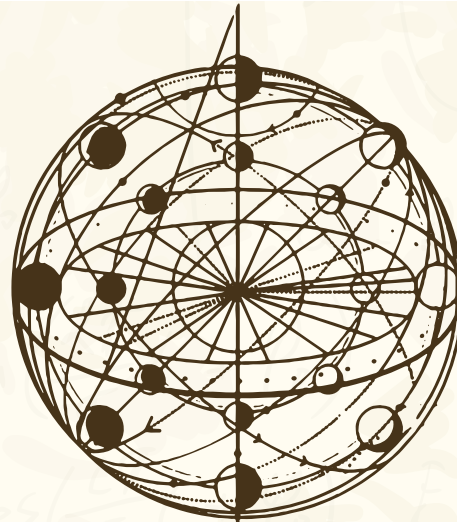


$\alpha\beta$ - Miranda & Prospero



Compagnie des Mutants
Ensemble Leporello

Lesmap

**Een theatervoorstelling
van
Ensemble Leporello
en
Cie des Mutants**

Inhoud

1. Wat weten we van ons heelal?	4
2. De aarde is rond	8
- De afmetingen van de aarde	13
- Over 'driehoeksmeting'	14
3 - De omwenteling rond de zon	18
- Copernicus	18
- Johannes Kepler	19
- Galileo Galilei	22
- Isaac Newton en Albert Einstein	25
4. De maanstanden	26
5: Aan de slag	28
- 1ste wet van Kepler	29
- 2de wet van Kepler	31
- 3de wet van Kepler op de speelplaats	34
6. Speellijst	36

Deze lesmap hoort bij het theaterstuk $\alpha\beta$ - Miranda & Prospero.
Ze kan gebruikt worden in aanloop naar de voorstelling, of erna.

De voorstelling in kwestie opent deuren naar verschillende werelden:

- De personages van Prospero, Miranda, Caliban en Ariel zijn vrij geïnspireerd op personages in "De storm" van William Shakespeare. Een aanzet om te praten over deze belangrijke theaterauteur uit de Engelse Renaissance en over zijn laatste theaterstuk.
- De voorstelling bevat een aantal wetenschappelijke demonstraties (waarbij het begrip Tijd centraal staat: het jaar, de maand, de dag, het uur, de seconde... als tijdseenheden)
- Een omstreden scène: die waar Prospero via euthanasie een einde aan zijn leven maakt: punt ter discussie!
We schreven daarvoor apart mapje.
- Tenslotte wordt in $\alpha\beta$ - Miranda & Prospero ook ingegaan op de grote ecologische vraagstukken van vandaag.

De map bevat informatie en enkele animaties met betrekking tot al deze thema's.
Dit alles is geadresseerd aan leerlingen en studenten vanaf het 5de leerjaar.

1. Wat weten we tot nu toe van ons heelal en de natuurwetten?

De aarde is rond en staat niet in het midden van het heelal - het heeft lang geduurd voordat de mens daarvan overtuigd kon worden, en nóg zijn er sommigen die dit in twijfel trekken.

Maar vandaag riskeer je tenminste niet meer je leven, als je dit bovenstaande beweert.

In het verleden deden en beschreven wetenschappers hun ontdekkingen op gevaar van verbanning, gevangenisstraf en zelfs de brandstapel.

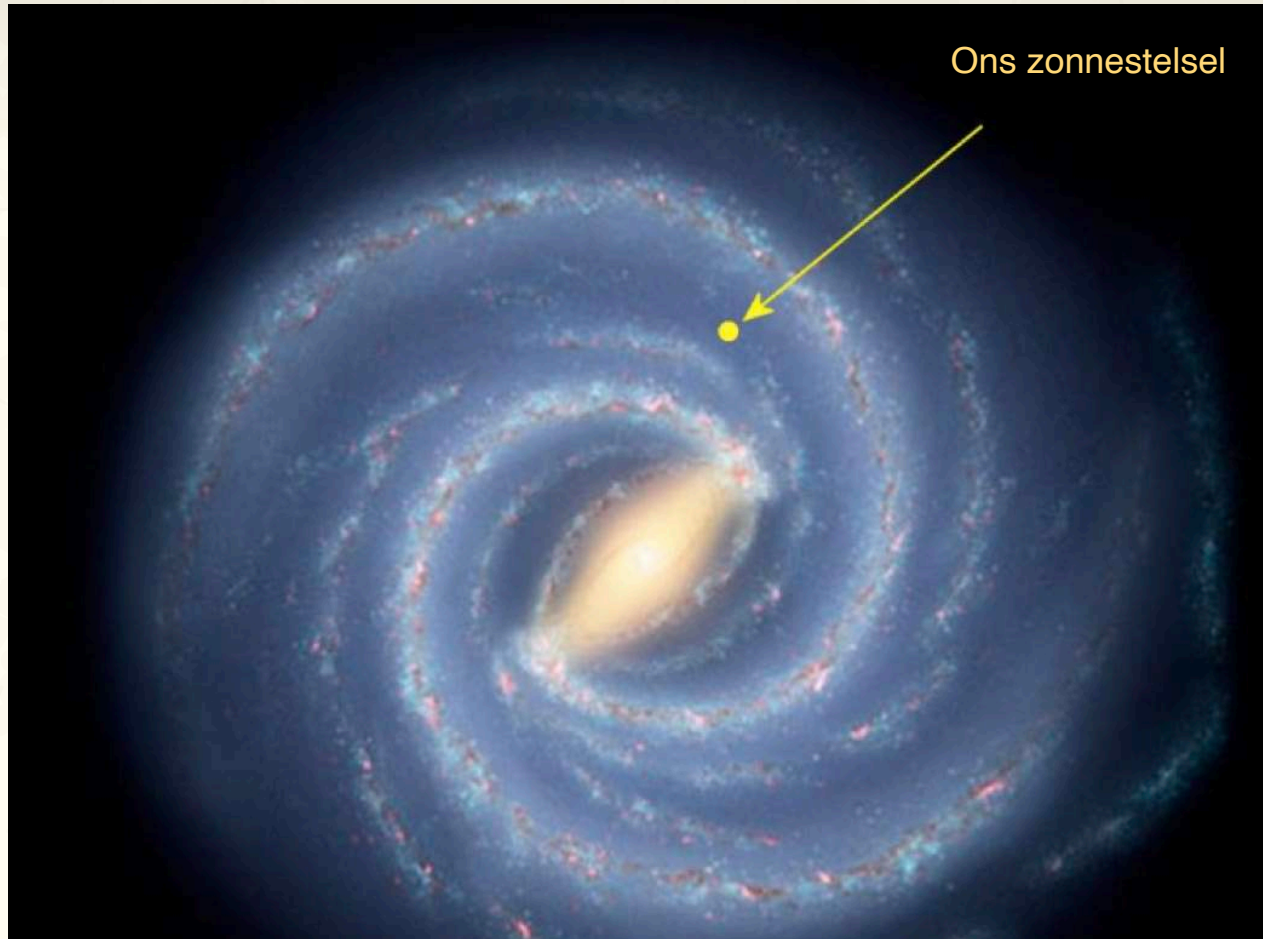
Vandaag is er een verregaande kennis vergaard over de werking van de fysische wereld, en bovendien beschikt de mens over krachtige apparaten om zowel de kleinste fenomenen als de meest gigantische verschijnselen te observeren.

Microscopen, deeltjesversnellers, telescopen en de rekenkracht van computers geven ons de mogelijkheid om het onbekende steeds verder te doorgronden.

Maar elk antwoord van de wetenschap leidt steeds tot nieuwe vragen - er valt nog veel te ontdekken!

We weten dat het heelal immens is. Verrekijkers die buiten onze dampkring in de ruimte zweven kunnen de verste sterrenstelsels waarnemen, sommige waarvan het licht 13,8 miljard jaren heeft gereisd alvorens ons te raken. 13,8 miljard is, volgens ingewikkelde berekeningen, trouwens de leeftijd van het heelal. Een heelal met meer dan 1000 miljard sterrenstelsels! Ons sterrenstelsel is de Melkweg: een spiraalvormig geheel met miljarden sterren en miljoenen planeten. Onze zon is een van die sterren, onze planeet een van die planeten.



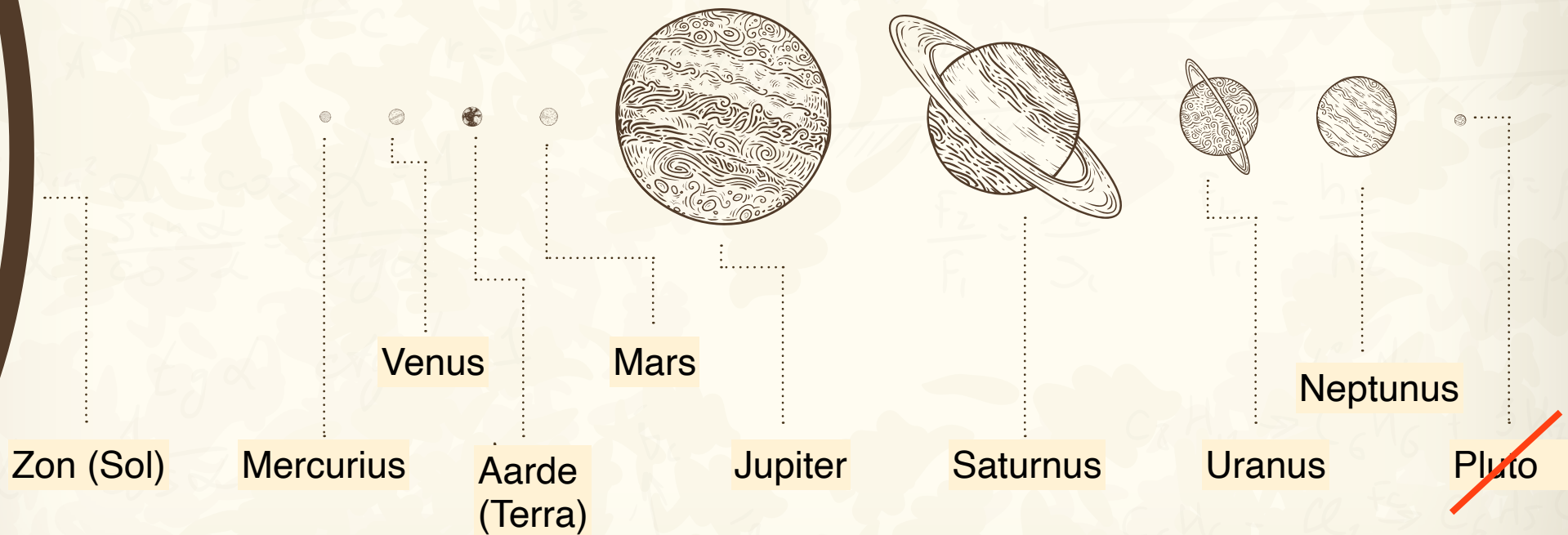


Dit beeld van onze melkweg is geen foto. Je zou duizenden jaren moeten reizen om ver genoeg te zijn om zo een beeld te maken.

Ons zonnestelsel draait mee met alle sterren in bovenstaande grote spiraal.
Met 'zonnestelsel' bedoelen we het geheel van planeten, kometen, asteroïden, enz.
die zich in het zwaartekrachtveld van onze ster, de zon, bevinden.
De zon is er het grootste hemellichaam
en maakt 99,86% van alle massa uit.

De aarde is een van de 8 planeten die rond de zon draaien (samen met nog 5 dwergplaneten, zoals Pluto, en een boel asteroïden). Pluto werd lang beschouwd als een planeet. Vandaag wordt hij niet meer meegerekend.

De ~~9~~ 8 planeten van ons zonnestelsel



De grootte van de planeten ten opzichte van elkaar en de zon, worden hier juist weergegeven. De afstanden zijn niet in verhouding.

'Astronomische' getallen

De Aarde

Leeftijd: 4,55 miljard jaar

Equatoriale straal: 6.378 km

Omtrek: 40.0075 km

Massa: 5.972 miljard miljard ton

Gemiddelde omwentelingssnelheid: 29,8 km/sec

De maan

Equatoriale straal: 1.734 km

Massa: 1,23% van die van de aarde.

Afstand aarde - maan

Gemiddeld 384.400 km

De zon

Straal: 700.000 km

Massa: 330.000 keer die van de aarde.

Afstand aarde - zon

Gemiddeld 150 miljoen km.

Vermits het licht aan 300.000 km/sec reist, duurt het ongeveer 8 minuten alvorens het zonlicht ons bereikt.

Nieuwe lengte-eenheden:

AU = 'astronomical unity'

= 150 miljoen km

= afstand aarde-zon

Lichtjaar = is afstand dat het licht aflegt in 1 jaar

De melkweg

Diameter: ongeveer 150.000 lichtjaren

2. De aarde is een bol

Verschillende modellen van onze aarde, door de eeuwen heen

Sinds de prehistorie heeft de mens geprobeerd zich een beeld te vormen van de wereld waarin hij leefde.

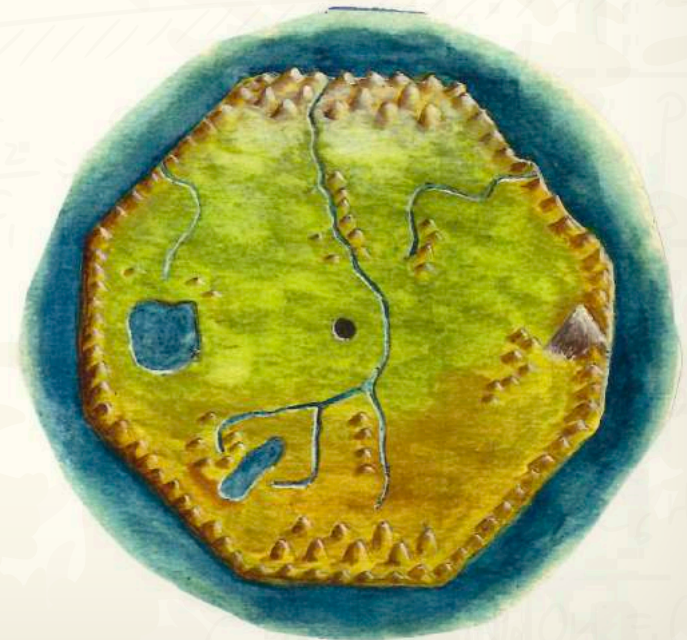
Het verhaal van die pogingen is een soep van mythes, religieus bijgeloof, vergissingen maar ook van openbaring, waarneming, onderzoek, ontdekking...

Is hetgeen we waarnemen werkelijk,

of is het maar een droom die gevormd wordt in onze hersenen?

De grote vraag sinds de nacht der tijden: wat kunnen we weten?

In de Oostelijke steppen van Rusland, bijvoorbeeld, leefden er de Sakaha's, een volk van nomaden die geloofden (net zoals hun buren de Tataren en de Mongolen) dat de aarde plat was en 8 randen had, een achthoek dus. Hun sjamanen (een soort medicijnmannen) beweerden dat in het oosten de zon opkwam vanop een berg van zilver. In het midden van de achthoek zou er een 'zilveren navel' zijn, een opening naar andere werelden.



In Indië bedacht een beroemde monnik, Vasubandhu (4de eeuw na Christus), een wereldkaart die in de boeddhistische culturen veel invloed had.

In het centrum van de aarde, op de hoogvlakten van de Himalaya, is er het wonderlijk meer van Anavatapta. Het verbindt het water van vier heilige rivieren.

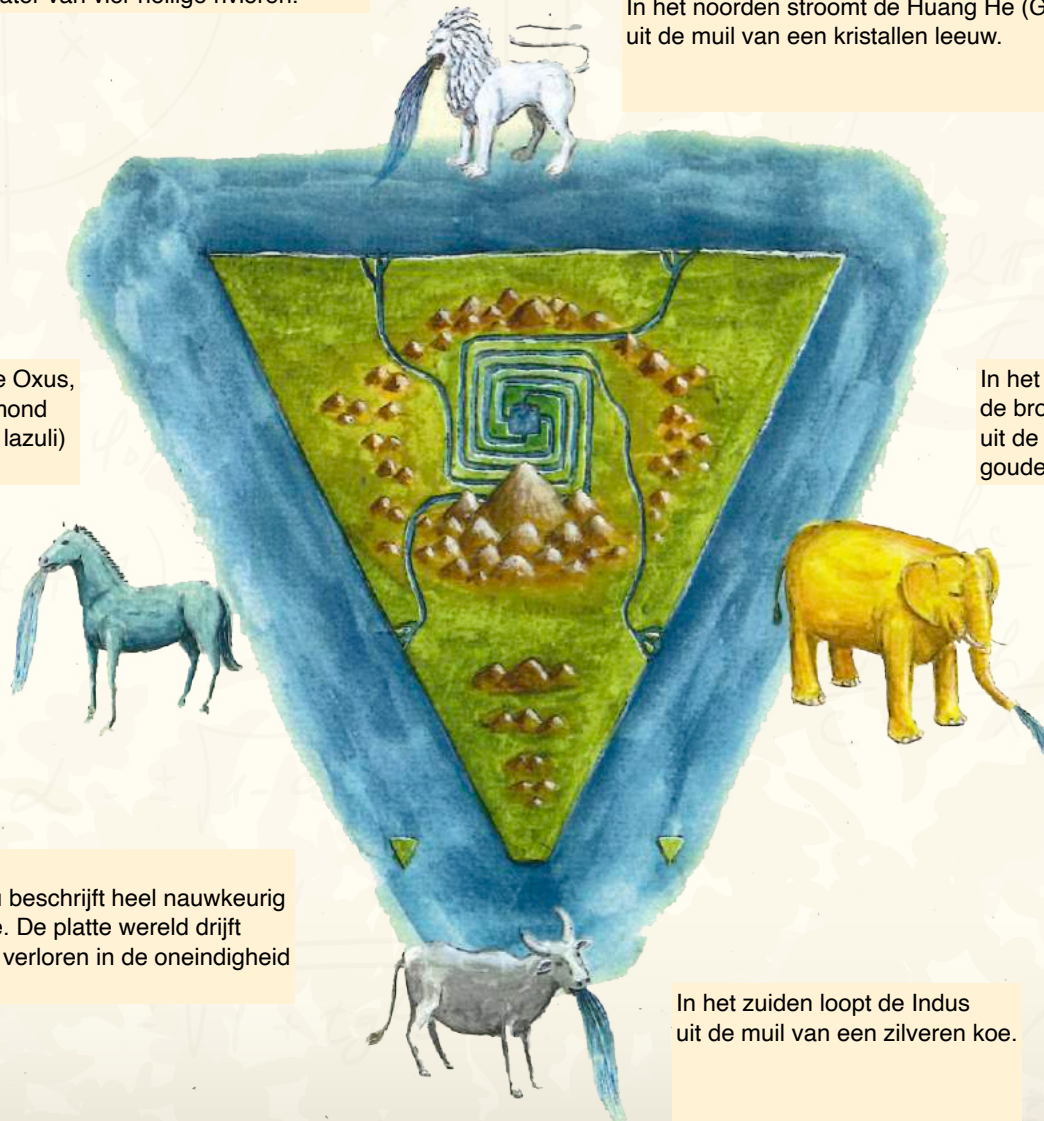
In het noorden stroomt de Huang He (Gele rivier) uit de muil van een kristallen leeuw.

In het westen is er de Oxus, een rivier die uit de mond van een blauw (lapis lazuli) paard vloeit.

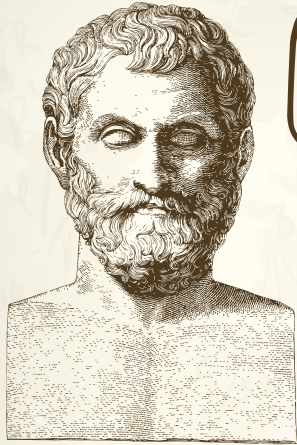
In het westen: de bron van de Ganges, uit de slurf van een gouden olifant.

Een piepkleine aarde: de monnik Vasubandhu beschrijft heel nauwkeurig deze driehoekige aarde. De platte wereld drijft op de grote wereldzee, verloren in de oneindigheid van het universum.

In het zuiden loopt de Indus uit de muil van een zilveren koe.



In Griekenland, ongeveer 600 jaar voor Christus, verschillen wiskundigen en filosofen van mening.



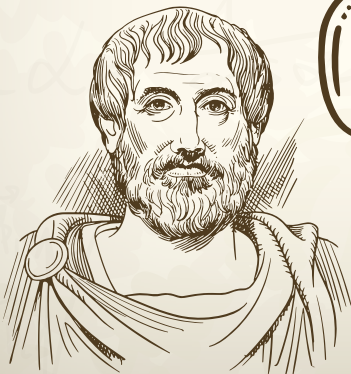
De aarde is een platte schijf!

Volgens Thales van Milethe (625-547 v.C), is de aarde een schijf die op het water drijft.



Nee, de aarde is een bol!

De grote wiskundige Pythagoras (580-495 v.C) beweert dat de aarde bolvormig is.



κατένευα ἀσχεῖο

De filosoof Aristoteles (384-322 v.C) redeneert aan dat de aarde niet plat kan zijn. Later zal Erathostenes dat proefondervindelijk aantonen.

Vandaag moeten we glimlachen over die opvattingen.
Maar er waren nauwkeurige demonstraties nodig,
met wiskundige berekeningen door grote geleerden om de hypothese van een bolvormige aarde te onderbouwen.
De argumenten van Aristoteles klinken onweerlegbaar:
als je naar het noorden reist, zie je langzaamaan nieuwe sterren aan de hemel verschijnen.

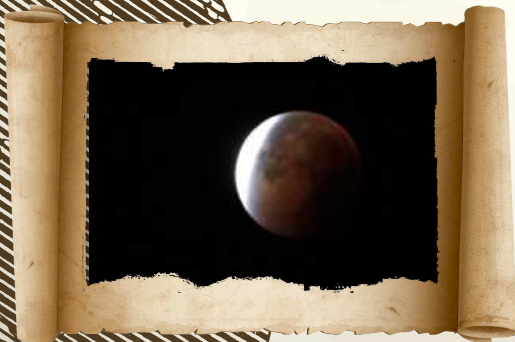


Zeevaarders kunnen er niet naast kijken:
naarmate ze verder varen, zien ze
steeds nieuwe sterren opduiken in de richting waarin ze zeilden.



Wanneer je vanop een toren in de haven uitkijkt naar een aankomend schip,
zie je eerst de masten opduiken.
Later verschijnt het schip zelf.

Met een verrekijker kunnen we dit gemakkelijk zelf ontdekken. Kijk maar eens naar de
windmolens die voor de Belgische kust zijn gebouwd. Van de verst afgelegen molens
zie je alleen de wieken, niet de onderkant!



Tenslotte zie je ook tijdens een maansverduistering dat de aarde een ronde schaduw
op de maan werpt...



schaduw van de paal

Zonnestralen op de middag van de langste dag

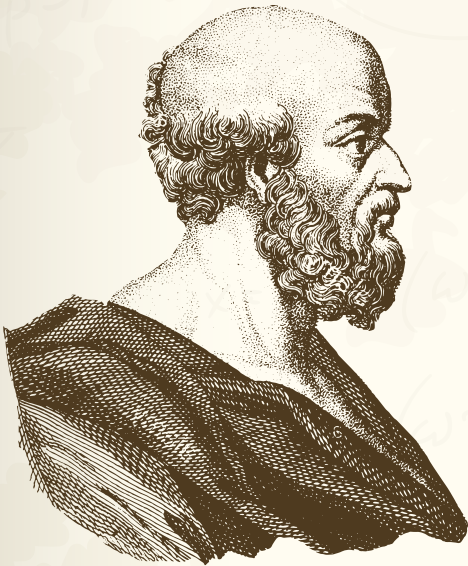
paal in Alexandrië

Afstand Alexandrië - Aswan (800km)

paal in Aswan

Het ronde oppervlak van de aarde

De afmetingen van de aarde



Behalve de vorm, proberen de wiskundigen ook de grootte van de aarde te weten te komen. Eratosthenes (276-195 vC), een geleerde Griek uit Alexandrië, doet een beroemde poging om de omtrek van de aarde te schatten.

Van reizigers krijgt hij te horen dat in Aswan (zuidelijk Egypte), op de langste dag van het jaar (ongeveer 21 juni), je de zonnestralen weerspiegeld kan zien op de bodem van een put.

De zon staat daar in het zuiden blijkbaar hoger aan de hemel.

Eratosthenes besluit er het fijne van te weten.

Hij plant twee even lange, rechte palen, die loodrecht in de aarde staan: een in Alexandrië, de andere in Aswan.

Het is middag op de langste dag (zomerzonnwende).

Eratosthenes meet de lengte van de schaduw in Alexandrië.

Dan reist hij te voet naar Aswan en meet de afgelegde afstand (ongeveer 800km).

Een jaar later staat hij bij de paal in Aswan.

Het is middag, weer langste dag, hij meet de paal.

En wat hij al vermoedde toont zich duidelijk:

de schaduw van deze (even lange) paal is, op dezelfde dag van het jaar, korter dan die van de paal in Alexandrië.

Klimt de zon hoger in Aswan? Eratosthenes denkt dat het ligt aan het aardoppervlak tussen Alexandrië en Aswan: die moet gekromd zijn.

De palen staan loodrecht, maar ze zijn niet evenwijdig met elkaar.

Ze wijzen niet met dezelfde hoek naar de zon.

Eratosthenes besluit daaruit dat de aarde bolvormig moet zijn. En vermits hij de hoek van de palen kent, en de afstand tussen de palen onderling, kan hij tamelijk goed (op enkele honderden kilometers na) de omtrek van de aarde schatten

Hoe deed Erathostenes dat? Hij vertrok van twee hypothesen:

1. De aarde is een bol.

2. De zon is heel erg veraf, waardoor de stralen zo goed als parallel zijn.

En als de stralen parallel zijn, dan zijn de palen het niet!

Ze staan loodrecht in de grond, maar vormen toch een hoek ten opzichte van elkaar.

De hoek die de palen vormen is $7,2^\circ$ (1/50 van een cirkel).

Je moet dus de afstand tussen de twee palen (800km) vermenigvuldigen met 50, om de omtrek van de aarde te berekenen.

$800 \times 50 = 40.000 \text{ km}$.

Een zeer nauwkeurig resultaat, dat Eratosthenes bereikt met de hulp van zeer eenvoudige middelen: een peillood, een meetstok, en hersenen!

iets over 'driehoeksmeting' of 'trigonometrie'.

Driehoeksmeting is studie van de hoeken en de afstanden in driehoeken. In ons geval vormen de schaduw, de paal en de ingebeelde lijn tussen de top van de paal en de top van de schaduw, een driehoek. Van de twee verschillende driehoeken - die in Alexandrië en die in Aswan - kunnen we de hoek tussen de twee palen afleiden (hier dus $7,2^\circ$)



$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}$$

$$h_v = \frac{h_s}{A}$$



Later: het onomstotelijk bewijs

In 1961 schieten Rusland een bemande raket de ruimte in.

Yoeri Gagarin, de astronaut in de raket, is de eerste mens die hoog genoeg vliegt om de rondheid van de aarde duidelijk waar te nemen.

Natuurlijk was dat toen wel geweten, maar niemand had het met zijn eigen ogen gezien.

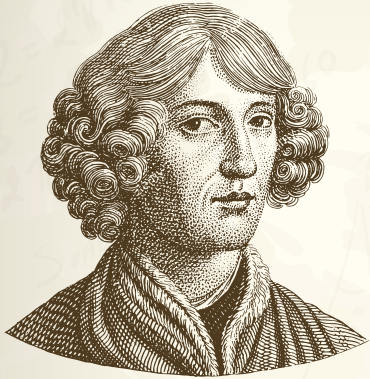


De sovjet-Russische Yoeri Gagarin is de eerste ruimtevaarder. Hij werd op 12 april 1961 de ruimte in geschoten in het kader van de Vostokmissie.

Die lancering was toen wereldnieuws, iedereen sprak erover en de foto's van die gebeurtenis, de lancering, de beelden vanuit de capsule, enz. stonden in alle kranten.



3. De omwentelingen rond de zon - het heliocentrisme



Copernicus

Tot in de 16de eeuw wordt algemeen aangenomen dat de aarde het centrum van het heelal was. Aristoteles, in de 4de eeuw voor Christus, en Ptolemaeus, een Griekse sterrenkundige in de 2de eeuw na Christus, zijn een paar van de vele geleerden die deze theorie verdedigen.

Deze theorie heet 'geocentrisme'. In de loop der tijd word zij voor fout aangezien en vervangen door het 'heliocentrisme' (met de zon als middelpunt).

Het is vooral dankzij een Poolse geleerde, Nicolaas Copernicus, dat de hypothese van een rond de zon draaiende aarde (en niet omgekeerd) ingang vond. In 1513 publiceert hij zijn theorie die, met de zon als middelpunt, de bewegingen van de aarde en de planeten op een veel eenvoudiger manier beschrijft.

De aarde niet het centrum? Deze bewering, die in strijd is met de bijbel en alle mythische wereldbeelden, slaat in als een bom.

We noemen dit de 'Copernicaanse revolutie'.

De katholieke kerk veroordeelt met kracht dit nieuwe idee. Ook Luther, de stichter van het protestantisme, verwerpt het. In 1600 wordt Giordano Bruno, een beroemd Italiaanse geleerde die de nieuwe theorie verdedigt, door de inquisitie tot de brandstapel veroordeelt en terechtgesteld.

Ook de grote Galileo Galilei, later, zal zich moeten verontschuldigen - om aan de dood te ontsnappen liegt hij, en zegt dat hij zich heeft vergist.



Johannes Kepler

Johannes Kepler (1571-1630) is een Duits sterrenkundige die de theorie van Copernicus heeft geperfectioneerd door te berekenen dat de aarde (en alle planeten) geen cirkel, maar een ellips rond de zon beschrijven.

Hij leeft ten tijde van Shakespeare, een tijd tussen de Middeleeuwen en de moderne tijden, een tijd waar magie en wetenschap nog met elkaar worden verward. Kepler is een van de verlichtte geesten die de waarde van observatie en rede belangrijker vinden dan (bij)geloof en de wijsheden van oude geschriften.

Behalve dat de omwentelingen rond de zon ellipsen zijn, ontdekt Kepler nog twee andere basiswetten in verband met de beweging van planeten.

Deze drie natuurwetten, die (zo weten we ondertussen) overal in het heelal gelden, worden in 1609 gepubliceerd in een boek met de titel 'Astronomia Nova'.

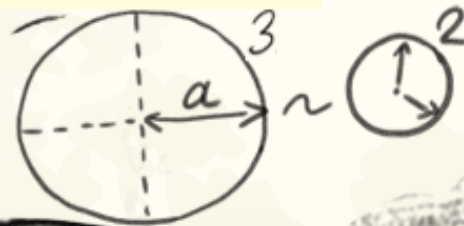
Eerste wet



Tweede wet



Derde wet



De drie wetten van Kepler

De wet van de elliptische banen

Planeten beschrijven ellipsen, waarvan de zon één van de brandpunten is.

De perkenwet

De snelheid van een planeet verandert zodanig dat in gelijke tijdsduur de oppervlakte, bestreken door de verbindingslijn tussen Zon en planeet (de oppervlakte van de zogenaamde 'camemberts'), altijd gelijk is.

De harmoniewet

Het kwadraat van de omlooptijd van een planeet is evenredig met de derde macht van haar halve lange as.
Met andere woorden: planeten versnellen naarmate ze dichterbij de zon komen, ze 'vallen' als het ware naar de zon.
Deze wet geeft de snelheid van de planeet als functie van zijn plaats in zijn baan om de Zon.



Galileo Galilei

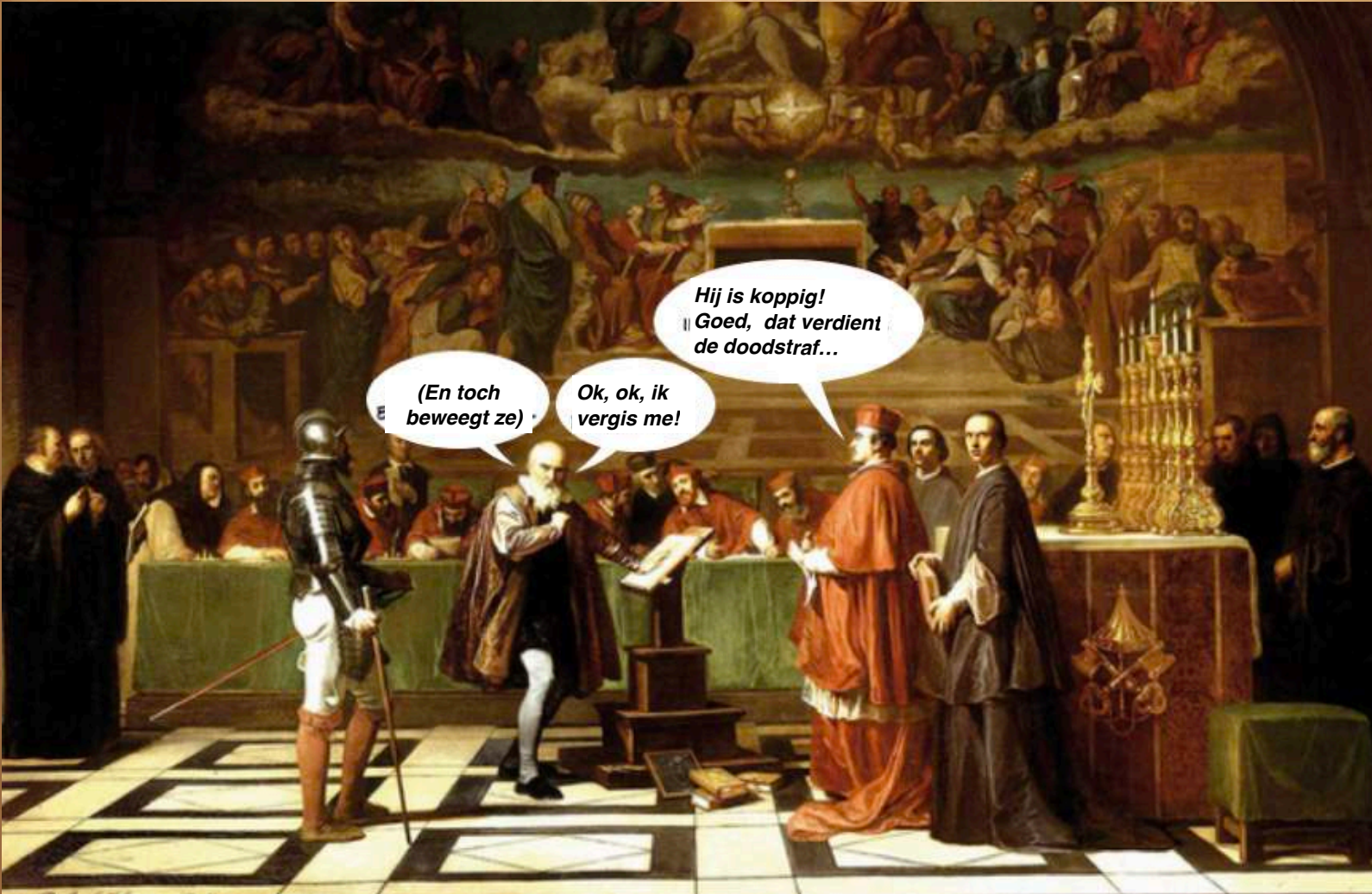
In het begin van de 17de eeuw legt Galileo (1564-1642) de fundamenteën van de fysica. Het gedrag van slingers, bijvoorbeeld, wordt door hem ontrafeld. Hij ontwikkelt en gebruikt de telescoop en noteert met grote nauwkeurigheid de bewegingen van sterren en planeten.

Vanaf 1623 publiceert hij wetenschappelijke werken die de theorie van Copernicus ondersteunen. Hij helpt daardoor de aanvaarding van het feit dat de aarde niet meer de hoofdrol speelt in de rondedans van de hemellichamen.

De Italiaanse uitdrukking 'e pur si muove' ('en toch beweegt ze') zou afkomstig zijn van Galileo. Door de inquisitie bedreigd met de doodstraf 'geeft hij toe' (om zijn huid te redden) dat de aarde toch als vast centrum in het heelal hangt, en dat al de rest er omheen draait.

Maar bij het buitengaan zou hij stilletjes hebben gemompeld: 'en toch beweegt ze.'

De kerk blijft hem verdenken van ketterij. Galileo ontloopt de doodstraf maar wordt op huisarrest geplaatst tot hij sterft, 9 jaar na het beruchte proces.



(En toch beweegt ze)

Ok, ok, ik vergis me!

Hij is koppig!
Goed, dat verdient de doodstraf...

Galileo en het meten van de tijd

Op zijn 19de observeert hij, terwijl hij de mis bijwoont in de kathedraal van Pisa, de grote lichter die aan een lange ketting hangt en lichtjes heen en weer zwaait. Hij meet de tijdsduur van dit zwaaien door het te vergelijken met zijn polsslag, of met de duur van de gezangen die er worden gezongen.

Het valt hem op dat, wanneer de lichter heviger zwaait (doordat het buiten hard waait bijvoorbeeld) de tijd van een heen-en-weer altijd gelijk blijft.

Later is Galileo met slingers gaan experimenteren.

Hij ontdekt dat de tijd die een slinger van een bepaalde lengte nodig heeft om heen en weer te zwaaien, altijd even lang is (het 'isochronisme' van de slinger).

Het enige wat de tijdsduur (T , in seconden) van een 'heen en weer' (een 'periode') bepaalt is de lengte van de slinger (L , in meter) - en dit onafhankelijk van zijn gewicht (massa), of van de hevigheid van het zwaaien (amplitude).

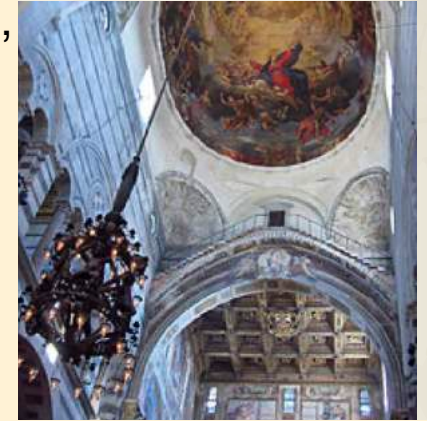
Later zou een andere geleerde, Christiaan Huygens uit Nederland, het verband tussen de lengte en de tijd van de periode in een mooie formule uitdrukken:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

T is de tijd van een 'periode', L is de lengte van de slinger (π en g zijn vaste waarden).

Je merkt dat gewicht (massa) noch uitzwaai van de slinger (amplitude) in deze formule voorkomen.

Met die vergelijking kan Christiaan Huygens het eerste slingeruurwerk bouwen (in 1656), een horloge dat dankzij de het isochronisme van de slinger de tijd tot op de seconde kan meten.



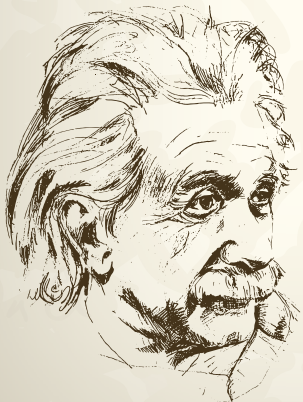
Newton en Einstein

(In dit (bondige) verhaal van deze ontdekkingen mogen de volgende grote geleerden niet ontbreken:



- De Engelse natuurkundige Isaac Newton (1643 - 1727), die aantoonde dat alle lichamen, in de hemel zowel als op aarde, onderhevig zijn aan algemeen geldende bewegingswetten.

Zich baserend op de wetten van Kepler ontwikkelde hij de universele wet van de zwaartekracht.



- Albert Einstein, een theoretisch natuurkundige van joodse afkomst (1879 - 1955) die een revolutie ontketent met zijn 'speciale relativiteitstheorie' in 1915: voor lichamen die zeer snel bewegen (bijvoorbeeld aan de snelheid van het licht) moeten de wetten van Newton worden bijgesteld...

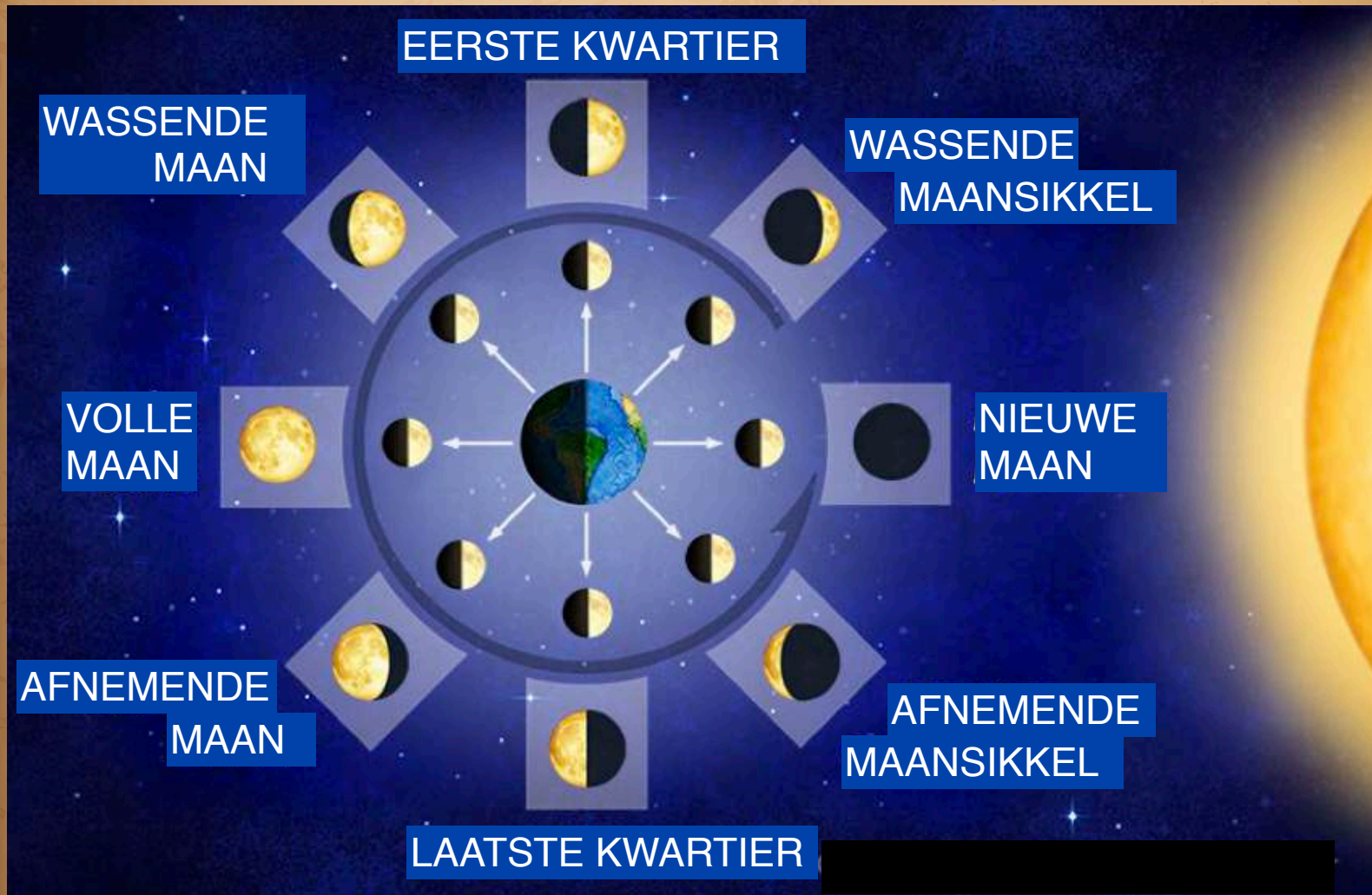
4: De maanstanden (de maand als tijdseenheid)



Leonardo da Vinci (1452 - 1519) is in zijn tijd een van weinige de astronomen die dit begrepen heeft en die het beargumenteert: maneschijn is 'tweedehandse zonneschijn', het is de weerschijn van de zon op een kale, ronde rots, de maan.

'1 reële maand, dat wil zeggen van nieuwe maan (niet zichtbaar) naar de volgende nieuwe maan, duurt 29 dagen en 14 uur. Halverwege zo een maand, dus na 14 dagen en 19 uur, is het volle maan. De maanstanden zijn op hetzelfde moment overal op de wereld te zien. Wanneer het hier volle maan is, is het ook volle maan in Rio, Stockholm, Kinshasa... De maanstanden zijn ONZE manier om de maan waar te nemen op verschillende dagen van de maand. De maan zelf verandert niet, blijft altijd even zwaar, is altijd even rond, en is altijd voor de helft verlicht door de zon. De menstruatie van zoogdieren, de misdaadcijfers, de liefdespassies, de groei van groenten, de weervolgen, enzovoort... worden niet beïnvloed of verwekt door de maanstanden. Elke 29 dagen-en-een-halve is het volle maan overal ter wereld, en geen enkele meting (van het aantal moorden bijvoorbeeld, of het aantal geboortes) kon tot nu toe enig duidelijk verband tonen tussen de hoek waarmee de maan is verlicht, en de globale gebeurtenissen op aarde.'

(Prospero in "αβ - Miranda & Prospero")



5. Actie!

5.1. Zich een voorstelling maken van de astronomische afmetingen

Probeer met dagelijkse voorwerpen een idee te krijgen van het verschil in grootte tussen de hemellichamen in ons zonnestelsel. Als Jupiter bijvoorbeeld zo groot is als een basketbal, dan zou je de aarde kunnen voorstellen als pingpongballetje.

De maan, daarbij, mag niet groter dan een speldekop zijn...

Stel dat de aarde zo groot is als een knikker :

om recht te doen aan de grootte van het zonnestelsel heb je een vlakte van 11 km nodig!

Geen wonder dus dat tekeningen die we zien van ons zonnestelsel verkeerd zijn: op schaal zouden de planeten slechts stipjes zijn, onzichtbaar voor het blote oog.



5.2. Rond de wetten van Kepler

1ste wet: planeten beschrijven ellipsen, waarvan de zon één van de brandpunten is.

Hoe teken je een ellips?

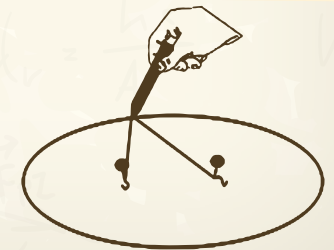
Een ellips wordt bepaald door een lengte (d) en twee brandpunten, f_1 en F_2 .

Een ellips (Grieks ἔλλειψις) is in de wiskunde een vlakke kromme waarbij de som van de afstanden van alle punten op de kromme tot twee brandpunten constant is.

Benodigdheden

2 duimspijkers, een koordje, een stuk karton

Hou het koord gespannen en trek je lijn rond de brandpunten



We gaan verder...

Wat gebeurt er als we de afstand tussen de duimspijkers veranderen?

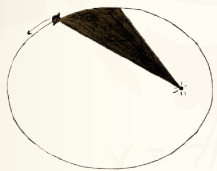


De cirkel is een speciaal geval van een ellips:
de brandpunten vallen samen.

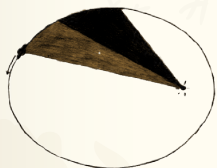
**2de wet: de perkenwet: de straal tussen de zon en de planeet
bestrijkt gelijke oppervlaktes tijdens gelijke tijdsintervallen**



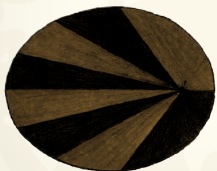
Stel je onze planeet voor, op reis in zijn baan om de zon.



Stel de afstand voor die de aarde gedurende 30 dagen op die ellips beschrijft. De straal bestrijkt dan een oppervlak in de vorm van een 'stuk camembert'.



In de 30 dagen die daarop volgen, tekent de straal een camembert met een andere hoek. Dankzij het verschil in snelheid (doordat de aarde dichterbij de zon komt) heeft die camembert wel dezelfde oppervlakte!



En zo gaat het voor elk interval van 30 dagen: de oppervlakte van alle stukken is constant.

De video-animatie in de voorstelling $\alpha\beta$ - Miranda & Prospero





Je kan deze bewegingswet ook in het groot uitbeelden, op de speelplaats bijvoorbeeld, waar op elk van de twee brandpunten een leerling staat die het uiteinde van een koord vasthoudt. Eén van de leerlingen op één van die brandpunten is 'de zon'. Een derde persoon stelt 'de aarde' voor en loopt, met het koord strak om zijn middel rond de brandpunten (zoals het potlood rond de duimspijkers). De persoon 'aarde' zal merken dat zijn afstand tot persoon 'zon' steeds verandert.

Een vierde leerling tekent met een krijtje het traject dat de persoon 'aarde' op de grond vormt: de elliptische baan van de aarde.

Het punt het dichtst bij de zon heet het 'perihelium' (dit is in januari).

Het punt het verst van de zon af is het 'aphelium' (in juli).

Wanneer de volledige ellips getekend is,

kan je proberen een stuk ervan te bewandelen gedurende bijvoorbeeld 10 seconden (chronometer).

Als je wilt dat de oppervlakte van de camemberts constant blijft,

zul je inzien dat de persoon 'aarde' sneller moet wandelen gedurende die 10 seconden wanneer hij het perihelium (januari) nadert,

en weer moet vertragen in de buurt van het aphelium (juni).

Alleen op die manier krijgen alle 'camemberts' min of meer dezelfde oppervlakte.

Persoon 'aarde' op het perihelium



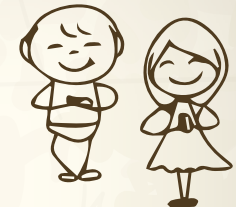
Persoon 'zon': brandpunt 1



Iemand staat in voor brandpunt 2



Iemand met een krijtje, iemand meet de tijd



Persoon 'aarde' op het aphelium



PS: de ellips is veel meer uitgerokken dan in de echte situatie tussen zon en aarde - waar de brandpunten in verhouding veel dichterbij elkaar liggen.

PLAYLIST

Child in Time – Deep Purple

Shine on you crazy diamond – Pink Floyd

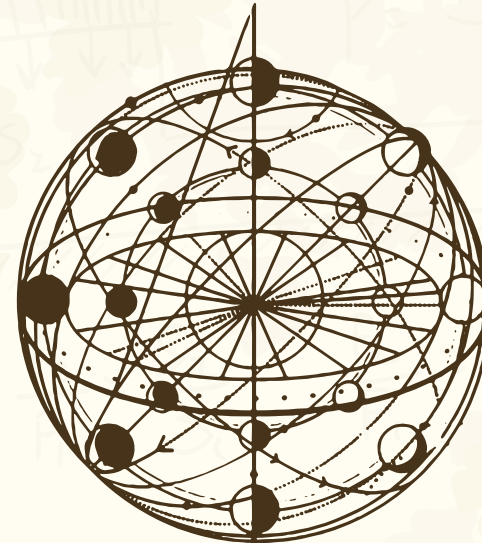
Everything will be alright tomorrow – Faithless

Monument – Royksopp and Robyn

© Cie des Mutants
Ensemble Leporello
2020

αβ

Miranda & Prospero



Compagnie des Mutants
Ensemble Leporello

