

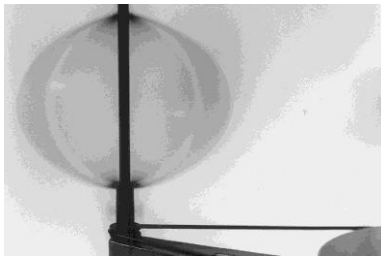
### De waarde van g op aarde

Op de polen heeft g de waarde 9,8322 m/s<sup>2</sup> en op de evenaar 'maar' 9,7805 m/s<sup>2</sup>. Zie ook tabel 30B.

Als de aarde veel sneller zou gaan draaien, bijvoorbeeld door een botsing met een asteroïde, zouden we aan de evenaar het eerst worden weggeslingerd. Alleen de eskimo's zouden een kans hebben zo'n ramp te overleven.

De aarde draaide oorspronkelijk sneller rond. Bovendien was toen de aardkorst nog niet hard. Daarom rekte de aarde bij de evenaar wat uit en werden de polen enigszins afgeplat. Dit is te demonstreren met het model van de foto. Deze twee effecten: de polen draaien niet en zijn afgeplat, verklaren waarom we daar de grootste waarde van g vinden.

Plaatselijk kan de waarde van g ook nog afwijken als zich ergens een erts laag of een petroleumveld bevindt. Door de trillingstijden van uiterst precieze slingers te meten, kan men deze als 'wichelroedes' gebruiken en zo ertsen of olie opsporen.



### De wetten van Kepler

Voor alle materie in het zonnestelsel gelden de drie wetten die Kepler in de 17e eeuw afleidde uit de waarnemingen van Brahe. Die wilde bewijzen dat de banen van de planeten cirkels zijn, maar dat lukte niet. Zijn verklaring was: onnauwkeurig gemeten. Daarom vroeg hij Kepler om hem te komen helpen, maar hij wachtte lang voor hij zijn meetresultaten aan Kepler liet zien.

#### De eerste wet

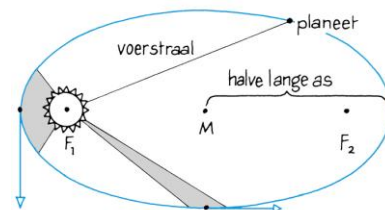
Kepler nam echter terecht aan dat de metingen klopten en toonde aan dat het om ellipsbanen ging met de zon in een van de brandpunten F. Deze eerste wet vond hij – samen met de tweede wet – in 1609.

#### De tweede wet

De tweede wet is het belangrijkste. Volgens deze wet is de snelheid van een planeet in de buurt van de zon (in het perihelium) het grootst en in het verste punt (het aphelium) het kleinst. In gelijke tijden worden door de 'voerstraal' r gelijke oppervlakken (perken) beschreven.

Deze wet heet daarom ook wel de *perkenwet*.

$$v_1 \cdot r_1 = v_2 \cdot r_2$$



#### De derde wet

De derde wet publiceerde hij in 1619. Die wet zegt dat voor de halve lange as  $a$  en de omlooptijd  $T$  geldt:

$$\frac{a^3}{T^2} = \text{constante}$$

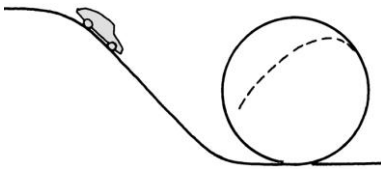
De baan van Uranus (ontdekt in 1781) vertoonde afwijkingen van een ellips. Leverrier berekende de grootte en de positie van de planeet die stoorde en vroeg de astronoom Galle in 1846 er naar te zoeken. De planeet werd nog dezelfde nacht gevonden en Neptunus genoemd. In 1930 werd Pluto op dezelfde manier gevonden omdat de baan van Neptunus op zijn beurt ook weer afweek van een zuivere ellips. Nog weer later (2006) werd Pluto gedegradeerd tot dwergplaneet.

**Loopings**

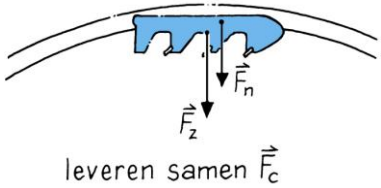
Waarom lukt het een kop koffie verticaal rond te slingeren?



Om een looping te maken moet je zorgen voor voldoende snelheid in het bovenste punt van de baan. Als dit autootje niet hoog genoeg wordt losgelaten, zal het bovenste punt niet gehaald worden. Dan wordt de baan een parabool (de stippelijntje).



In het hoogste punt helpt  $\vec{F}_z$  mee om de gewenste  $F_c$  te leveren, de rest komt voor rekening van de steunkracht van de baan  $\vec{F}_n$ .



Alleen als  $\frac{mv^2}{r} \geq mg$  lukt het om zo'n karretje in de baan te houden. Je kunt dat bereiken met een grote v, maar ook met een kleine r. Vandaar dat in moderne achtbanen de loopings niet cirkelvormig zijn, hun straal is bovenin kleiner.



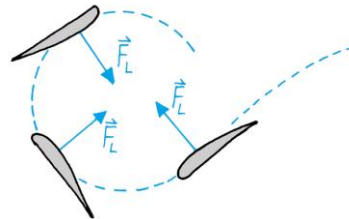
Toch is juist het onderste punt van de baan het moeilijkst te verduren want daar is de snelheid en dus ook de middelpuntzoekende kracht het grootst. Dat komt door  $v^2$  in de formule.

Stel je maakt in een pretpark een looping met een straal van 7 m en de snelheid in het onderste punt is 19 m/s. Je ondervindt daar een versnelling van ruim 5 keer g in de richting van het middelpunt. Je hoofd heeft een massa van ongeveer 5 kg.

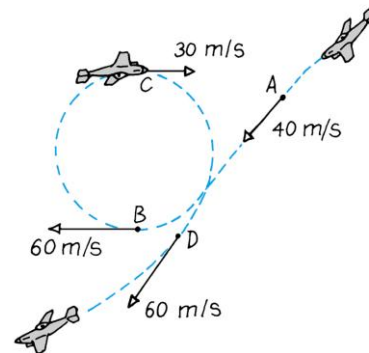
Dan moet de rest van je lichaam een kracht van ongeveer 250 N leveren, want anders vliegt je hoofd de bocht uit. Blijf dus rechtop zitten en buig niet voorover; dan kan je nek die kracht opbrengen. Bovendien is er ook nog het gewone 'rustgewicht' van je hoofd. Het is dus zes keer zo zwaar als normaal. Bij nog hogere snelheden zou het bloed uit je hoofd weggeslingerd kunnen worden en zou je bewusteloos kunnen raken.



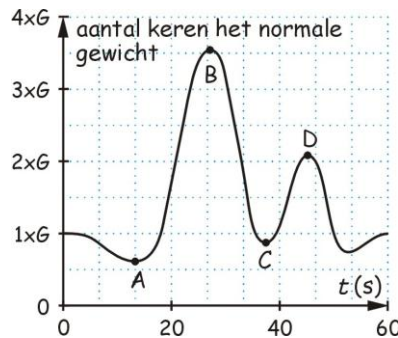
Als een vliegtuig een looping maakt, is dat praktisch altijd van onderen naar boven. De liftkracht  $\vec{F}_L$  wijst dan naar binnen en helpt mee de centripetale kracht te leveren.



Zo'n looping begint in A met een duikvlucht waarbij de snelheid toeneemt. Het gewicht van de vlieger neemt daarbij eerst af om bij het ingaan van de bocht (B) sterk toe te nemen tot 3,6 keer het normale gewicht (3,6G).



Voor een sportvliegtuigje ziet de grafiek van het gewicht van de vlieger er tijdens de looping zo uit:



Versnellingen van -1,5g tot +5g worden als veilig beschouwd. Gevechtstoestellen zijn begrensd op maximaal 9g.