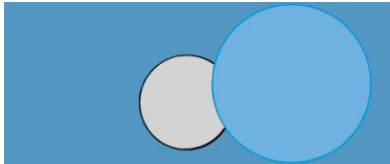


Ideeën en metingen van oude Grieken

Uit de Griekse oudheid zijn allerlei teksten overgeleverd met ideeën over de hemellichamen en pogingen om afstanden te meten. Sommige van die metingen zijn verrassend nauwkeurig.

Pythagoras en Aristoteles

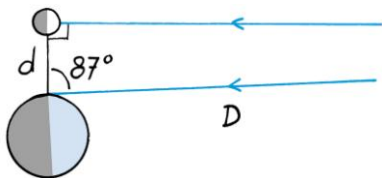
Pythagoras (500 v.Chr.) veronderstelde dat de aarde een bol was. Aristoteles (350 v. Chr.) deelde die mening, want hij nam waar dat de schaduwgrens bij een maansverduistering gekromd was.



Ook redeneerde hij als volgt: olifanten komen in Afrika en India voor. Ze zijn te groot om te kunnen zwemmen, dus moeten Afrika en India aan elkaar vastzitten. Op het bekende deel van de wereld lagen Afrika en India heel ver uiteen. Op een bol kunnen die werelddelen aan de onderkant weer bij elkaar komen. De wereld is dus een bol. Nog meer argumenten waren: schepen zakken weg achter de horizon en er zijn sterren, zoals Canopus, die wel in Egypte en Cyprus gezien kunnen worden, maar niet in noordelijke gebieden. Dit kan alleen bij een gekromd oppervlak. Bovendien zien reizigers naar het zuiden de zuidelijke sterrenbeelden hoger boven de horizon.

Aristarchus

Aristarchus schatte uit de kromming van de schaduw van de aarde op de maan bij een maansverduistering dat de middellijn van de maan drie keer zo klein was als die van de aarde. Hij probeerde al in 250 v. Chr. de afstand d tot de maan te vergelijken met de afstand D tot de zon. Hij mat 87° tussen de twee richtingen toen de maan halfvol was.

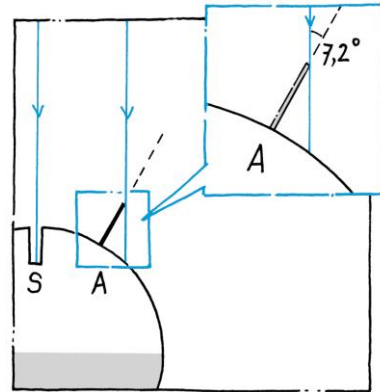


Daaruit volgt: $\frac{D}{d} = \frac{1}{\cos 87^\circ} = 19$. Bij 89° zou hij

57 gevonden hebben. Met de waarden uit *Binas* vind je 389; daar hoort een hoek van $89,9^\circ$ bij. Zijn idee was origineel, maar $0,1^\circ$ meten was voor hem onmogelijk.

Eratosthenes

Op 21 juni staat de zon recht boven de Kreefkeerkring. Syene (S, het huidige Assuan) ligt op die keerkring. Eratosthenes (200 v. Chr.) wist dat alleen op deze dag het zonlicht de gehele bodem van een put verlichtte. In Alexandrië (A) – 5000 stadiën (1 stadie = 184 m) ten noorden – was er op hetzelfde moment achter een hoge paal een schaduw te zien onder een hoek van $7,2^\circ$.



Hiermee berekende hij de omtrek van de aarde:

$$\text{omtrek} = \frac{360}{7,2} 5000 \cdot 184 = 4,6 \cdot 10^7 \text{ m. Dat zat}$$

dicht bij de goede waarde van 40075 km bij de evenaar (dus $R_\oplus = 6378 \text{ km}$). Snellius verbeterde die waarde door de afstand tussen Alkmaar en Bergen op Zoom precies te bepalen met driehoeksmeting. Hij publiceerde zijn werk in 1617 onder de naam *Eratosthenes Batavus*.

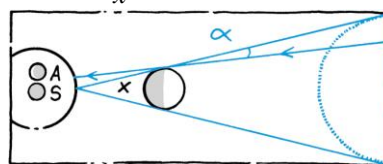
Tegenwoordig worden driehoeksmetingen uitgevoerd met korte laserpulsen vanaf verschillende plaatsen naar een satelliet. Uit de terug ontvangen signalen zijn de afstanden tot de satelliet tot op enkele cm nauwkeurig te bepalen. Uit de richtingen waaronder de satelliet wordt waargenomen, kan de omtrek van de aarde worden berekend.

Hipparchus

Hipparchus probeerde in 129 v. Chr. de afstand x tussen aarde en maan te bepalen. Op zeker moment, toen een waarnemer in Syene (S) een volledige zonsverduistering zag, nam een waarnemer in Alexandrië (A) nog $1/5$ deel van de zonnenschijf waar. De hele zon zien we op aarde als een schijf van ongeveer $0,5$ graad.

De afstand x kon hij uitdrukken in de afstand AS:

$$\tan \alpha = \frac{AS}{x} \text{ met } \alpha = \frac{1}{5} \cdot 0,5^\circ$$



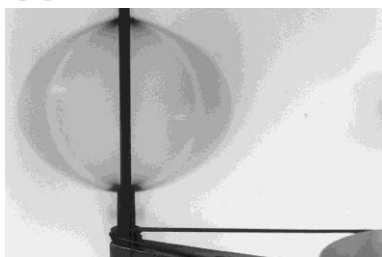
Hij vond voor de afstand 59 à 67 keer de aardstraal. De juiste waarde is 60 keer.

De waarde van g op aarde

Op de polen heeft g de waarde $9,8322 \text{ m/s}^2$ en op de evenaar 'maar' $9,7805 \text{ m/s}^2$. 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 ertsлаг 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.



Bertolt Brecht

Bertolt Brecht laat in zijn toneelstuk *Leven van Galilei* een zeer oude kardinaal dit zeggen:

“Ik ben niet zo maar een wezen op zo maar een sterretje, dat voor korte tijd zo maar ergens rondtolt. Ik ga en sta op een vaste aarde, met zekere tred; ze ligt stil, ze is het middelpunt van het heelal, ik ben in het middelpunt, en het oog van de schepper rust op mij en op mij alleen. Om mij heen cirkelen, vastgehecht aan acht kristallen schalen, de vaste gesternten en de geweldige zon, die geschapen is om mijn omgeving te verlichten. En ook mij, opdat God mij zien zal. Zo komt zichtbaar en onweerlegbaar alles aan op mij, de mens, Gods schoonste creatie, het schepsel in het centrum, Gods evenbeeld.”

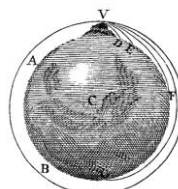
Het is een mooie tekst, maar Brecht doet hiermee de geschiedenis wel geweld aan, want deze ideeën ontstonden pas rond 1650.

Een schot om de aarde

Newton stelde zich in zijn Principia voor dat je een kogel in een baan om de aarde zou kunnen brengen door hem van een hoge berg af te schieten. Daardoor zou hij geen last van luchtweerstand hebben.

Hoelang moet je wachten voor die kogel weer overkomt?

Voor Newton was een schot om de aarde een gedachtenexperiment, maar sinds Dierendag 1957 is dat werkelijkheid.



Een kogel met massa m die op zeeniveau een rondje draait om de aarde (straal R) blijft door de zwaartekracht in zijn baan als hij de goede snelheid heeft:

$$F_z = F_c \Rightarrow mg = \frac{mv^2}{R}$$

Streep m weg en vul de waarden voor g en R uit *Binas* in, dan vind je $v = 7,9 \text{ km/s}$.

Uit $v = \frac{2\pi R}{T}$ volgt voor één rondje $T \approx 1,5 \text{ uur}$.

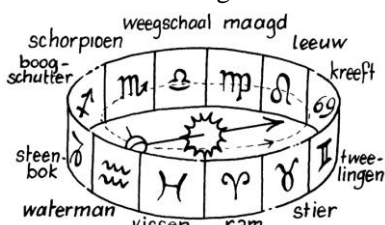
In het algemeen geldt voor de circulatiesnelheid op zeeniveau $v_c = \sqrt{gR}$.

Astrologie

'Alle parameters zijn belangrijk en astrologie is daar één van', aldus de voormalige bondscoach Domenech van het Franse nationale voetbalelftal. Schorpioenen en weegschalen werden door hem niet opgesteld. Domenech zelf is een waterman en die staan nu eenmaal niet bekend om hun gevoel voor logica. Dat hij er op het WK van 2010 niks van bakte, bewijst niet dat astrologie onzin is. Maar stel eens dat het team wél gewonnen zou hebben, dan zouden astrologen het succes groots hebben gevierd. Dit is een kenmerk van alle pseudowetenschappen: noem alleen de successen.

Waarom werkt het niet?

Ten eerste gaan astrologen uit van het sterrenbeeld waar de zon in stond toen je werd geboren. De zon lijkt gedurende een jaar door de zogenaamde dierenriem te bewegen.



Het jaar (360°) is verdeeld in 12 vakken met een breedte van 30°. De sterren in zo'n gebied zijn ooit lang geleden door willekeurige lijnen met elkaar verbonden en van een naam voorzien. Alleen staan die sterren op heel verschillende afstanden, ze horen helemaal niet bij elkaar. Welke kracht oefent dit puur willekeurige groepje sterren op jou uit? Bovendien: in de tijd van Ptolemeus was een Ram (vanaf ca 21/3) nog een Ram, nu staat de zon op 21/3 in het teken Vissen.

Ten tweede hebben wetenschappelijke experimenten met astrologen nooit wat opgeleverd. Het beste onderzoek staat op naam van de voormalige astroloog Dean. Door middel van een psychologische vragenlijst selecteerde hij tachtig zeer spontane en tachtig zeer bedachtzame personen. De 160 geboortehoroscopen van deze proefpersonen werden verzonden naar 45 ervaren astrologen. Die probeerden de karakters onder te brengen in de juiste categorie door hun horoscopen te analyseren. Van te voren waren ze er bijna allemaal van overtuigd dat dit gemakkelijk zou lukken, maar de score bedroeg slechts vijftig procent. Ze hadden net zo goed een muntje kunnen opgooien.

Ten derde: de voorspellingen komen nooit uit. Meerdere keren is totale vernietiging van ons heelal aangekondigd. In 1974 verscheen het boek *The Jupiter Effect*, waarin werd voorspeld dat eind 1982 alle planeten aan één kant van de zon zouden staan, met desastreuze gevolgen voor de

zon zelf. De planeten kwamen en gingen, maar de zon schijnt nog steeds. Natuurlijk zou de aarde in het jaar 2000 eindigen. De zuidpool was namelijk topzwaar geworden, en als gevolg van een zeldzame samenstand (conjunctie) van planeten zou de hele aardkorst op 5 mei van dat jaar verschuiven, met alle gevolgen van dien.

Waarom werkt het wel?

Hoe komt het dat zoveel mensen het gevoel hebben dat astrologie werkt? Het zou toch kunnen? 'Zo boven, zo beneden'? Gauquelin heeft veel onderzoek gedaan naar de correctheid van horoscopen als middel voor karakteranalyse. Hij liet een kleine advertentie plaatsen:

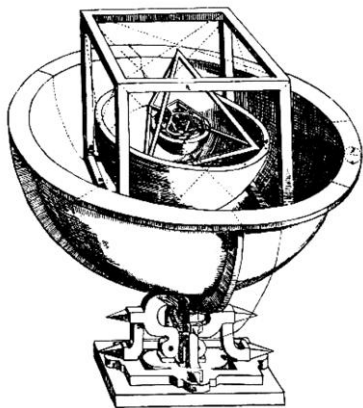
'Uw ultrapersoonlijke horoscoop. Absoluut gratis. Deze gelegenheid kunt u niet laten lopen. Stuur uw gegevens naar ...'

Meer dan 150 mensen reageerden. Gauquelin stuurde iedereen een horoscoop en voegde een korte vragenlijst toe: herkent u zichzelf in de horoscoop? Herkent u uw persoonlijke problemen? Wat vinden uw familie en vrienden ervan? Op de eerste, tweede en derde vraag kreeg Gauquelin respectievelijk 94%, 90% en 80% bevestigende antwoorden. Merkwaardig! Iedereen had namelijk dezelfde horoscoop gekregen. Maar om wat voor horoscoop ging het eigenlijk? Gauquelin had een horoscoop laten maken met de gegevens van de Franse arts Petiot: een seriemoordenaar die tijdens de Duitse bezetting mensen voorloog dat hij ze kon helpen ontsnappen naar Zuid-Amerika. Hij vermoordde er 63 en loste de lichamen op in een bad met ongebluste kalk. Hierover had de horoscoop niets vermeld, integendeel, die was bijzonder vleiend. Deze test van Gauquelin laat zien dat de meeste mensen denken zich te herkennen in een niet al te duidelijke karakterbeschrijving. Mensen denken snel – vooral als ze betaald hebben – dat vage vragen uitsluitend op henzelf van toe-passing zijn. Vragen als: 'U bent nogal kritisch op uzelf? U kunt een heleboel verdragen, maar als u onrechtvaardig wordt behandeld, wordt u kwaad?' worden gemakkelijk met 'ja' beantwoord. Voor vleiende beschrijvingen geldt hetzelfde. Dit is het *barnumeffect*, genoemd naar het circus Barnum & Bailey:
voor elk wat wils.

De wetten van Kepler

Voor alle materie in het zonnestelsel gelden de drie wetten die Kepler in de 17^e 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, want hij was ervan overtuigd dat zijn systeem goed was. Dat hield het midden tussen geocentrisch en heliocentrisch: alle planeten draaien om de zon, maar de zon draait met al die planeten om de aarde. Daarom vroeg hij Kepler om hem te komen helpen, maar hij wachtte lang voor hij zijn meetresultaten aan Kepler liet zien.

Kepler hoopte dat het planetenstelsel op een meetkundige manier opgebouwd zou zijn, in de vorm van in elkaar passende regelmatige ruimtelijke figuren. Er zijn vijf van die figuren: de kubus (opgebouwd uit zes vierkanten), het viervlak (vier driehoeken), het twaalfvlak (vijf-hoeken) het twintigvlak (driehoeken) en het achthoek (driehoeken). Tussen de (bol)banen van Saturnus en Jupiter zou de kubus moeten passen; tussen Jupiter en Mars het viervlak, enzovoort.



Zo'n vreemde gedachte was dat niet in zijn tijd. Bedenk bijvoorbeeld dat Kepler - net als Brahe - hofastroloog was en hoewel hij dat met ironie deed, geloofde Kepler dat de sterren iemands leven beïnvloeden. Had hij geweten dat er méér dan zes planeten waren, dan had hij zich de moeite kunnen besparen.

Nadat hij de gegevens van Brahe had gekregen, gaf hij deze meetkundige pogingen op en vond hij na eindeloos proberen zijn eerste twee wetten in 1609. In 1618 vond hij zijn derde wet.

De eerste wet

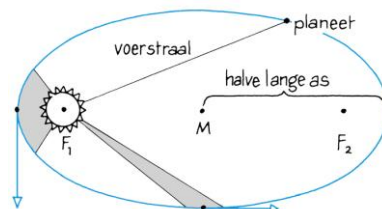
Kepler nam terecht aan dat de metingen klopten en toonde aan dat het om ellipsbanen ging met de zon in een van de brandpunten F.

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 *apohelium*) 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:

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

Als je uitgaat van een cirkelbaan ($a = r$) in plaats van een ellips, kun je die wet afleiden met de gravitatiewet van Newton. Dat gaat zo:

$$F_g = F_c \quad \text{dus} \quad G \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

Streep m weg en gebruik de regel voor de cirkelbaan:

$$v = \frac{2\pi r}{T} =$$

Je vindt dan:

$$\text{constante} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

De baan van Uranus (ontdekt in 1781) vertoonde afwijkingen van een ellips. Le Verrier 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. Achteraf bekeken heeft Galilei hem al in 1613 vlak naast Jupiter gezien, maar toen dacht hij dat het om een sterretje ging.

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 omdat hij te klein is en omdat zijn baan 'raar' is.

Kepler Space Observatory

In 2009 is de satelliet *Kepler Space Observatory* in een baan om de aarde gebracht. Het doel van die telescoop was het opsporen van planeten bij andere sterren dan de zon. Hij ging stuk op 14 mei 2013, maar in zijn korte leven heeft hij honderden planeten gevonden.