen zo lang je maar kracht blijft uitoefenen. Maar, zoals gezegd, niet eindeloos, we komen aan een grens. Men stelt immers: **niets kan sneller dan het licht bewegen** (en de massa wordt dan oneindig)!

Nogmaals: waarom eigenlijk niet? Zou het zo zijn dat het "elektromagnetisch veld" (of de ether of een ander soort veld) dit om nog onbekende redenen niet toelaat? Ether zou niet bestaan. Maar….. zo'n "veld" moet toch ergens uit bestaan? Uit zeer kleine onwaarneembare deeltjes? En, waarom toch juist die snelheid? Nog wat vreemds…., snelheid is toch altijd "ten opzichte van iets"? Maar de lichtsnelheid niet! Hoe je hem "**c**" ook (in 't vacuüm) meet, stilstaand of bewegend, altijd meet je dezelfde snelheid: ± 300.000 km/s, zegt men!

Op 't ogenblik (2007) cirkelt er een bemand ruimteschip om de aarde met een snelheid van enkele tienduizenden kilometers per uur (ter illustratie: 36.000 km/uur is 10 km per seconde!), voor aardse begrippen een zeer hoge snelheid. Een rondje aarde op een hoogte van een paar honderd kilometer, duurt minder dan een uur! De aardomtrek is 40.000 km. De snelheid moet dus meer dan 10 km/s zijn! Om deze snelheid te verkrijgen is een sterke raket nodig, je moet de aardse zwaartekracht overwinnen. Maar…., om die snelheid te handhaven is er dus geen motor meer nodig, alleen wat stuurraketjes. En….., ondanks deze hoge snelheid stappen de astronauten soms rustig uit voor een zogenaamde ruimtewandeling en er gebeurt niets met ze: ze vliegen met dezelfde snelheid mee naast het ruimteschip. Ze merken die snelheid niet eens. Er is namelijk geen lucht en dus (bijna) geen wrijving in de ruimte en voor een éénparige snelheid is, zoals eerder vermeld, geen kracht nodig. De ruimtewandelaars moeten er alleen voor oppassen niet te ver van het schip af te raken en liefst via een kabel of zoiets contact houden met het moederschip. Raken ze namelijk te ver van hun schip af, dan hebben ze wél een motortje nodig, om weer naar het ruimteschip terug te keren. Maar… wat voor een motor dan? Nou: één of ander raketje, maar een fles met samengeperst gas werkt ook: je houdt de fles voor je, zet de kraan open en je vliegt achteruit, richt de fles naar "beneden" en je gaat naar "boven". Waarom? Derde hoofdwet van Newton: "**actie geeft reactie**". Dit principe werkt overal, dus ook in de ruimte. Zelfs in het menselijke verkeer blijkt het zo te werken, elke actie veroorzaakt een reactie! "Oog om oog, tand om tand!" is er een voorbeeld van. Wat Jezus wil: krijg je een pats voor je linker wang, vraag er dan ook een op je rechter wang, is dus tegennatuurlijk!

De communicatiesatellieten, zoals de "Astra", worden eveneens met stuurraketjes op hun plaats gehouden. Maar wat voor raketjes? Niemand heeft me nog kunnen vertellen waar die raketjes op "lopen". Op samengeperst gas? Op raketbrandstof? 't Maakt niet zoveel uit, maar… het is wel eindig: op zeker moment is die brandstof of dat gas op! Ik heb begrepen dat na een jaar of tien alles verbruikt is. Zonnepanelen? Met zonnepanelen kan je wel elektriciteit opwekken, maar geen aandrijving creëren! Hoewel, men heeft nu wel een "fotonenmotor", een motor die dus fotonen uitstoot. Fotonen (lichtdeeltjes) zijn er genoeg en die moet je dan elektrisch versnellen. Ook bestaat er een "ionenmotor". Die heeft wel brandstof nodig, maar springt daar zeer zuinig mee om. Als "brandstof" wordt het edelgas "Xenon" toegepast. Dit Xenon wordt geïoniseerd en de zo ontstane ionen (geladen atomen) worden dan elektrisch versneld en uitgestoten. Je verkrijgt dan een (zwakke) reactiekracht, die in de ruimte, buiten de aantrekkingskracht van hemellichamen, toch als versneller kan functioneren! Als je maar geduld hebt krijg je uiteindelijk toch een zeer hoge snelheid! En…., deze ionenmotor is zeer zuinig!

In 2003 is er een sonde met zo'n ionenmotor naar de maan gestuurd om foto's van het maanoppervlak te nemen. In september 2006 is hij op de maan neergestort. Het motortje was te zwak om dát te voorkomen….

Terug naar de éénparige beweging in de ruimte: heb je dus eenmaal een bepaalde snelheid en is er geen wrijving, dan blijf je deze snelheid houden…… op één voorwaarde: er is geen zwaartekracht!

Een veld van "zwaartekracht".

Zwaartekracht is een kracht en deze kracht kan dus je beweging beïnvloeden. Als je jezelf door een "zwaartekrachtveld" beweegt, geldt de hiervoor genoemde regel: "behoud van snelheid", niet! Een zwaartekrachtveld kan je van richting veranderen en je snelheid beïnvloeden. Want… een kracht veroorzaakt een versnelling of vertraging! F = m x a! (Force is Mass times Acceleration)

Alle satellieten die om de aarde cirkelen, zullen dan ook, als je er niets aan doet, langzaam maar zeker naar de aarde terugkeren. Maar je kunt van zo'n zwaartekrachtveld ook gebruik maken, bijvoorbeeld bij het lanceren van onderzoekssatellieten naar andere hemellichamen. Die worden zó de ruimte in gestuurd dat ze dicht langs een bepaalde planeet scheren. Daardoor wordt zo'n satelliet aangetrokken en van richting veranderd. Hij krijgt dan een zwieper en "gratis" een veel hogere snelheid!

Dat eerder genoemde ruimtestation bevindt zich zo ver van de aarde dat de aardse zwaartekracht nul of bijna nul is. De zon heeft evenmin invloed: die staat erg ver weg en de massa (van het station) is maar klein. Maar…nu komt het grote probleem:

Wat is "zwaartekracht"?

Als wij op onze aarde rond lopen weten wij er alles van, denken we. Laat je iets uit je handen vallen, dan valt dit omlaag, om precies te zijn: richting middelpunt van de aarde. Lopen we omhoog, dan voelen wij dat dit "zwaar" gaat, omlaag gaat "licht", omdat wij ons vanaf, respectievelijk naar het aardmiddelpunt bewegen.

Galileo Galileï had toen al (17^{e} eeuw) een aantal zaken ontdekt betreffende de zwaartekracht op aarde. Hij liet wat spullen van de (scheve) toren van Pisa vallen, liet kogels rollen van hellingen en ontdekte het één en ander. Maar het was wéér de eerder genoemde Engelse wetenschapper Newton, die er echt wat zinnigs van zei. Hij stelde indertijd dat lichamen elkaar aantrekken met een kracht, evenredig met hun massa's. En ook: die kracht neemt kwadratisch af met de toename van de afstand. Door de kwadratische afname hoef je dus niet zover van de aarde weg te gaan om buiten de zwaartekrachtsinvloed van de aarde te komen. Dit verklaart ook enigszins waarom zwaartekracht alleen merkbaar is bij zeer grote massa's. Die afhankelijkheid van afstand geldt trouwens ook voor magnetisme en de elektrostatische kracht: iets er vanaf en je merkt die krachten niet meer.

Lichamen trekken elkaar dus aan en hoe zwaarder een lichaam is, beter gezegd: hoe meer massa lichamen hebben, hoe sterker die lichamen elkaar aantrekken. Deze aantrekkingskracht is, volgens Newton, evenredig met het product van hun massa's.

Dus we weten nu: de aarde trekt aan de maan, maar de maan trekt (met dezelfde kracht) aan de aarde, ondanks de kleinere massa. En ook de zon trekt aan de aarde, behoorlijk sterk zelfs, ondanks de veel grotere afstand. Waarom? Omdat de massa van de zon zo enorm groot is! En de aarde trekt aan de zon! Wij zelf merken er weinig van (we hebben te weinig massa) maar de aarde als veel grotere massa wel.

Ook kleine massa's oefenen een (zeer kleine) kracht op elkaar uit. Hang je twee zware (bijvoorbeeld loden) kogels naast elkaar op dan trekken deze elkaar aan. Als ze niet te ver van elkaar af hangen is dit zelfs te meten. Dat meten is trouwens niet eenvoudig: zwaartekracht, uitgeoefend door een relatief kleine massa als een loden kogel, is toch maar heel zwak. De meting is daarom gedaan met behulp van "torsie". Als je aan beide loden kogels een lange arm bevestigt en ze dan ophangt, kan je de torsie en dus de (zwaarte)kracht, die beide loden kogels op elkaar uitoefenen, meten.

Rekenen met Newton

Hoe zit het nu eigenlijk precies met de grootte van die “zwaartekracht”? Evenredig met het “product van de massa’s” enzovoort? Ja, dan hebben we toch een formule nodig (aantal lezers alweer gehalveerd!) en we zullen daarmee moeten gaan rekenen! Met de zwaartekrachtformule van Newton dus! Deze 4^{e} formule van Newton, heeft hij indertijd in 1666 al bedacht, wat nog steeds een ongelofelijk knappe prestatie is! Die man was echt een zeer grote geleerde!

En het rekenen ermee? Dat blijkt helemaal niet zo moeilijk! Als we bijvoorbeeld willen uitrekenen hoe sterk twee massa’s (bijvoorbeeld die loden kogels) elkaar aantrekken, dan kan dat vrij eenvoudig met genoemde formule van Newton. Uit die formule blijkt ook dat de zwaartekracht snel afneemt, zoals gezegd met het kwadraat van de afstand, dus twee maal zo ver weg: vier maal zo weinig kracht! Hier komt de formule:

$$\text{“}\mathbf{F} = \frac{\mathbf{G.(m_1\ .\ m_2)}}{\mathbf{r^2}}\text{“}$$

Hierin is “**F**” de kracht in “Newton”(1 Newton is ± 102 gram); $\mathbf{m_1}$ is de massa van het ene lichaam, $\mathbf{m_2}$ de massa van het andere lichaam (in kilogram) en “**r**” is de afstand tussen de beide massa’s (in meters). Maar wat is dan “**G**”? Dat is de gravitatie- of zwaartekrachtconstante, ook genoemd de “constante van Newton”. Het bepalen van de waarde van deze constante viel natuurlijk niet mee, vooral omdat deze constante een zeer klein getal is. Men heeft deze constante steeds nauwkeuriger berekend, aan de hand van proeven en **G** is nu vastgesteld op:

G = 6,673 x 10^{-11} (6,673 : 100 000 000 000)

Nu die kogels en hun aantrekkingskracht: We nemen 2 loden kogels, één van 4 kg (A) en één van 6 kg (B). We hebben ze vrij opgehangen en de kogels bevinden zich op 20 cm (= 0,2 m) van elkaar. (De afstand dient te worden gemeten tussen de middelpunten van de kogels.) Met welke kracht trekt nu kogel A aan B en kogel B aan A? We vullen de getallen in de formule van Newton in:

(6,673 x 10^{-11} x 4 x 6) : $0{,}2^2$ = 160,152 x 10^{-11} : 0,04 = 4,0038 x 10^{-8} Newton =

= 0,000 000 040038 Newton = ± 0,000 000 004 kg = ± 0,000 004 (4 miljoenste) gram

(want 1 kg = 9,81 Newton en omgekeerd: 1 Newton = 0,1019368 kg)

De aantrekkingskracht is dus ± 4 μg (microgram), wel erg weinig dus!

We zien dus dat, door de kleine massa van de kogels, de aantrekkingskracht zeer klein is, waardoor de meting erg moeilijk is. Maar…. op slimme wijze (met torsie dus) is dit indertijd blijkbaar toch gedaan. Ik ga daar maar niet aan beginnen, ik houd het op rekenen!

Zoals gezegd is de zwaartekracht een zeer zwakke kracht die pas echt een rol gaat spelen bij zeer grote lichamen, zoals hemellichamen. Daarbij neemt hij ook nog snel af! Op ’t niveau van bijvoorbeeld atoomdeeltjes speelt de zwaartekracht eigenlijk geen merkbare rol: de massa’s zijn te klein. Maar hoe klein deze kracht ook is, hij is er wel. Op elk “waterdeeltje” van de zee werkt, onmeetbaar, de zwaartekracht, uitgeoefend door de maan. Maar bij elkaar opgeteld blijkt deze kracht toch zo groot te zijn dat er eb en vloed is! Ook de zon heeft invloed op de zeeën, maar door de grote afstand is die invloed veel kleiner.

Toch is er, vind ik, wat vreemds aan de hand. Volgens Newtons formule hangt de zwaartekracht toch af van "massa maal massa" (**m_1 x m_2**)? Maar op aarde valt alles, klein en groot, licht en zwaar, afgezien van de luchtweerstand, met de zelfde versnelling, namelijk "**g**", de zwaartekrachtversnelling. Deze versnelling "**g**" bedraagt 9,81 m/s^2. Dit is een belangrijk getal op aarde. Het betekent dat alles wat valt steeds sneller valt, want elke seconde neemt de valsnelheid met 9,81 meter per seconde toe!

Maar…. hoe kan dat nu, dat alles met deze versnelling "**g**" valt? Klopt die formule wel? Jazeker, het blijkt dat de formule wel klopt, want die "**g**" volgt uit die andere, zeer eenvoudige formule van Newton (tweede wet van Newton) die eerder genoemd is:

$$\mathbf{F = m \times a}$$

Hierin is "**F**" de kracht in Newton, "**m**" is de massa in kilogram en "**a**" = de versnelling in meter per seconde ^{2} (kwadraat).

Met deze formule kan men nu bijvoorbeeld eenvoudig berekenen hoeveel kracht het kost om een bepaalde massa een zekere versnelling te geven. Nemen we eens een auto van bijvoorbeeld 1000 kg. We willen deze auto een versnelling (dus niet een snelheid) van 3 m/sec^2 geven. Optrekken met een versnelling van 3 meter per seconde betekent dat de uursnelheid elke seconde met 3 x 3600 m = 10,8 km toeneemt. De kracht hiervoor nodig is "**m x a**", dat is dus 1000 x 3, dat is dan: 3000 Newton (= 305 kg). Vanaf stilstand kost het dus een seconde of 9 om aan de 100 km/uur te komen. Je ziet hieruit ook dat de valsnelheid een stuk sneller toeneemt, want de valversnelling **g** = 9,81 m/s^2.

Voor een versnelling is kracht nodig, voor een éénparige (constante) snelheid niet. Als je dus deze auto (met een voldoend krachtige motor) op de gewenste snelheid hebt gebracht en dan met 100 km/uur verder wilt rijden, zou je dus geen gas meer hoeven te geven, want alleen voor een versnelling is kracht nodig, voor een eenparige (constante) snelheid niet…. Helaas, *alleen als er geen wrijving en weerstand is*, maar omdat we op een aarde wonen met rol- en luchtweerstand, moeten we dus gas blijven geven! Maar nu weer naar **"g"**.

Zwaartekrachtversnelling "g"

Alles valt dus naar de aarde met de zwaartekrachtversnelling "**g**" (ook "valversnelling" genaamd). Laten we nu in die zelfde formule (**F = m x a**) i.p.v. de versnelling "a" de zwaartekrachtversnelling "g" nemen. Voor de massa van een willekeurig voorwerp nemen we: "$\mathbf{m_{vw}}$", voor de massa van de aarde: "$\mathbf{m_{aarde}}$" en voor de straal van de aarde "$\mathbf{r_a}$".

De formule **F = m x a** voor een willekeurig vallend voorwerp, met massa "$\mathbf{m_{vw}}$" wordt nu:

$$\mathbf{F = m_{vw} \times g.}$$

De formule van Newton voor aantrekkingskracht van twee massa's is:

$$\mathbf{F = \frac{G.(m_1 . m_2)}{r^2}} \quad \text{We kunnen dus ook schrijven:} \quad \mathbf{F = \frac{G.(m_{aarde} . m_{vw})}{r_a^2}}$$

Nu kunnen we dus zeggen dat: $\mathbf{\dfrac{G.(m_{aarde} . m_{vw})}{r_a^2} = m_{vw} \times g.}$

Gaan we nu (het moet) enige wiskunde toepassen, dan krijgen we (na kruiselings vermenigvuldigen):

$$G.\,(m_{\mathbf{aarde}} \,.\, m_{vw}) = (m_{vw} \times g) \times r_{\mathbf{a}}^{2}$$
$$G \,.\, m_{\mathbf{aarde}} \,.\, m_{vw} = m_{vw} \,.\, g \,.\, r_{\mathbf{a}}^{2}$$

dus is: $\mathbf{g} = \dfrac{G \,.\, m_{\mathbf{aarde}} \,.\, m_{vw}}{m_{vw} \,.\, r_{\mathbf{a}}^{2}} = \dfrac{\mathbf{G.\,m_{aarde}}}{\mathbf{r_{a}}^{2}}$ ($\mathbf{m}_{vw}$ valt weg!)

Nu kunnen we rekenen. De getallen zijn als volgt:

De Newtonfactor G is: $6{,}673 \times 10^{-11}$ (Nm^2/kg^2)
De massa van de aarde is: $5{,}976 \times 10^{24}$ kg
De straal r van de aarde is: 6378 kilometer = $6{,}378 \times 10^{6}$ meter. (Deze “aardstraal” r is dus de afstand tussen voorwerpen op het aardoppervlak en het middelpunt van de aarde en niet één van de “aardstralen” van wichelroedelopers!)

Nu de berekening, die gaat als volgt:

$$\mathbf{g} = \frac{\overset{\mathbf{G}}{6{,}673 \times 10^{-11}} \times \overset{\mathbf{m_{aarde}}}{5{,}976 \times 10^{24}}}{\underset{\mathbf{r_a}^{2}}{6{,}378^{2} \times 10^{12}}} = \frac{6{,}673 \times 5{,}976 \times 10^{13}}{6{,}378 \times 6{,}378 \times 10^{12}} = 0{,}9803 \times 10^{1} = 9{,}803 \text{ m/s}^2$$

Dit komt erg dicht bij de bekende 9,81 m/s^2**.** Waarom er niet precies 9,81 uit komt weet ik niet, dat zal wel aan de onnauwkeurigheid van mijn getallen liggen. De Newtonfactor “**G”** zie ik bijvoorbeeld niet altijd gelijk: hij wordt ook als $6{,}672 \times 10^{-11}$ gegeven. Maar wat blijkt hier nu uit? “Twee dingen goed begrijpen!” We weten nu dus dat de zwaartekrachtversnelling “**g**” op het aardoppervlak ± 9,8 is en ook dat deze geldt voor **alle** voorwerpen op het aardoppervlak! Alle voorwerpen op de aarde (willen) vallen met een versnelling “**g**”, papier, lood, een zak kippenveren, alles. Wel heb je nog te maken met luchtweerstand, zoals Galileo merkte toen hij van alles van de scheve toren van Pisa liet vallen. Die luchtweerstand heeft op een zwaar voorwerp van een bepaalde vorm minder invloed dan op een licht voorwerp van dezelfde vorm, door Newton’s wet: **F = m x a**! Als **F** de luchtweerstand (voor beide voorwerpen gelijk) is, dan zal **a** (in dit geval een vertraging) bij grotere massa **m** kleiner zijn. Zware voorwerpen zullen dus sneller vallen op aarde, maar… niet op de maan, want daar is geen luchtweerstand!

We zullen ook eens gaan rekenen hoe sterk de aarde aan lichamen trekt. Laten we een voorwerp nemen met een massa van 200 kilogram. Met wat voor kracht wordt dit voorwerp door de aarde aangetrokken?

Eerst maar weer de massa van de aarde, die is ongeveer 6 000 000 000 000 000 000 000 000 kilogram ($5{,}976 \times 10^{24}$). Dan de afstand tot het middelpunt van de aarde, de straal dus, die is 6 378.000 meter (de omtrek is $2\pi R$ = 40 000 km, weet je nog?). Nemen we nu Newtons formule weer, dan moeten we de aantrekkingskracht krijgen. F wordt de kracht, m_1 is de aardmassa, m_2 is de massa van het gewicht en G is de “constante van Newton”, die $6{,}673 \times 10^{-8}$ bedraagt.

Voor een massa van 200 kg geldt dan:

$F = (5{,}976 \times 10^{24} . 200 \times G) : 6378000^2 = (1{,}1952 \times 6{,}673 \times 10^{16}) : (6{,}378^2 \times 10^{12}) =$

$= (7{,}9755696 \times 10^{16}) : (40{,}678884 \times 10^{12}) = 0{,}1960616 \times 10^4$ Newton = 1960,6 Newton

Dit is 1960,6 : 9,81 = ± 200.00 kg

Hmm, ja, nou, ja… dat klopt dus en dat is eigenlijk logisch, maar…wat betekent dit nu? Ja, dit betekent dus dat een massa van 200 kg met 1964,655 Newton = 200 kg kracht door de aarde wordt aangetrokken. Op het aardoppervlak is dus **de aantrekkingskracht gelijk aan de massa.** Let wel: **alleen op aarde!** En dat komt door de keuze van onze eenheden. Op de maan zouden we minder "wegen", want daar is veel minder zwaartekracht. En buiten de aantrekkingskracht van (hemel)lichamen weegt een massa helemaal niets! Het zit namelijk zo:

Een massa krijgt pas gewicht als deze massa zich in een zwaartekrachtgebied bevindt!

Zelfs op aarde is er verschil in gewicht, want de zwaartekracht varieert en dus ook het gewicht van een massa! Aan de evenaar "weegt" een bepaalde massa iets minder dan aan de polen. Door de grotere middelpuntvliedende kracht, de draaisnelheid van de aarde aan de evenaar is daar maximaal, namelijk 1667 km/uur, is de aarde daar een beetje uitgepuild. Verder is de aarde aan de polen juist iets afgeplat! Onze wereld is dus zeker geen zuivere bol, niet zo verbazingwekkend, het zou eerder verbazingwekkend zijn als de aarde wel een zuivere bol was…

De afstand tot het aardmiddelpunt varieert dus iets en dat maakt ook wat uit. Deze beide feiten veroorzaken een effect van ongeveer 0,53 %. En dus… als ik op de evenaar 90 kg weeg, is mijn gewicht aan de Noordpool 90,4 kg! Weer eens een andere manier om af te vallen! Maar…., met een balansweegschaal zie je dit verschil niet, want die balansgewichten veranderen net zo hard mee! Op een veerweegschaal dus wel!

Wel is het jammer dat "**g**" niet precies 10 m/s^2 is, dat was nóg makkelijker rekenen, maar ja met "ongeveer 10" kunnen we wel leven.

Op het aardoppervlak waar wij leven, worden voorwerpen met verschillende massa's dus gelijkelijk, met dezelfde "**g**", aangetrokken! Gaan we echter de diepte in (bijvoorbeeld in een kolenmijn) of omhoog, dan verandert de afstand tot het aardmiddelpunt en dan zal de zwaartekracht ook iets veranderen. Inderdaad, het is zelfs zo dat de aarde iets sterker aan je voeten trekt dan aan je hoofd! Het verschil is ongeveer het gewicht van een haar!

Hoe kennen we eigenlijk de massa van de aarde? Ja, dat hebben de "geleerden"ooit berekend uit allerlei gegevens. We kunnen bijvoorbeeld de inhoud van de aarde berekenen met de formule voor de inhoud van een bol, die is:

$\mathbf{4/3\ \pi\ R^3}$, waarbij R de straal is en π (pi) 3,14159265358979323 84….= ± <u>3,14</u>!

De inhoud van de aarde is dan: $4/3 \times 3{,}14 \times 6378000^3 = 1{,}0848678 \times 10^{24}$ kubieke meter. Als je nu ook nog het soortelijk gewicht van de aarde kent ben je een stuk verder. Het soortelijk gewicht blijkt ± 5,5 te zijn.
Met: "Gewicht (in kg) = Inhoud (in dm^3) x Soortelijk Gewicht" kan je het gewicht uitrekenen. Maar…hoe kent men nu het soortelijk gewicht van de aarde? Tja…., de geleerden hebben dit berekend op basis van de zwaartekracht…….

Zonzwaartekracht

Er is nog wat raars, tenminste ik blijf het raar vinden! Onze zon heeft een veel grotere massa en inhoud dan de aarde. Dus zouden we denken dat de zon veel sterker aan de aarde trekt dan de aarde aan de zon! De zon heeft immers veel meer massa? Maar ja, hij staat wel erg ver weg. Maar daar ligt het allemaal niet aan!

We bekijken we nogmaals de formule van die oude Isaac Newton:

$$\text{“}\mathbf{F = \frac{G.(m_1 \, . \, m_2)}{r^2}}\text{“}$$

Als we nu de massa van de aarde en die van de zon invullen krijgen we één kracht! Dat betekent dus dat dit de kracht moet zijn waarmee de zon aan de aarde trekt, **maar ook waarmee de aarde aan de zon trekt!** Is dit zo? Hoewel dit inderdaad raar lijkt, moet dit inderdaad het geval zijn, het is zo iets als “actie is reactie”. Een tafel waarop een steen ligt drukt net zo hard tegen de steen als de steen tegen de tafel, want anders zou de steen door de tafel vallen. Newton zei het indertijd zo:

“Een kracht is één zijde van een wisselwerking tussen twee lichamen. Deze wisselwerking is op elk lichaam even groot maar tegengesteld.”

Wat zou de kracht waarmee de zon aan de aarde (en andersom) trekt eigenlijk zijn? Ook maar eens berekenen? We moeten dan wel weten wat de massa van de zon is en de afstand: zon – aarde, maar…., deze getallen zijn bekend, hier komen ze:

Massa van de zon:	1,99 x 10^{30} kilogram
Afstand zon tot aarde:	1,496 x 10^{11}meter, (tussen 1,471 en 1,496 x 10^{11}m)

Nog even de getallen van de aarde herhalen, dan kunnen we gaan rekenen.

Massa van de aarde:	5,976 x 10^{24} kilogram
Straal van de aarde:	6378 kilometer = 6378 000 meter

We vullen deze waardes in de formule van Newton in: (zijn jullie er nog?)

$$F = \frac{G.(m_1 \, . \, m_2)}{r^2} \quad \text{dus} \quad F = \frac{6{,}673 \times 10^{-11} \, . \, (1{,}99 \times 10^{30} \, . \, 5{,}976 \times 10^{24}}{(1{,}496 \times 10^{11})^2}$$

$$= \frac{6{,}673 \times 1{,}99 \times 5{,}976}{1{,}496 \times 1{,}496} \times 10^{21} = \pm\, 35 \times 10^{21} \text{ Newton}$$

Dit betekent dus dat de zon aan de aarde (en de aarde aan de zon) trekt met de enorme kracht van zo’n 3,5 x 10^{22} kilogram! Dat zijn heel veel kilo’s, nou ja, leuk om te weten, maar wat moet je er eigenlijk verder mee? Interessanter lijkt me de kracht waarmee een mens, een mens van bijvoorbeeld 90 kilogram aan de zon trekt. Hoeveel zwaartekracht ondervindt zo’n mens (ik dus) van de zon en de zon van mij?

Deze kracht, berekenen we ook weer met Newton's formule:

$$F = \frac{G.(m_1 . m_2)}{r^2}$$

$$\text{dus } F = \frac{6{,}673 \times 10^{-11} . (1{,}99 \times 10^{30} . 90)}{(1{,}496 \times 10^{11})^2} =$$

$$= \frac{6{,}673 \times 1{,}99 \times 90 \times 10^{19}}{1{,}496 \times 1{,}496 \times 10^{22}} = \frac{534}{10^3} \text{ Newton} = 0{,}534 \text{ Newton} = \pm 54 \text{ gram!}$$

Wel, dat weten we dan ook weer! De zon trekt aan mij (en ik aan hem) en vermindert mijn "gewicht" met 54 gram, dat is niet veel maar ook niet niks! "Mag het een half onsje minder zijn?" kunnen we dus vragen.

Verhouding aantrekkingskracht: zon - aarde

Voor rekenfreaks: We kunnen één en ander ook op een andere manier berekenen. Na een vraag aan professor Sander Bais van de UVA over deze "zonzwaartekracht" gaf hij de volgende formule:

$$F_{zon} : F_{aarde} = \frac{G.m_{zon}.m_{mens}}{r_{zon}^2} : \frac{G.\, m_{aarde}.m_{mens}}{r_{aarde}^2}$$

Deze formule blijkt eenvoudig af te leiden uit de zwaartekrachtformule van Newton, maar ik noem hem toch maar de formule van prof. Bais!

We kunnen deze formule ook schrijven als:

$$F_{zon} : F_{aarde} = (G.m_{zon}.m_{mens} : r_{zon}^2) \times (r_{aarde}^2 : G.\, m_{aarde}.m_{mens}) =$$

$$= (G.m_{zon}.m_{mens} : G.\, m_{aarde}.m_{mens}) \times (r_{aarde}^2 : r_{zon}^2) =$$
$$= (m_{zon} : m_{aarde}) \times (r_{aarde} : r_{zon})^2$$

Of ook $\frac{m_{zon} \times (r_{aarde})^2}{m_{aarde} \times (r_{zon})^2}$

Nu kunnen we dus uitrekenen wat de verhouding is tussen de aantrekkingskracht van de zon en die van de aarde! Hier nog even de getallen (wat meer afgerond):

Massa zon: $\pm 2 \times 10^{30}$ kg
Massa aarde: $\pm 6 \times 10^{24}$ kg
straal aarde: $\pm 6{,}4 \times 10^{6}$ meter
afstand zon-aarde "r": $\pm 1{,}5 \times 10^{11}$ meter

De verhouding is dus:
$F_{zon} / F_{aarde} = (2 \times 10^{30} : 6 \times 10^{24}) \times (6{,}4 \times 10^{6} : 1{,}5 \times 10^{11})^2 = 6 \times 10^{-4} = 0{,}0006$

Dit betekent dus dat de zon slechts met: 0,0006 maal de kracht van de aarde aan ons trekt. Dus, de zon trekt aan mij (90 kg = 883 Newton) met een kracht van 0,0006 x 883 N = 0,53 N = ± 54 gram, zoals we al eerder berekend hadden!

Maanzwaartekracht

Nu we zover zijn willen we, denk ik, ook wel eens weten wat de maan met ons doet (qua zwaartekracht dan). Eerst de aantrekkingskracht: aarde – maan (vice versa). Ik ga er snel doorheen!

We gaan uit van de volgende gegevens:

Massa aarde:	$6 \cdot 10^{24}$ kg
Straal aarde:	$6{,}4 \cdot 10^{6}$ meter
Massa maan:	$7{,}35 \times 10^{22}$ kg
Afstand maan – aarde:	384.440.000 meter gemiddeld (de afstand varieert tussen 363.300 en 405.500 km)

Aantrekkingskracht aarde – maan:

$$F = \frac{\overset{G}{6{,}673 \cdot 10^{-11}} \times \overset{m_1}{6 \cdot 10^{24}} \times \overset{m_2}{7{,}35 \cdot 10^{22}}}{\underset{r^2}{384.440.000^2}} = 20{,}24 \times 10^{19} \text{ Newton} = \pm\, 2 \times 10^{19} \text{ kg}$$

Deze 2×10^{19} kg is dus de "maanzwaartekracht", die o.a. voor eb en vloed zorgt! Nu nog even de verhouding maan- en aardzwaartekracht (volgens de formule van prof. Bais):

$$F_{maan} / F_{aarde} = \frac{7{,}35 \cdot 10^{22} \times (6{,}4 \cdot 10^{6})^2}{6 \cdot 10^{24} \times (3{,}84 \cdot 10^{8})^2} = 3{,}4 \times 10^{-6} = 0{,}000\,00335$$

De maan trekt dus aan mij (90 kg) met een kracht van 0,000 00335 x 90 kg = ± 0,0003 kg = 0,3 gram = 300 milligram (dat is ± 0,003 newton!)
De Zon trekt dus aan mij met een kracht van 54 gram en de Maan met 0,3 gram! Weeg ik zonder dat ik 't wist toch een heel klein beetje minder!

Nog een paar gegevens:

Een mens met een massa van 90 kg weegt:	op de aarde:	883 Newton = 90 kg
	op de maan:	146 Newton = 14,9 kg
	op de zon:	24662 Newton = 2514 kg
De zwaartekrachtversnelling is:	op de aarde:	9,81 m/s^2
	op de maan:	1,62 m/s^2
	op de zon:	274 m/s^2
Straal van	de aarde:	6400 km
	de maan:	1738 km
	de zon:	696.000.000 km

Stenen gooien op de maan

Er is toch nóg iets raars aan de hand en wel op de maan. Op de maan weegt een flinke steen zo'n zes keer minder dan op aarde. Je kunt daar zo'n steen dus veel gemakkelijker oprapen en weggooien. Maar…., gooi je hem naar iemand toe, dan komt hij net zo hard aan als op aarde! Want **F = m x a** en de massa van de steen blijft overal gelijk, alleen weegt hij dus op de maan veel minder dan op aarde. Dus.. kijk uit met stenen gooien als je op de maan bent! Doordat er op de maan geen luchtweerstand is komt hij (de steen) daar zelfs nog wat harder aan!

Wat is zwaartekracht?

Wat is deze zwaartekracht nu eigenlijk voor een kracht? Het is een zeer zwakke kracht en toch voelen wij hem duidelijk. We kennen heel wat eigenschappen: Ze werkt gelijkelijk op alle materialen, in tegenstelling tot bijvoorbeeld magnetisme dat, zoals bekend, op ijzer veel sterker (wel een factor van meer dan 1000 sterker) werkt dan op andere materialen. Verder gaat de zwaartekracht overal doorheen. Je kunt de zwaartekracht ook niet uitschakelen…… of toch wel? Iemand in Amerika heeft een monument van zware stenen blokken gebouwd en zegt dat hij dat gedaan heeft door uitschakeling van de zwaartekracht! Hij beweert ook dat de Egyptenaren zo de piramides gebouwd hebben! Is dat waar? Ik denk van niet, maar…. je weet nooit!

We weten dat de zon aan de aarde trekt, dat de maan aan de aarde trekt en eb en vloed veroorzaakt, we weten zelfs met welke “kracht”, maar hoe doen zij dat? Er zit geen enkele tastbare verbinding tussen zon en aarde, noch tussen aarde en maan. En de afstanden zijn (voor ons) reusachtig groot. En hoe “weet” de zon dat hij aan de aarde harder moet trekken dan aan de maan, om aan de formule van Newton te voldoen….?

Volgens Einstein is de zwaartekracht een beweging van een lichaam in een “gekromde ruimte”! Volgens de wetenschap van nu zou de zwaartekracht echter een “wisselwerking” zijn die door middel van “gravitonen” (zwaartekrachtdeeltjes) wordt overgebracht, maar…..deze deeltjes (of “gravitatiegolven”) heeft men tot nu toe nog nooit aan kunnen tonen! En hoe kunnen deeltjes nu toch kracht uitoefenen of “uitwisselen”?

Als we het over afstanden in het heelal hebben, praten we al snel over enorme afstanden. Bij de maan valt het nog wel mee, deze staat zo’n 350.000 km weg, behoorlijk ver maar te overzien. Met één van m’n auto’s heb ik meer gereden: bijna 400.000 km! Maar de zon staat veel verder weg. Het zonlicht doet er ruim acht minuten over om ons te bereiken, dat betekent zo’n 8 x 60 x 300.000 km (lichtsnelheid **c**). Dit komt neer op een 150 miljoen kilometer. De zon staat dus behoorlijk ver weg, maar heeft toch een geweldige invloed. Hij houdt al die planeten “aan het lijntje” (maar wat voor lijntje?). Ze vallen als het ware voortdurend naar de zon, maar…., blijven door hun snelheid in een (elliptische) baan om de zon draaien! Waarom elliptisch, waarom niet cirkelvormig? Ja, dat blijkt uit formules, formules van Newton en andere geleerden! En… de zon staat dus ook niet in ’t midden, maar in één van de “brandpunten” van deze ellips!

Opwaartse kracht

Denkend over de zwaartekracht bedacht ik mij het volgende: Er bestaat op aarde toch een soort tegenkracht waar ik het toch nog even over wil hebben, de “opwaartse kracht” dus. Op ’t eerste gezicht een soort “anti-zwaartekracht”. Het is weer hetzelfde liedje: we kunnen deze kracht precies berekenen, maar hoe die nu precies werkt? Ja, omhoog natuurlijk! Een bekende Griekse geleerde: Archimedes, heeft deze kracht al heel lang geleden (ruim 200 jaar voor Christus) ontdekt! Wat heeft hij toen eigenlijk precies ontdekt? Nou, dat ging zo:

Men had een bad voor hem vol laten lopen, en na de watertemperatuur gevoeld te hebben, stapte Archi er dus in en ging zitten. Even later sprong hij het bad weer uit, rende in z’n blootje naar buiten en riep: “heureka, heureka!”, wat Grieks voor “Ik heb het gevonden” zou zijn. In ’t Frans betekent “heureux” nu trouwens: “gelukkig”, “blij”. Nu, dát was Archimedes ook, want met z’n ontdekking kon hij een moeilijk probleem oplossen. Maar nogmaals, wat "vond" hij toen? Er zijn enkele mogelijkheden. Toen hij in het (volle) bad stapte, liep het bad over. Dit overgelopen water komt overeen met het volume van zijn lichaam, van de persoon die in het bad stapt. De andere ontdekking? Toen hij in het bad stapte merkte hij waarschijnlijk ook dat hij lichter werd, door die opwaartse kracht natuurlijk. Uiteindelijk kwam hij op de volgende stelling:

"Een lichaam ondergedompeld in een vloeistof ondervindt hiervan een opwaartse kracht gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof!"

Dit is de "wet van Archimedes" die verklaart waarom voorwerpen drijven en ballonnen opstijgen"(want die wet geldt ook in een gas) en waarom een kurk die je onder water drukt omhoog vliegt! Dit alles tegen de zwaartekracht in. Wat deed Archimedes eigenlijk met z'n ontdekking, waarom was hij zo "heureux"? Wel, de koning van Syracuse, waar Archi woonde, had hem een gouden kroon gegeven, waarvan men vermoedde dat deze niet van puur goud was. Er was, dacht de koning, door de goudsmid mee geknoeid! "Archimedes, zoek jij dat eens uit? Maar…..zonder hem kapot te maken!" Door zijn ontdekking in het badhuis kon Archimedes dat doen. Door de kroon in een bak vol met water te plaatsen en het overgelopen water met een maatbeker te meten, kende hij het volume "V" van de kroon. Het gewicht van deze kroon was natuurlijk al bekend: "G". En nu kon hij het soortelijk gewicht berekenen:

S = G : V: Soortelijk gewicht is gewicht gedeeld door volume.

Nu nog even hetzelfde doen met een stuk puur goud en je weet of je belazerd ben of niet. Het bleek dat de goudsmid inderdaad gesjoemeld had, hij had het goud gemengd met koper, lood en zo. Die metalen hebben namelijk een lager soortelijk gewicht dan goud! Met de "goudsmid" is het slecht afgelopen!

Maar het kan ook zijn dat Archi de kroon met een weegschaal, balans of "unster" heeft gewogen zowel <u>in</u> als <u>buiten</u> een bak met water! Het verschil van de twee wegingen is de opwaartse kracht en die "*is gelijk in het gewicht van de verplaatste vloeistof*." Door nu hetzelfde met een stuk puur goud van hetzelfde gewicht te doen kan je dan bepalen of je genept bent, want lood, koper noem maar op hebben allen een lager soortelijk gewicht. Door deze twee wegingen weet je dus de verhouding gewicht / volume en dus het soortelijk gewicht!

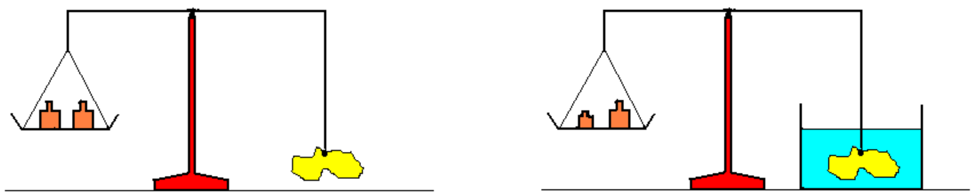

Fig. 5.1 Wegen in lucht Wegen in water

Ga je zelf die proef doen met je gouden spullen, dan moet je wel even weten dat gouden sieraden nooit van puur goud gemaakt worden, maar bijna altijd van 14 of 18 karaats goud. (Puur goud is 24 karaat.) Alleen gouden munten zijn soms van (bijna) puur goud.
Ter informatie: 14 karaats goud heet "goud 585" (58,5 % goud), 18 karaats heet "goud 750"! (75 % puur goud). Goud wordt om het steviger te maken dus meestal "gelegeerd" (gemengd) met wat koper, zilver en dergelijke. En goud van minder dan 14 karaat mag officieel geen "goud" genoemd worden!

Voor de zekerheid hier nog een paar soortelijke gewichten:

Soortelijk Gewicht	
• Goud	19,3
• Lood	11,3
• Zilver	10,5
• Koper	8,9
• Platina	21,3
• Uranium	± 19

We zien dus dat goud veel zwaarder is dan lood en dat platina het zwaarste metaal is. Goud van 14 en 18 karaat hebben een wat lager soortelijk gewicht dan puur goud, in de buurt van 14 en 15, maar nog altijd zwaarder dan lood!

Terug naar deze "anti-zwaartekracht"! Waar wordt deze opwaartse kracht door veroorzaakt? Door de zwaartekracht! Een houten voorwerp (s.g. 0,9) in water, een vloeistof met een soortelijk gewicht dat hoger is (s.g. 1) wordt door de zwaartekracht minder sterk aangetrokken dan het water! Anders gezegd: het hout weegt minder dan het verplaatste water. Het verschil drukt het voorwerp omhoog, totdat…. het drijft. Dan is:

"Het gewicht van een drijvend lichaam gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof."

Hiermee kan je berekenen hoeveel er onder en hoeveel er van een lichaam boven water uitsteekt. Bij hout (s.g. 0,9) en ijs (ook 0,9) steekt dus 10% boven en 90 % onder water.

Natuurkunde voor "dummies"? Ik vind van niet, want die opwaartse kracht die een lichaam in een bepaald medium ondervindt, zou die misschien niet het één en ander kunnen verklaren?

Andere verklaringen

Men zegt dat Newton z'n ideeën over de zwaartekracht ("gravitatie") kreeg toen hij in een boomgaard lag te soezen en er plotseling een appel op hem viel. Maar viel die appel wel? Een zekere James Carter beweert dat niet de appel op Newton viel, maar dat Newton (en de rest van de wereld) naar de appel bewoog. Als een parachutist uit een vliegtuig springt en een zo lang mogelijke vrije val maakt, dan is hij gewichtsloos en ziet de aarde angstig snel op hem afkomen. Dit gebeurt bij ons, maar ook in Australië, aan de onderkant van de wereld dus. Er is maar één verklaring (zegt James): de aardbol zet met grote snelheid uit, zo snel dat wij met kracht, de zwaartekracht dus, op de wereldbol gedrukt worden. Dit kan op het eerste gezicht nooit kloppen, want dan zou ook de zon, andere hemellichamen, álles met ongekende snelheden uit moeten zetten. Wel nu, dat gebeurt volgens die James ook, alleen… wij merken er niets van: alles zet uit, ook onze linialen en rolmaten, alles houdt dus de zelfde afstand. Ook de tijd zou steeds langzamer gaan. Hij berekende tevens de snelheid van deze uitdijing: de diameter van de wereld verdubbelt in ruim 9 tot ruim 30 minuten, afhankelijk van de lengte van een minuut en van een meter. Deze veranderen toch ook steeds? En het heelal zet zelf toch ook uit, aan de waarnemingsgrens zelfs met snelheden in de buurt van de lichtsnelheid! (Dit zou blijken uit de roodverschuiving door het Dopplereffect, daarover moet ik later nog uitgebreid schrijven!) Het lijkt mij weinig zinvol om over bovenstaande dieper na te denken, het lijkt me té bizar om waar te zijn, maar de theorie heeft aanhangers en zij kunnen zo alles verklaren, zeggen ze…..

Einstein kwam op z'n algemene relativiteitstheorie door een gedachte experiment. Hij stelde dat het niet uitmaakt of je een versnelling door een "gewone" kracht of door een zwaartekrachtveld verkrijgt. Als je je in een lift bevindt en je wordt plotseling gewichtsloos, dan kan dat twee oorzaken hebben: óf de kabel is gebroken, óf de zwaartekracht is plotseling uitgeschakeld. Dat laatste is natuurlijk zeer onwaarschijnlijk, maar…. al heb je nog zulke goede zintuigen of meetinstrumenten, op dat moment kan je het verschil niet aantonen! Ook is er dus geen verschil tussen zogenaamde “zware massa” en “trage massa”, een onderwerp waar de wetenschap het tot dan maar moeilijk mee had. “Trage en zware massa zijn gelijk!” stelde Einstein!

Al eerder is geschreven dat een “massa” op aarde gewicht heeft door de aardse zwaartekracht. Maar die zelfde massa kan in de ruimte eveneens “gewicht” krijgen, *als er een kracht op werkt*, bijvoorbeeld een raket!

Newton stelde:

Kracht = massa x versnelling “a”, maar ook is: **Gewicht = massa x valversnelling “g”**.

Al eerder vertelde ik dat de eenheid van massa het kilogram is. De eenheid van gewicht èn kracht is de “Newton”, ondanks het feit dat we bij de groenteboer om anderhalve kilo en niet om *vijftien Newton* Opperdoezer rondes vragen, hoewel dat laatste juister zou zijn!

Er zijn nog meer rare theorieën. Er is een Nederlandse student die beweert dat niet het licht, maar wijzelf met de lichtsnelheid bewegen. Afstand wordt in tijd gemeten: de supermarkt is niet twee kilometer van ons vandaan, maar twintig minuten! Alle beelden, het licht dat we zien, is geschiedenis, en hoe verder we kijken, hoe langer geleden die beelden ontstonden! Zwaartekracht? Geen probleem voor hem……..

Bizarre denkbeelden, die mij en misschien jullie: lezers ook aan ’t denken zetten, maar mij nog niet verder hebben gebracht. Ik ga verder zoeken…….