



GIP614 RUIMTEVAART

Geschiedenis van de astronomie

De eentrap- en meertrapraket

Waarnemen van het heelal

Bewegen door de ruimte en inter. banen

Het heelal en zonnestelsel

Antikythera mechanisme

Principes van de raketbeweging

Website

Voorwoord:

Het begrip “geïntegreerde proef” is stilaan voor niemand nog onbekend! Wij maakten er met veel plezier kennis mee in de loop van het 3de jaar. Tijdens een tekenles hoorden we plots een orgel op mechanische wijze muziek afdreunen. We wisten het meteen, de gasten van het 6de jaar waren in hun GIP-opdracht geslaagd, en dat mocht iedereen duidelijk horen. We vroegen ons meteen af wat we, eens in het 6de jaar beland, als GIP-onderwerp zouden toegestopt krijgen. Dat de orgeltonen het volgende jaar verstomden onder het gebrul van een hovercraft maakte ons enkel maar ongeduldiger.

Half weg het 5de jaar was het dan zover, we mochten zowaar zelf een aantal GIP-onderwerpen voorstellen. Daar we de voorkeur gaven aan een GIP in klas verband zochten we doelbewust naar een zeer ruim te interpreteren onderwerp.

Op 12 mei 2009 maakten, Klaas Bakelandt, Michiel Deklerck, Ben Demeyere, Kasper Garsbeke, Tom Hollevoet, Mattijs Louwagie, Jonas Taeckens en Simon Vansteenlandt het voorstel: “Bouwen van een op afstand bestuurd auto”

Tijdens een klassikale bespreking van dit onderwerp hadden we het even over “Ontwerpen en realisatie van een didactische marsrobot”. Waarschijnlijk onder invloed van de drukke berichtgeving in verband met het ISS avontuur van Frank De Winne kozen we uiteindelijk voor het onderwerp “Ruimtevaart” met als praktische noot “het bouwen van een raket”.

Samen met dhr. Dirk Verhaeghe (GIP-mentor 6de IW) toetsten we ons voorstel af aan de eisen gesteld aan een GIP. Dhr. Verhaeghe nam ons gezwind mee naar alle uithoeken van ons voorstel. Heel snel werd het ons duidelijk dat we onszelf voor een mega uitdaging hadden geplaatst.

Als voorbereiding op de GIP-startvergadering van 15 september ondernamen we volgende stappen:

- op dinsdag 30 juni hadden we een onderhoud met de heer Thomas Goethals in de sterrenwacht Beisbroek (Varsenare-Jabbeke)
- op vrijdag 3 juli hadden we een gesprek met de heer Johan Vanbeselaere in het Astrolab te Zillebeke
- op dinsdag 18 augustus bezocht de heer Verhaeghe Dirk, Leopold Clauwaert (huidige voorzitter VRO) en de heer Tony Vyverman (stichtte in 1967 BVRO nu VRO) in hun werkplaats te Schoten
- op woensdag 19 augustus werden de heren Dirk Goethals, Walter Vanhooren en Jürgen Boterberge (via e-mail) onafhankelijk van elkaar naar hun mening gevraagd i.v.m. een "Rocket Data Acquisition System (R-DAS)".
- op donderdag 20 augustus werd de heer Kris Werbrouck aangesproken i.v.m. de soft ware voor de R-DAS.
- op woensdag 26 augustus werd contact genomen met Pol Coudeville KHBO (chemie) en via Peter D'hulster KHBO (elektromechanica) met Wim Vanparys en Ivan Becuwe beiden KHBO (luchtvaart). Deze lieten per email weten te zullen meewerken waar gevraagd en mogelijk
- op zondag 5 september bezochten Sam Coysman, Tom Hollevoet, Mattijs Louwagie, Jonas Taeckens en Michael Timmerman o.l.v. de heer Verhaeghe Dirk de Belgische Raket Motor Dag (BRMD) 2009. Dit was mogelijk na tussenkomst van de heer Luc Leyns (VUB).

Op de valreep maakte Jan-Laurens Verleye een persoonlijk voorstel. Jan-Laurens was tijdens de inforonde op "Het Antikythera mechanisme" gebotst. Een wonderbaarlijk mechanisme uit de tijd van de Romeinen om zonsverduisteringen mee te voorspellen! Het fascineerde Jan-Laurens in die mate dat hij wilde proberen het mechanisme te maken.

Tijdens de GIP-startvergadering kregen onze plannen groen licht. Het schooljaar dat nu pas echt kon beginnen verliep in sneltreinvaart. Op het einde van de rit kunnen we pronken met de onderliggende neerslag van ons werk. Maar zeker ook met de beelden van de lancering van één van onze twee eigenhandig gemaakte raketten!

Dankzij onze website www.gip2009.be (o.a. blog en forum) aangemaakt nauwlettend bijgehouden door Tom Hollevoet konden we altijd vlot met elkaar communiceren. Bovendien konden ook geïnteresseerden van onze GIP via deze weg onze vorderingen volgen.

Tot slot willen we allen die bijdroegen tot het slagen van onze GIP-project danken.

- onze ouders voor het vertrouwen en de groeiende interesse in wat we bezig waren
- de mensen die groen licht gaven aan ons GIP-voorstel en uitwerking ervan
- dhr. Dirk Verhaeghe voor zijn niet aflatende creatieve ondersteuning bij alle theoretische en praktische facetten van onze GIP
- mevr. Miranda De Laere voor het organiseren van de reis naar Nederland, het verblijf in Nederland
- mevr. Joke Boeyden voor het na lees werk van het GIP-boek
- dhr. Francky Vandierendonck voor het freeswerk
- de mensen van VRO (Vlaamse Raket Organisatie, www.vro.be) Leopold Clauwaert, Antoon Vyverman, Bert Kimpe voor de fantastische ondersteuning bij het maken van onze raketten
- de NAVRO (Nederlandse Raket Organisatie, www.navro.nl) en NERO Rockets. (www.nerorockets.org) voor het aanbieden van een lanceer mogelijkheid
- Jan Hein voor de helpende hand tijdens de lanceerdag
- de leerlingen van het 3de jaar basismechanica (Q. Legrand – K. Focquaert – K. Nobus K. Van Acker – M. Massenhove – O. Van Maele – B. Versyck – D. Defever – T. Van den Berghe – J. Van Waetermeulen – B. Spillier) o.l.v. dhr. Wim Delafontaine
- allen die een boodschap nalieten op onze gastenboek

Klas 614 : Industriële Wetenschappen

Schooljaar: 2009-2010

Titularis: Dhr. Dirk Verhaeghe



Klaas Bakelandt



Timothy Baken



Sam Coysman



Michiel Deklerck



Ben Demeyere



Kenney Deroo



Kasper Garsbeke



Tom Hollevoet



Mattijs Louwagie



Jonas Taeckens



Michael Timmerman



Tim Trio



Dave Vangampelaere



Simon Vansteenlandt



Jan-Laurens Verleye

Inhoudstabel : Ruimtevaart

1. Geschiedenis van de astronomie	16
1.1. Geleerden	16
1.1.1. Pythagoras	16
1.1.1.1. Levensloop.....	16
1.1.1.2. Ontdekkingen in de astronomie	16
1.1.1.3. Andere ontdekkingen	17
1.1.1.4. Weetjes.....	18
1.1.2. Plato	18
1.1.2.1. leven	18
1.1.3. Ontdekkingen in de astronomie	19
1.1.3.1. Andere ontdekkingen	19
1.1.3.2. Weetjes.....	21
1.1.4. Aristoteles	21
1.1.4.1. Levensloop.....	21
1.1.4.2. ontdekkingen in de astronomie	22
1.1.4.3. Andere ontdekkingen	22
1.1.4.4. Weetjes.....	23
1.1.5. Aristarchos	23
1.1.5.1. Levensloop.....	23
1.1.5.2. Ontdekkingen in de astronomie	23
1.1.5.3. Weetjes.....	24
1.1.6. Augustinus van Hippo	24
1.1.6.1. Levensloop en situering.....	24
1.1.6.2. Ontdekkingen in de astronomie	25
1.1.6.3. Andere ontdekkingen	25
1.1.6.4. Weetjes.....	25
1.1.7. Nicolaas Copernicus.....	26
1.1.7.1. Levensloop en situering.....	26
1.1.7.2. Ontdekkingen in de astronomie	27
1.1.7.3. Weetjes.....	28
1.1.8. Tycho Brahe	29
1.1.8.1. Levensloop en situering.....	29
1.1.8.2. Ontdekkingen in de astronomie	30
1.1.8.3. Andere ontdekkingen	30
1.1.8.4. Weetjes.....	30
1.1.9. Galileo Galilei	31
1.1.9.1. Levensloop en situering.....	31
1.1.9.2. Ontdekkingen in de astronomie	32
1.1.9.3. Weetjes.....	37
1.1.10. Johannes Kepler	38
1.1.10.1. Levensloop en situering	38
1.1.10.2. Ontdekkingen in de astronomie.....	39
1.1.10.3. Andere ontdekkingen.....	41
1.1.10.4. Weetjes	41
1.1.11. René Descartes	42
1.1.11.1. Levensloop en situering	42
1.1.11.2. Ontdekkingen in de astronomie.....	43
1.1.11.3. Andere ontdekkingen.....	43
1.1.11.4. Weetjes	45
1.1.12. Isaac Newton	46
1.1.12.1. Levensloop en situering	46
1.1.12.2. Ontdekkingen in de astronomie.....	47
1.1.12.3. Andere ontdekkingen.....	48
1.1.12.4. Weetjes	49
1.1.13. Albert Einstein.....	50

1.1.13.1.	Levensloop en situering	50
1.1.13.2.	Ontdekkingen in de astronomie.....	51
1.1.13.3.	Andere ontdekkingen.....	52
1.1.13.4.	Weetjes	53
1.2.	Culturen.....	54
1.2.1.	Azteken	54
1.2.1.1.	Situering	54
1.2.1.2.	Ontdekkingen in de astronomie.....	55
1.2.1.3.	Andere ontdekkingen	55
1.2.2.	Inca's.....	56
1.2.2.1.	Situering	56
1.2.2.2.	Ontdekkingen in de astronomie.....	57
1.2.2.3.	Andere ontdekkingen	58
1.2.2.4.	Weetjes.....	58
1.2.3.	Maya's.....	59
1.2.3.1.	Situering	59
1.2.3.2.	Ontdekkingen in de astronomie.....	59
1.2.3.3.	Andere ontdekkingen	60
1.2.4.	Kelten	61
1.2.4.1.	Situering	61
1.2.4.2.	Ontdekkingen in de astronomie.....	61
1.2.4.3.	Weetjes.....	63
1.2.5.	Romeinen.....	63
1.2.5.1.	Situering	63
1.2.5.2.	Ontdekkingen in de Astronomie.....	63
1.2.5.3.	Andere ontdekkingen	64
1.2.5.4.	Weetjes.....	64
1.2.6.	Egyptenaren.....	64
1.2.6.1.	Situering	64
1.2.6.2.	Ontdekkingen in de Astronomie.....	64
1.2.6.3.	Andere ontdekkingen	64
1.2.6.4.	Weetjes.....	65
1.2.7.	De Grieken	66
1.2.7.1.	Situering	66
1.2.7.2.	Ontdekkingen in de astronomie.....	67
1.2.7.3.	Andere ontdekkingen	68
1.2.7.4.	Weetjes.....	68
1.2.8.	De Chinezen	68
1.2.8.1.	Situering	68
1.2.8.2.	Ontdekkingen in de astronomie.....	69
1.2.8.3.	Weetjes.....	69
1.3.	Navigatieinstrumenten	70
1.3.1.	Inleiding	70
1.3.2.	De soorten instrumenten.....	70
1.3.2.1.	Het Astrolabium	70
1.3.2.2.	De Jacobsstaf.....	71
1.3.2.3.	De kwadrant	71
1.3.2.4.	De Octant.....	72
1.3.2.5.	De Sextant	72
1.3.2.6.	De Moderne GPS	73
1.3.3.	Woordenlijst	73
2.	Waarnemen van het heelal	74
2.1.	Het elektromagnetisch spectrum.....	74
2.1.1.	Inleiding	74
2.1.2.	Inleidende begrippen.....	74
2.1.3.	Een elektromagnetische golf	75

2.1.4.	Ontstaan van een elektromagnetische golf	76
2.1.5.	Lineaire versnellers	77
2.1.6.	Magnetische versnellers	77
2.1.6.1.	Cyclotron	77
2.1.6.2.	Betatron.....	77
2.1.6.3.	Synchrotron	78
2.1.7.	Energie van een elektromagnetische golf.....	78
2.1.8.	Wat is "het elektromagnetisch spectrum" ?	78
2.1.9.	Schema.....	79
2.1.10.	Radiogolven	79
2.1.11.	Microgolven	80
2.1.12.	Infrarode straling	81
2.1.13.	Zichtbaar licht	81
2.1.14.	Ultraviolet licht	82
2.1.15.	Röntgenstraling.....	82
2.1.16.	Gammastralen	82
2.1.17.	Toepassing van elektromagnetische golven.	83
2.1.18.	Het bepalen van de stof waaruit een ster bestaat	83
2.1.19.	De snelheid van een ster.....	86
2.1.20.	Draairichting van een ster bepalen.....	87
2.1.21.	Het zeeman effect.....	87
2.2.	Optische kijkers.....	89
2.2.1.	Terminologie	89
2.2.2.	Geschiedenis van de telescoop.....	89
2.2.3.	Functies van een telescoop.....	90
2.2.4.	Refractor	90
2.2.5.	Chromaat	90
2.2.6.	Achromaat	91
2.2.7.	Apochromaat	91
2.2.8.	soorten optische kijkers.....	92
2.2.8.1.	Telescoop van Newton	92
2.2.8.2.	Klassieke Cassegrain	92
2.2.8.3.	Schmidt-Cassegrain	93
2.2.8.4.	Maksutov-Cassegrain	93
2.2.8.5.	Ritchey-Chrétien	94
2.3.	Lichtsterkte en helderheid.....	95
2.3.1.	Inleiding	95
2.3.2.	Betekenis	95
2.4.	Astrofotografie	97
2.4.1.	Inleiding	97
2.4.2.	Magnitudeschaal.....	99
2.4.3.	Invloed van de afstand.....	102
2.4.4.	Invloed van de kleur.....	104
2.4.5.	Invloed van de leeftijd en massa	105
2.5.	Radiotelescopen	106
2.5.1.	Inleiding	106
2.5.2.	Geschiedenis.....	106
2.5.3.	Werking van een radiotelescoop	106
2.6.	Wat is een CCD-chip?	108
2.6.1.	Werking van een CCD-chip	108
2.6.2.	Bit-diepte van een CCD-chip	108
2.6.3.	Belangrijke kwaliteitsfactor van een CCD-chip	109
2.6.4.	Bayer Masker	110
2.6.5.	Color Aliasing	110
2.6.6.	Vergelijking CMOS en een CCD-chip	111

2.6.7.	Toepassingen van een CCD-chip	111
2.7.	Bewegende beelden	112
2.7.1.	Hoe stelt men een bewegend beeld tezamen?	112
2.7.1.1.	Interlaced opnametechniek – Progressive opnametechniek	113
2.7.2.	Beelden overplaatsen	114
3.	Het heelal - zonnestelsel	115
3.1.	De Big Bang theorie	115
3.1.1.	Inleiding: Waar komt alles vandaan?	115
3.1.1.1.	De verschillende theorieën	115
3.1.2.	Ontstaan van de theorie	120
3.1.2.1.	De beginselen	120
3.1.2.2.	Van idee naar theorie	122
3.1.3.	Het verloop van de big bang	123
3.1.3.1.	De tijdlijn	123
3.1.3.2.	0s tot 10^{-43} s: beginfase van de Big Bang	124
3.1.3.3.	10^{-43} s tot 10^{-35} s: het GUT-tijdperk	124
3.1.3.4.	10^{-35} s tot 10^{-32} s: het inflatie-tijdperk	125
3.1.3.5.	10^{-10} s tot 10^{-4} s: het hadronen-tijdperk	127
3.1.3.6.	10^{-4} s tot 6s: het leptonen-tijdperk	127
3.1.3.7.	100s tot 30 minuten: vorming van atoomkernen	128
3.1.3.8.	30 minuten tot 300 000 jaar: vorming van atomen, ontkoppeling van straling en materie 128	
3.1.3.9.	300 000 tot 1 miljard jaar: vorming van sterren en sterrenstelsels	129
3.1.3.10.	De uitdijing van het heelal	129
3.1.4.	Weetjes	130
3.2.	Sterevolutie	131
3.2.1.	Inleiding	131
3.2.2.	Levensloop	131
3.2.3.	Soorten sterren	132
3.2.3.1.	Bruine dwergen	132
3.2.3.2.	Rode dwergen	132
3.2.3.3.	Witte dwergen	132
3.2.3.4.	Zwarte dwergen	133
3.2.3.5.	Sterren als de zon	133
3.2.3.6.	Reuzensterren	133
3.2.4.	Weetjes	134
3.3.	Oorsprong van de chemische elementen	135
3.3.1.	Een ster van de eerste generatie	135
3.3.2.	Een ster van de tweede of meerdere generatie	135
3.3.3.	Hoe worden al onze elementen gemaakt	136
3.3.3.1.	Inleiding	136
3.3.3.2.	Generatie sterren	136
3.3.3.3.	De mens	137
3.4.	Onze zon	139
3.4.1.	De kern	139
3.4.2.	Fotosfeer of zonneoppervlak	140
3.4.3.	De Chromosfeer	140
3.4.4.	De Corona	140
3.4.5.	Observatie van de zon	141
3.4.6.	Lagrange punten	141
3.4.7.	Weetjes	142
3.5.	Planeten	143
3.5.1.	Ontstaan	143
3.5.2.	Soorten planeten	143

3.5.2.1.	Terrestrische planeten	143
3.5.2.2.	Gasreuzen	143
3.5.2.3.	Ijsreuzen	144
3.5.3.	Planeten in ons zonnestelsel	144
3.5.3.1.	Gegevens	144
3.5.4.	Exoplaneten	144
3.6.	Kometen, Meteoren en Planetoïden.....	145
3.6.1.	Kometen.....	145
3.6.1.1.	Samenstelling	145
3.6.1.2.	Herkomst	145
3.6.1.3.	De oortwolk	145
3.6.1.4.	De kuipergordel	146
3.6.2.	Meteoren, Meteorieten en Meteoroiden.....	146
3.6.3.	Planetoïden.....	146
3.6.4.	Karakteristieken	146
3.7.	Banen van planeten	147
3.7.1.	Inleiding	147
3.7.2.	Soorten banen rond de Aarde	147
3.7.2.1.	Lage banen (Low Earth Orbit – LEO).....	147
3.7.2.2.	Middelhoge cirkelvormige banen (Intermeridiate Circular Orbit – ICO of Medium Earth Orbit – MEO).....	147
3.7.2.3.	Geostationaire banen (Geostationary Orbit – GSO).....	147
3.7.2.4.	Afleiding van de geostationaire hoogte	148
3.7.2.5.	Geosynchrone banen (Geosynchronous Orbit – GEO)	149
3.7.2.6.	Circulaire banen.....	149
3.7.3.	Elliptische banen.....	149
3.7.3.1.	Geostationaire overdrachtsbanen (Geostationary transfer Orbit – GOT).....	149
3.7.3.2.	Polaire banen (Polar Orbit – PO)	149
3.7.4.	Baan planeten zonnestelsel ten opzichte van de Zon.....	150
3.7.4.1.	Mercurius	150
3.7.4.2.	Precessie.....	151
3.7.4.3.	Venus.....	151
3.7.4.4.	Aarde	151
3.7.4.5.	Mars.....	152
3.7.4.6.	Jupiter.....	152
3.7.4.7.	Saturnus.....	152
3.7.4.8.	Uranus	153
3.7.4.9.	Neptunus	153
3.7.5.	Baan Maan ten opzichte van de Aarde	153
3.7.5.1.	Totale energie van een voorwerp op een cirkelbaan	154
3.8.	Eclipsen.....	156
3.8.1.	Inleiding	156
3.8.2.	Soorten eclipsen	157
3.8.3.	Zonsverduistering	157
3.8.3.1.	Een gehele of totale zonsverduistering	157
3.8.3.2.	Ringvormige of annulaire zonsverduistering.....	157
3.8.3.3.	Gedeeltelijke zonsverduistering	159
3.8.3.4.	Hybride zonsverduistering.....	159
3.8.3.5.	Centrale en niet centrale zonsverduisteringen	159
3.8.3.6.	Hoe gaat het nu in zijn werk ?	159
3.8.4.	Maanverduistering.....	160
3.8.5.	Hoe fotografeert men nu eclipsen ?	161
3.8.5.1.	Inleiding	161
3.8.5.2.	Beeld scherppte	162
3.8.5.3.	Berekening van de pinhole diameter.	163
3.8.5.4.	Berekening diafragma – belichtingstijd	163

3.9. 3D project: ons zonnestelsel	164
3.9.1. Opstellen vergelijking elliptische beweging in de ruimte	164
3.9.2. Formule van de ellips	164
3.9.3. Ontleden van de elliptische baan	165
3.9.4. Aanpassen van de vergelijking	165
3.10. woordenlijst	166
4. Principes van de raketbeweging	168
4.1. Bewegingsvergelijking	168
4.1.1. Rechthoekige beweging	168
4.1.2. Rechthoekige veranderlijke beweging	168
4.1.3. Cirkelvormige beweging	170
4.1.3.1. Omtreksnelheid	170
4.1.3.2. Hoeksnelheid	170
4.1.4. Cirkelvormige veranderlijke beweging	171
4.1.4.1. Omtrekversnelling	171
4.1.4.2. Hoekversnelling	171
4.1.5. Schuine worp	172
4.1.5.1. De veiligheidsparabool	174
4.1.5.2. Schuine worp met luchtweerstand	178
4.1.6. Harmonische beweging of sinusoidale trilling	184
4.2. De aantrekkingswet van Newton	185
4.2.1. Wie was Isaac Newton?	185
4.2.2. De aantrekkingswet	185
4.3. De raketaandrijving	186
4.4. Equivalentieprincipe	190
4.4.1. Inleiding	190
4.4.2. Geschiedenis.....	190
4.4.3. Het moderne gebruik.....	192
4.5. Zwaartekracht	193
4.5.1. Is er zwaartekracht in de ruimte?	194
4.5.2. De zwaartekracht in de omgeving van de aarde.....	195
4.6. Schijnkracht (inertiaalkracht)	199
4.6.1. Schijnkracht	199
4.6.2. Formules	199
4.6.3. Versnelling in rechte lijn	199
4.6.4. Cirkelvormige beweging	200
4.7. Gravitatieconstante	201
4.7.1. Bepaling	201
4.7.2. Toepassing: de gravitatieconstante op de maan	202
5. De eentrap- en meertrapraket	203
5.1. Raketopbouw	203
5.2. Raketwerking	203
5.3. Voordelen	204
5.4. De aandrijving van de raket	204
5.4.1. Inleiding	204
5.4.2. Stuwkracht	204
5.4.3. Behoud van Impuls	205
5.5. Snelheid	207

5.5.1.	Eerste manier voor het bepalen van de snelheid van een raket	207
5.5.2.	Tweede manier voor het bepalen van de snelheid van een raket.....	208
5.5.3.	Snelheid van de ééntrapsraket.....	212
5.5.4.	Snelheid van een meertrapsraket.....	212
5.6.	Optimalisering van de multistage raket	214
5.7.	De raketmotor	215
5.7.1.	Optimalisering van de raketmotor.....	215
5.7.2.	Strap-on booster	216
5.8.	De vloeibare brandstofraket.....	217
5.8.1.	Hoe produceert een motor stuwkracht	217
5.8.2.	Onderdelen van de vloeibare brandstofmotor	218
5.8.3.	Opbouw van de verbrandingskamer.....	220
5.8.4.	Doel van de Injector.....	221
5.8.5.	Ontsteking.....	222
5.8.6.	Verbrandings instabiliteit.....	222
5.8.6.1.	Laagfrequente instabiliteit of puffen.....	223
5.8.6.2.	Middenfrequente instabiliteit of zoemen	223
5.8.6.3.	Hoogfrequentieinstabiliteit	224
5.8.7.	Besturing van de stuwkracht	225
5.8.8.	Verdeelsystemen voor brandstof	225
5.8.9.	Cavitatie	226
5.8.10.	Koeling van de raketmotor	226
5.8.10.1.	Film koeling	226
5.8.10.2.	Dump koeling	226
5.8.10.3.	Regeneratieve koeling.....	226
5.9.	De vaste brandstof raket	227
5.9.1.	Opbouw van de vaste brandstofmotor.....	227
5.9.2.	Werking.....	228
5.9.3.	Chemische werking en samenstelling.....	228
5.9.4.	Vormgeving van de vaste brandstof	228
5.9.5.	Soorten vaste brandstoffen	229
5.9.6.	De homogene vaste brandstoffen	229
5.9.7.	De samengestelde vaste brandstoffen	230
5.9.8.	Voor – en nadelen.....	230
5.9.9.	Toepassingen	230
5.10.	Praktische realisatie.....	231
5.10.1.	Doel.....	231
5.10.2.	Idee	231
5.10.3.	Schema werking.....	232
5.10.4.	Berekening.....	233
5.10.5.	Tekeningen	234
6.	Bewegen door de ruimte en interplanetaire banen.....	235
6.1.	Eigenschappen van kegelsneden	235
6.1.1.	Inleiding	235
6.1.2.	De cirkel	236
6.1.3.	De ellips.....	236
6.1.4.	De parabool	237
6.1.5.	De hyperbool	238
6.1.6.	Afleiding van de vergelijking in poolcoördinaten	239
6.1.7.	Formules voor de excentriciteit.....	241
6.2.	De wetten van Kepler.....	243
6.2.1.	De eerste wet van Kepler.....	243
6.2.2.	De tweede wet van Kepler.....	243

6.2.2.1.	Bewijs:	244
6.2.3.	De derde wet van Kepler	245
6.2.3.1.	Bewijs:	246
6.2.4.	De vergelijking van Kepler	246
6.2.4.1.	Oplossing:	246
6.3.	Energiebalans bij een elliptische beweging	247
6.3.1.	Ontsnappingsnelheid	250
6.3.2.	Snelheden bij de elliptische beweging.....	251
6.3.3.	Karakteristieke snelheden	252
6.4.	Mogelijke banen	253
6.4.1.	De Directe baan	253
6.4.1.1.	Binnenplaneet	253
6.4.1.2.	Buitenplaneet	256
6.4.1.3.	Binnen- en buitenplaneten.....	257
6.4.2.	De Hohmannbaan	259
6.4.3.	De indirecte banen.....	260
6.4.4.	Baancorrectie.....	261
7.	<i>Antikythera Mechanisme</i>	263
7.1.	Inleiding: het mechanisme is een voorloper van onze huidige hardware	263
7.2.	Overzicht tandwielen	264
7.3.	Tijdslijn	264
7.3.1.	2 ^{de} -1 ^{ste} eeuw vChr.	264
7.3.2.	70 v. Chr.	264
7.3.3.	1900	265
7.3.4.	1902	265
7.3.5.	1951	265
7.3.6.	1972-1974	266
7.3.7.	1986	266
7.3.8.	2006	266
7.4.	Tanden berekenen	267
7.4.1.	Methode om het aantal tanden van de brokstukken te bepalen	267
7.4.2.	Bewijs: $1+\lambda=\mu$	269
7.5.	Cyclussen	270
7.5.1.	De cyclus van Metone	270
7.5.1.1.	Theoretisch	270
7.5.1.2.	Algoritme om het aantal synodische maanden per jaar te berekenen	272
7.5.1.3.	Praktisch	273
7.5.2.	De cyclus van Callippus	274
7.5.2.1.	Theoretisch	274
7.5.2.2.	Praktisch	274
7.5.3.	De Saros-Cyclus.....	275
7.5.3.1.	Theoretisch	275
7.5.3.2.	Praktisch	276
7.5.4.	Exeligmos-cyclus	277
7.5.4.1.	Theorie	277
7.5.4.2.	Praktisch	277
7.5.5.	De cyclus van Hipparchus	278
7.6.	Maantheorie van Hipparchus	278
7.7.	Praktische realisatie	280
7.7.1.	Tandwielen	280
7.7.1.1.	Theorie	280
7.7.1.2.	Realisatie	293

7.7.2.	Frontplaat	294
7.7.3.	Achterplaat	295
7.7.4.	Assen	297
7.7.5.	Stukkenlijst.....	297
8.	Website	299
8.1.	Waarom?	299
8.2.	www.gip2009.be.....	299
8.3.	Server one.com	299
8.4.	E-mailadressen.....	301
8.5.	Maken van de website	301
8.6.	Opmaak van de website	302
8.7.	Pagina's van de website	302
8.7.1.	Startpagina.....	302
8.7.1.1.	RSS HTML reader	303
8.7.2.	Onze klas.....	303
8.7.3.	Projecten.....	303
8.7.4.	Verslagen	303
8.7.5.	Fotoalbum.....	304
8.7.6.	Gastenboek	304
8.7.7.	Forum.....	305
8.7.8.	Chatbox.....	306
8.7.9.	Blog	306
8.8.	YouTube kanaal	307
8.9.	CMS Systeem	307
8.10.	Bezoekersaantallen.....	308
9.	Raket.....	310
9.1.	3-D ontwerpen.....	310
9.2.	Buizen.....	310
9.3.	Het parachuteluik	311
9.4.	Andere componenten	311
9.5.	De camera.....	311
9.6.	De batterij.....	311
9.7.	Elektronica van de raket.....	312
9.7.1.	Voorwoord.....	312
9.1.	Elektrisch paneel.....	312
9.2.	Servosyteem	312
9.2.1.	Elektrisch schema	312
9.2.2.	Werkking van servomotoren	314
9.2.3.	Flowcode (besturing servo)	316
9.2.3.1.	Uitleg van het schema	320
9.3.	R-das.....	321
9.3.1.	Aansluitschema van de R-Das	321
9.3.2.	R-das vlieggegevens raket.....	322

9.4. Elektrisch schema raket.....	323
9.5. De parachute	324
9.5.1. Geschiedenis.....	324
9.6. Toepassingen in de ruimtevaart	324
9.6.1. Soorten parachutes.....	325
9.6.1.1. Parasol type	325
9.6.1.2. Conische parachute	325
9.6.1.3. Piramide parachute	325
9.6.1.4. Square parachute	325
9.6.1.5. Ribbon/Ring parachute.....	325
9.6.1.6. De bolvormige parachute	326
9.6.1.7. Ram-air parachutes	326
9.6.1.8. De parapente.....	326
9.6.2. Berekenen van de daalsnelheid	327
9.6.3. De parachute van onze raket.....	327
9.7. Neuskegel	329
9.7.1. Wat is een neuskegel?	329
9.7.2. Soorten neuskegels.....	329
9.7.2.1. Sferische afgestompte kegel	329
9.7.2.2. Sferische afgestompte tangens ogief	330
9.7.2.3. Ellipsvormige	330
9.8. Motorberekeningen	331
9.8.1. Hoe bereken je een straalbuis?	331
9.8.1.1. De straalbuis als open systeem	331
9.8.1.2. Berekenen van straalbuizen met behulp van de continuïteitsregel.....	338
9.8.1.3. Bepalen van de geluidssnelheid in een ideaalgas.....	345
9.8.2. Berekeningen	348
9.8.2.1. Berekeningen Razon.....	348
9.8.2.2. Berekeningen Castor	350
9.8.2.3. Berekeningen Pro 54	351
9.9. Verslag van de lancering.....	352
10. Bibliografie.....	357
10.1. Geschiedenis van de astronomie.....	357
10.2. Waarnemen van het heelal	358
10.2.1. Elektromagnetische straling	358
10.2.2. optische kijkers en Radiotelescopen.....	358
10.2.3. Documenten	359
10.2.4. lichtsterkte en helderheid.....	359
10.2.5. CCD chip en bewegende beelden	360
10.3. Het heelal - zonnestelsel	362
10.3.1. Bronnen: De Big Bang theorie.....	362
10.3.2. Bronnen: Sterevolutie	364
10.3.3. Bronnen: Oorsprong van de chemische elementen	364
10.3.4. Bronnen: Onze zon	364
10.3.5. Bronnen: Planeten - Kometen, Meteoren en Planetoïden	365
10.3.5.1. Internetpaginas:	365
10.3.6. Boeken:	365
10.3.7. Bronnen: Banen van planeten	366
10.3.8. Bronnen: Eclipsen	366
10.3.9. Bronnen: woordenlijst	366
10.4. Principes van de raketbeweging.....	367

10.5.	De eentrap- en meertrapraket	368
10.6.	Bewegen door de ruimte en interplanetaire banen	369
10.6.1.	Internetpagina's.....	369
10.6.2.	Documenten	370
10.7.	Antikythera-mechanisme	371
10.8.	Website.....	374
10.9.	Raket.....	375

1. Geschiedenis van de astronomie

1.1. Geleerden

1.1.1. Pythagoras

1.1.1.1. Levensloop

Pythagoras werd geboren op Samos, een van de toen welvarende Griekse eilanden in de Egeïsche Zee. Hij kreeg er van jongs af aan een goede opvoeding en opleiding. Volgens de overlevering heeft hij veel reizen gemaakt naar Egypte en het Oosten. Hij streefde harmonie en reinheid van de ziel na. Omstreeks 530 v.Chr. stichtte Pythagoras in Crotona een school (die bekend werd door zijn leer van getalverhoudingen) die ook in andere Zuid-Italiaanse steden afdelingen vestigde. Pythagoras en zijn aanhangers hebben een belangrijke invloed uitgeoefend op het openbare en het politieke leven, maar zijn daarbij ook op krachtig verzet gestuit; tegen het eind van zijn leven moest Pythagoras Crotona verlaten en enkele decennia later vond een gehele opstand tegen zijn aanhangers plaats.



1.1.1.2. Ontdekkingen in de astronomie

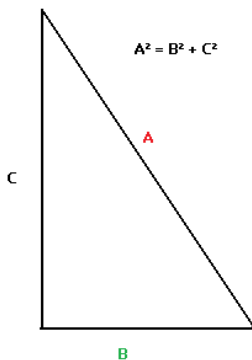
Het is typerend voor Pythagoras dat hij zijn obsessie over getalwaarden makkelijk zou vertalen naar de astronomie. Omdat tien het volmaakte getal was, moest het heelal dus wel uit tien hemellichamen bestaan. Met de vijf toen bekende planeten (Mercurius, Venus, Mars, Jupiter, Saturnus), de zon, de maan, de aarde en het centrale vuur, kwam men maar aan het getal negen. Dan moest er, recht tegenover de aarde, een "tegenaarde" rond het centrale vuur cirkelen. Aarde en tegenaarde cirkelden in de kleinste baan; daarna kwam de maan, vervolgens de zon, en nog verder de planeten.

Het heelal is dus een geordend geheel, een "kosmos". Dit idee van het heelal als kosmos zou een belangrijke bron van inspiratie worden.

1.1.1.3. Andere ontdekkingen

Driehoeken

De stelling zegt iets over de relatie tussen de rechthoekszijden en de schuine zijde (hypotenusa) van alle rechthoekige driehoeken.



De stelling van Pythagoras luidt:

"In een rechthoekige driehoek is het kwadraat van de lengte van de hypotenusa gelijk aan de som van de kwadraten van de lengtes van de rechthoekszijden."

Anders geformuleerd:

$$a^2 + b^2 = c^2$$

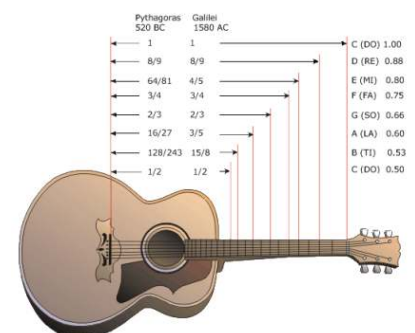
Nog veel belangrijker dan deze stelling was echter het uitgangspunt van de Pythagoreërs dat alles bestaat uit verhoudingen van (gehele) getallen. Geleidelijk drong tot hen door dat er met "hun" driehoek iets niet klopte. Wanneer de korte zijden ervan even lang zijn lukt het met geen mogelijkheid de verhouding tussen de lengte van een korte en van de lange zijde in getallen uit te drukken! Na lang denken vonden zij zelfs een bewijs dat dit onmogelijk is! Met alle macht probeerden zij deze inbreuk geheim te houden. Volgens geruchten werd iemand die dit toch bekendmaakt om het leven gebracht.

Ook een stelling van Pythagoras is de stelling dat in een driehoek de som van de driehoeken altijd gelijk is aan 180° .

Getalverhoudingen

Het idee dat "mooie" getalverhoudingen iets harmonisch opleveren kon Pythagoras aantonen met een aangestreeken snaar. Wanneer je een snaar aanstrijkt en daarna de snaar halveert hoor je twee tonen die heel goed samen klinken. Wij zeggen nu dat deze tonen een octaaf verschillen. De lengteverhouding 2:3 geeft een kwint, 3:4 geeft een kwart. Ook dan zijn de tonen 'consonant'. Op basis van deze getalverhoudingen werd een stemming voor een toonladder gevonden.

Voor de Pythagoreërs corresponderen getallen niet alleen met muzikale fenomenen, maar ook met begrippen en dergelijke: 4 is gerechtigheid (2×2 , gelijk maal gelijk), 5 is huwelijk (eerste verbinding van even = vrouwelijk met oneven = mannelijk). Het volmaakte getal is 10 ($1 + 2 + 3 + 4$).



De voornaamste bijdrage van de Pythagoreërs ligt op het gebied van de getallenleer, terwijl zij de meetkunde in het algemeen op 'aritmatische' wijze beoefenden en daardoor onder meer geen raad wisten met het probleem van de irrationele wortels.

1.1.1.4. Weetjes

De stelling van Pythagoras was alleen maar nieuw voor de Grieken. In Babylonië was het resultaat al veel langer bekend.

Hij was een zeer geoefend lierspeler.

Pythagoras was overtuigd van de onsterfelijkheid van de ziel en onderwees de reïncarnatie. Dat is ook de reden waarom hij geen vlees at; lange tijd werden vegetariërs ook wel pythagoreeërs genoemd.

Pythagoras combineerde voor het eerst wiskunde met theologie (wetenschap van God en het goddelijke die steunt op de openbaring). Deze combinatie zullen we later tegenkomen bij Plato.

Pythagoras stelde zich de getallen voor in bepaalde gedaanten. Hij sprak van vierkante en kubusvormige getallen, van langwerpige, driehoekige en piramidevormige getallen.

1.1.2. Plato

1.1.2.1. leven

(427 tot 347 v.Chr.) Was een Grieks filosoof, auteur van dialogen over zeer diverse onderwerpen. Hij is bekend door zijn ideeënleer, waarmee hij beginner werd van het filosofisch idealisme. Zijn werk, dat in zijn geheel is bewaard gebleven, en waarvan een deel tot de hoogtepunten van de Griekse literatuur wordt gerekend, is altijd veel gelezen en heeft heel veel invloed gehad op de westerse filosofie. Het blijft de vraag in hoeverre wij kunnen zeggen dat we Plato's eigen opvattingen kennen, aangezien hij nergens uit eigen naam spreekt, vaak vragen opwerpt zonder deze te beantwoorden, en niet altijd samenhangend is.

Plato was de zoon van Ariston en Perictione, en was afkomstig uit een van de meest vooraanstaande Atheense families. Twee van mensen van zijn familie waren deel van de Dertig Tirannen (Sparta-vriendelijke Atheense burgers die in 404 v.Chr. in Athene de macht grepen na een revolutie en een bestuurlijke crisis, die volgde op het einde van de Peloponnesische oorlog, die een grote nederlaag voor Athene betekende). Zelf was Plato ook voorbestemd om een rol in de Atheense politiek te gaan spelen, maar als gevolg van deze politieke omwentelingen, en ook als gevolg van zijn ontmoeting met Socrates is dit echter niet gebeurd. Omdat Socrates nooit iets heeft geschreven, en Plato nooit over eigen belevenissen sprak, weten we niets concreets over deze ontmoeting. Maar alles wijst erop dat deze voor Plato van grote betekenis is geweest.

Op latere leeftijd heeft Plato reizen gemaakt. Rond 389 v.Chr ging hij naar Zuid-Italië waar hij in contact kwam met Pythagoreïsche filosofen, onder wie Archytas. Ruim twintig jaar later (na 367. v.Chr) is hij twee keer naar Sicilië gegaan in een poging Dionysios de 2^{de} ervan te overtuigen dat hij zijn politiek op Plato's ideeën moest afstemmen. Dit mislukte, maar hieruit blijkt dat politiek belangrijk was voor Plato. Wat wel gelukt is, is de stichting van een academie geweest. We zijn niet goed op de hoogte wat daar gebeurde, maar men neemt aan dat hier onderzoek werd gedaan, en dat onder andere de geschriften van Plato bediscussieerd werden. Ook werden leerlingen van de academie naar buitenlandse hoven gestuurd als politiek adviseurs. De academie heeft geprobeerd de leer van Plato zo goed mogelijk te bewaren maar is wel een aantal keer veranderd van filosofisch standpunt. Na zijn dood werd Plato aan de academie opgevolgd door zijn neef Speusippos. In het jaar 529 werd de academie op bevel van keizer Justinianus de 1^{ste} gesloten.

1.1.3. Ontdekkingen in de astronomie

De onderwerpen variëren van de 'dialectiek' in het droge tweede deel van de Parmenides tot de pythagoreïserende beschrijving van de structuur van onze kosmos in de Timaeus.

1.1.3.1. Andere ontdekkingen

De vroege dialogen

In de vroege dialogen is, naar men aanneemt, de schildering van Socrates' optreden het meest overeenkomstig met de historische werkelijkheid.

Hier gaat Socrates meestal vragen aan andere personen wat de definitie is van een bepaald algemeen onderwerp, deze andere mensen zijn meestal experts op het gebied van het algemene onderwerp. Zo beschaamd Socrates deze experts aangezien ze nooit het antwoord kunnen formuleren maar voorbeelden geven. Meestal is het ingedeeld in dit schema:

Socrates vraagt: Wat is X?

De experts geven hierop een opsomming van voorbeelden.

Daarna komen de experts toch een definitie

Daarna weerlegt Socrates de stelling door vragen te stellen over de juist geformuleerde definitie

De 'uitkomst' van deze dialogen zijn dus meestal negatief, dit wil zeggen dat de definitie dus niet wordt gevonden, maar de winst is. Volgens Socrates dat de experts niet meer de illusie hebben dat ze het weten. Vanuit Plato's standpunt is het de bedoeling dat ze er verder over filosoferen. Daardoor is de dialoog dus niet zinloos.

De middenperiode

Dit is de Plato die het bekendst is, deels omdat onder de dialogen uit deze periode ook literaire evergreens te vinden zijn, deels omdat in deze periode Plato's beroemde metafysische opvattingen gestalte krijgen.

Zijn overtuiging dat er vaste ethische waarden bestaan, krijgt gestalte in de aanname dat er Ideeën (of 'Vormen') bestaan. Dit zijn onzichtbare, tijdloze, perfecte voorbeelden, waarvan de verwerkelijkingen in de wereld om ons heen slechts zwakke imitaties zijn. In concreto: wij vinden dat een bepaalde handeling rechtvaardiger is dan een andere. Waarom? Omdat de ene handeling meer de Idee 'Rechtvaardigheid' benadert dan de andere. Deze ethische Ideeën zijn dus absolute standaarden, geldig voor alle mensen.

Het wezen van de dingen, dat Socrates trachtte te vinden (in de vroege dialogen) middels zijn pogingen tot definities, vinden we ook terug in de 'Ideeën'. Doordat zij eeuwig bestaan en eeuwig hetzelfde zijn, ziet Plato in hen de enig ware objecten van onze kennis. De zichtbare wereld om ons heen is te veranderlijk om er echte kennis van te kunnen hebben. Aan deze opvatting ligt waarschijnlijk een wiskundig concept ten grondslag: elk vierkant dat wij tekenen, is imperfect. Maar al onze berekeningen betreffende vierkanten, zijn gebaseerd op een perfect, abstract, vierkant. Dit breidt Plato uit tot niet-wiskundige voorwerpen; zo is er een Idee 'Mens', een Idee 'Paard', etc.

Volgens Plato is de mens in staat deze Ideeën te kennen. In de Meno geeft hij hiervoor als verklaring dat onze ziel in een eerder leven de Ideeën heeft aanschouwd, en zich deze weer herinnert (anamnese) als ze, in ons lichaam verblijvend, de flauwe afschaduwingen ervan in de voorwerpen om ons heen ziet. Dit maakt ook dat wij op een gegeven moment zekerheid kunnen hebben dat wij inderdaad iets echt kennen. (Dit in antwoord op het sofistieke dilemma: je kent iets niet. Je wilt het leren kennen. Op een gegeven moment denk je het te kennen. Maar hoe kun je weten dat datgene wat je nu kent hetgeen is wat je zocht te kennen? Dat kende je immers voorheen toch niet?)

Zo zijn echte filosofen ook in staat de Idee 'Rechtvaardigheid' te kennen, en dat is de enige methode om tot een rechtvaardige samenleving te komen. In de ideale Staat zijn filosofen aan de macht, want zij weten wat Rechtvaardigheid is, en kunnen deze dus het best realiseren in de wereld om ons heen. Wakker geschud door de (onrechtvaardige) ter dood veroordeling van Socrates heeft Plato geconstateerd dat er geen rechtvaardigheid heerste in Athene. Om daar iets aan te doen moest niet zozeer het juridische systeem op de keper beschouwd worden, maar de hele maatschappij. In de Staat, een dialoog die begint met het zoeken naar de definitie van 'rechtvaardigheid', wordt de 'ideale' staat beschreven. De selecte groep heersers/filosofen krijgt een zeer gedegen training; verder zijn er wachters, 'soldaten' die de veiligheid moeten garanderen, en de rest van het volk, een driedeling waarmee het optimum wordt bereikt doordat ieder (onder)deel zijn plaats kent (en behoudt), en ieder het zijne doet: het principe van Plato's opvatting van rechtvaardigheid. Bekend is Karl Poppers kritiek op de verder 'communistisch' aandoende inrichting van deze staat (bv. geen privé-eigendom)

Naast deze statische indeling (de waarneembare wereld om ons heen, en een onzichtbare wereld van Ideeën, en onze ziel die een tussenpositie inneemt) beschrijft Plato in het Symposium en in de Phaedrus de dynamische component, eros geheten, een energie (of drift) die ons voortdrijft en ons kan opstuwten in de richting van de Ideeën. Maar deze eros kan ook 'slecht' worden aangewend, en ons doen verlangen naar en hechten aan de zinnelijke wereld om ons heen. Dit dualisme van Plato heeft waarschijnlijk een pythagoreïsche oorsprong (het is bekend dat Plato de Pythagoreeërs in Zuid-Italië heeft bezocht).

De late periode

Plato's werk uit deze periode is minder verheven, idealistisch, en tegelijk ook minder 'literair' en meer 'strikt-filosofisch'. De dialogen zijn nu veel minder uitgewerkte scènes, maar tenderen meer naar vlakke tekst, en daardoor is in sommige gevallen nauwelijks nog sprake van een 'dialoog' tussen personen. Zijn 'metafysica' lijkt nu een minder prominente rol te spelen, - zonder dat hij deze evenwel verwerpt.

Zo draait de Theaetetus vooral rond vraag: Wat is kennis?, zonder dat de anamnese of de Ideeënleer bij de beantwoording betrokken worden. Is kennis hetzelfde als waarneming? Of is kennis hetzelfde als waarneming in combinatie met een soort verantwoording?

Verder werpt hij zelf in de Parmenides kritische vragen op aangaande de consistentie van de Ideeënleer. Doordat de Ideeën ook als morele voorbeelden dienen, is het wellicht wat vreemd dat er ook een Idee van modder bestaat? Toch zou dat logisch gezien wel moeten.

Een open vraag is of er ook Ideeën bestaan van gebruiksvoorwerpen (met bijv. als consequentie dat op het moment dat de 'stoel' werd uitgevonden, de tijdeloze Idee Stoel ontstond? Of is het zo dat de Ideeën van Trein, Vliegtuig, Computer etc. er altijd al waren, maar geduldig wachtten op hun ontdekking door ons?).

Voorts ontwikkelt Plato hier zijn diairesis, de 'methode van onderverdelingen': uitgaande van een deel van de werkelijkheid d.m.v. onderverdelingen komen tot definities. In de Sofist wordt hiermee getracht te komen tot een definitie van de Sofist. Maar een belangrijker onderwerp in deze dialoog is de problematiek van het 'niet-zijnde': als een sofist niet de waarheid vertelt, wat zegt hij dan? Hij zegt datgene wat niet (het geval) is. Kennelijk kan dat, een opvatting waarmee Plato afstand neemt van de zo invloedrijke opvatting van Parmenides dat men niet kan denken wat niet is.

In de Staatsman wordt m.b.v. de methode van onderverdelingen getracht te komen tot de definitie van de politicus. Deze dialoog bevat algemene methodologische beschouwingen, maar handelt deels ook over 'politiek' (staatsvormen), een onderwerp dat Plato in zijn grootste en laatste werk, de Wetten, uitgebreid behandelt. Ook hier lijkt een verdere tendens van minder 'idealisme' ten gunste van 'realisme', waar te nemen.

Daarnaast is er het natuurfilosofische werk, de Timaeus, waarin de activiteiten van een 'demiurg' beschreven worden, die bezig is ons universum te vormen, waarbij de wiskundige structuur die hieraan ten grondslag ligt duidelijk Pythagoreïsche trekken vertoont. Maar hier worden weer wel expliciet de Ideeën genoemd, als het voorbeeld waarnaar onze wereld gevormd is.

1.1.3.2. Weetjes

Bekend is Whiteheads uitspraak dat de Europese filosofie nog het best gekarakteriseerd kan worden als een aantal voetnoten bij het werk van Plato. Deze uitspraak hoeft niet letterlijk genomen te worden, maar geeft goed aan, dat wij ons niet kunnen voorstellen hoe het met de filosofie zou zijn verlopen, als Plato er niet was geweest. Zoals bij hem allerlei lijnen van eerdere denkers samenkomen, zo vertrekken vanuit zijn werk talloze lijnen, die, te beginnen met Aristoteles (die twintig jaar aan Plato's academie heeft verbleven), opgepakt en uitgewerkt zijn door vele anderen.

1.1.4. Aristoteles

1.1.4.1. Levensloop

Aristoteles (van 384 tot 322 voor christus) was een Grieks filosoof en wordt met Socrates en Plato beschouwd als een van de invloedrijkste klassieke filosofen in de westerse traditie. Hij was lid van Plato's filosofische Academie en er zijn dus ook invloeden aanwezig van hem in Plato zijn werken.

Aristoteles werd geboren als zoon van de befaamde arts Nicomachus, lijfarts van koning Amyntas III van Macedonië de grootvader van Alexander de Grote. Een paar jaar later is Aristoteles wees geworden. Daarna werd hij opgevoed door zijn oom Proxenus. Op zeventienjarige leeftijd vertrok hij naar Athene en werd als leerling opgenomen in Plato's Academie, die hij pas twintig jaar later na Plato's dood weer verliet.

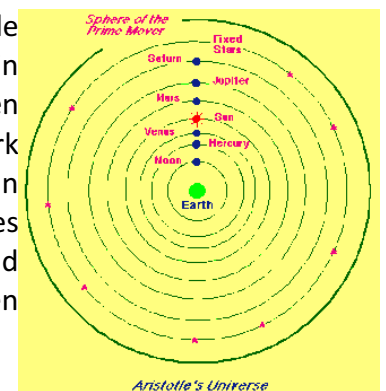
Ook was hij een totaal wetenschapper omdat hij bekwaam was in de alle toenmaals bekende wetenschappen (filosofie, psychologie, politieke en sociale wetenschappen, wiskunde en natuurwetenschappen, taal- en letterkunde, theater...).

Na zijn vertrek werkte hij als docent tot hij ontboden werd door koning Philippus II naar Macedonië om als privéleraar van Alexander de Grote (die toen veertien was) te werken.

Als gevolg van een anti-Macedonische reactie na het plotse overlijden van Alexander de Grote (in 323 v.Chr.) werd hij als collaborateur beschouwd en aangeklaagd wegens goddeloosheid. Toen verliet hij Athene en vertrok naar het landgoed van z'n moeder. Daar stierf hij een jaar later aan de gevolgen van een maagkwaal op eenenzestigjarige leeftijd. Uit zijn testament blijkt dat Aristoteles een zorgzaam huisvader en een humaan meester voor zijn slaven was. Enkele van zijn vrienden hebben hem zijn leven lang trouw gevolgd.

1.1.4.2. ontdekkingen in de astronomie

Veel van het oorspronkelijke werk is verloren gegaan in de eeuwen na zijn dood. Onder de verloren werken behoren ook zijn dialogen, de enige teksten die door Aristoteles zelf uitgegeven waren. Vermoedelijk is slechts ongeveer 1/5 van het totale werk bewaard gebleven en bij ons bekend. De bewaarde werken van Aristoteles (nog altijd zeer uitgebreid) zijn meestal cursusnotities en lesvoorbereidingen voor eigen gebruik, en waren niet bedoeld om uit te brengen. Dit is de reden voor de schematische en abstracte teksten die men nu heeft van Aristoteles.



In zijn visie van de astronomie bestaat de wereld uit de vier elementen aarde, water, lucht en vuur, omgeven door de ether, het z.g. 'vijfde lichaam', en daarbuiten 55 concentrische sferen, waarvan de buitenste die van de vaste sterren zou zijn. De uiterste sfeer is in zijn visie God.

1.1.4.3. Andere ontdekkingen

Aristoteles bestudeerde iedere wetenschap die toen bestonden, en in elk van deze vakken is zijn bijdrage aanzienlijk. Toch zijn er erg vele filosofische onderdelen door hem behandeld.

Als voorbeeld:

- De slimste mens is degene met de kennis van onderscheid, maar die niettemin bewust "normaal" doet, aangezien dat meer geaccepteerd wordt.
- Er bestaat geen ideale staat want dit verschilt van omstandigheden tot omstandigheden, dus de best mogelijke staat moet rekening houden met al deze omstandigheden.

Aristoteles hanteerde een analytische, inductieve manier van denken: het destilleren van een algemeen geldende waarheid uit het doen en laten van het individu en de waarneembare werkelijkheid. Daarvan uitgaande bestudeerde hij ook een groot aantal zaken in onder andere bewegingen (wordingen) in de natuur en de biologie, en kwam onder de indruk van de ordening en doelmatigheid daarin. Dit bracht hem tot de uitspraak "De natuur doet niets vergeefs".(wikipedia 13/11/'09)

Hij zocht naar algemeen geldende principes, gebaseerd op waarneembare feiten, die hij vervolgens toepaste en onderzocht in afzonderlijke gevallen.

Veertien van zijn werken zijn gebundeld in zijn *Metafysica*, gericht op onderzoeken van het 'zijn'. Volgens hem is het slechts mogelijk dat het Platonische 'idee' slechts in de afzonderlijke dingen kan waar zijn, en niet als transcendente werkelijkheid, zoals Plato dat zag. Hij verschilde met Plato dus van mening over het bestaan van universalia (algemeen eerlijke begrippen) waarvoor in de wereld geen voorbeeld te vinden was.

In Aristoteles' visie zijn alle dingen met het verstand en logica te begrijpen. Hiermee sluit hij aan bij Socrates gedachte over het weten van de algemene waarheden over goedheid en deugd.

(wikipedia 13/11/'09)

1.1.4.4. Weetjes

Nadat hij aan Alexander de Grote had les gegeven keerde hij in 335 v.Chr. naar Athene terug, waar hij dertien jaar lang in de Peripatos (wandeling) van het Lyceum heeft gedoceerd. Daarom wordt hij de stichter van de "Peripatetische School" genoemd. Ook is Aristoteles de grondlegger van de deugdethiek.

1.1.5. Aristarchos

1.1.5.1. Levensloop

Aristarchus van Samos (van 310 tot 230 voor Christus) was een Grieks astronoom en was in de leer gegaan bij Strato van Lampsacus. Hij was de eerste astronoom die een heliocentrisch model van de "kosmos" voorstelde en wel gebaseerd op beredeneerde gronden. Maar niemand zag iets in zijn ideeën.

1.1.5.2. Ontdekkingen in de astronomie

Er is maar 1 werk bewaard gebleven van Aristarchus. In deze studie beweert hij dat de afstand tussen de aarde en de zon twintig maal groter is dan de afstand tussen de aarde en de maan. Dit doet hij door de hoek te meten tussen de zon, maan en aarde. En op hetzelfde moment de hoek tussen de maan, aarde en zon te berekenen (deze berekeningen doet hij wanneer de maan halfvol is). Zo kon hij de relatieve afstanden berekenen.

In dezelfde studie heeft hij ook de diameters tussen de maan en de aarde vergeleken. Dit deed hij door de schaduw te bekijken bij een maansverduistering. Door deze schaduw te bekijken heeft hij berekend dat de diameter van de aarde 3 maal zo groot is dan die van de maan. Het is eerder 3,7 maal maar toch is dit redelijk dichtbij.

Volgens Aristarchos zijn berekeningen is de zon verder weg dan de maan en aanzienlijk groter dan de aarde, Aristarchos kwam uit op zeven keer! Op grond hiervan kwam hij tot de conclusie dat de aarde om de zon draait.

Dus volgens hem was de zon het centrum van het heelal, bewoog de aarde in één jaar om de zon en in één dag om haar eigen as en was de sfeer van de sterrenhemel onbeweeglijk en oneindig ver weg. Ook meende hij dat de maan geen licht uitzond, maar slechts het zonlicht reflecteerde. Het is echter niet zeker of hij het heliocentrisme slechts als hypothese overwoog of als bewezen propageerde zoals Seleucus van Seleucia had gedaan. (bron wikipedia 14/11/'09)

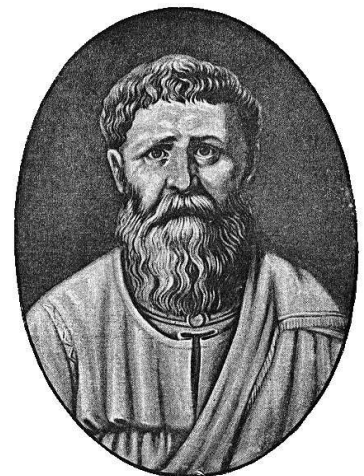
1.1.5.3. Weetjes

100 jaar voor Aristarchus heeft een soortgelijke astronoom beweerd dat de zon een brandende bol was en dat zo de maan licht kreeg en hij werd verbannen. Keppler nam later dat idee over. We weten alleen dat Aristarchus heliocentrische ideeën had door citaten van latere geleerden. Ook is de Aristarchus krater op de Maan is naar hem vernoemd.

1.1.6. Augustinus van Hippo

1.1.6.1. Levensloop en situering

Augustinus was geboren en getogen in wat toen het West-Romeinse provincie Afrika warme, tegenwoordig noemt men het noord-oosten van Algerije en Noord-Tunesië ook wel de Aures. Hij werd geboren in het provinciestedje Thagaste (Souk-Ahras) als zoon van ene Patricius, een raadsheer en Monica, een strenge christelijke moeder. Hij overleed in Hippo Regius (Annaba), waar hij van 396 tot zijn dood bisschop was.



Zijn ouders hadden het financieel niet breed, maar deden hun best om hem de beste opvoeding van die tijd te geven. Augustinus genoot lager en hoger onderwijs in Thagaste en Madaura. Na de vroege dood van zijn vader liet moeder Monica (financieel gesteund door anderen) hem studeren. In 375, op 21-jarige leeftijd, werd hij leraar in zijn geboorteplaats, en het jaar daarna vestigde hij zich in Carthago als leraar in de "retorica". In 383 verhuisde hij naar Rome, waarna hij in 384 tot "retor" aan het hof in Milaan werd gepromoveerd. In 386 bekeerde hij zich tot het christendom. Hij werd met Pasen in 387 door Ambrosius, de bisschop van Milaan, gedoopt. Daarna keerde hij terug naar zijn geboorteplaats in Afrika. Daarna hield hij zich een paar jaar bezig met Bijbelstudie. In 391 -half tegen zijn goesting- wilde hij tot priester gewijd worden (dat gebeurde) en in 395 zelfs tot medebisschop (met het recht van opvolging van de bisschop van Hippo Regius). Van 396 tot zijn dood in 430 was hij bisschop van de Kerk van Hippo Regius. Ook in die functie bleef hij een sober kloosterleven leiden in zijn bisschoppelijke woning . Hij stierf in 430 tijdens het beleg van en vlak voor de inname van Hippo door de Vandalen. Hij moedigde de mensen aan om zich te verzetten tegen de vandalen, vooral omdat de Vandalen een Ariaanse variant van het christendom aanhingen, die Augustinus als kettters beschouwde .

1.1.6.2. Ontdekkingen in de astronomie

Uit het boek "eeuwen verkennen het heelal" door Jean E. Charon

"Ik geloof dat de zon rond de aarde beweegt", zegt Augustinus, "maar zou ik niet tot een omgekeerde opvatting komen, wanneer ik een beetje meer van het heelal afwist?". En dit zoeken naar kennis is een bodemloze put, er zullen altijd onmetelijk veel dingen zijn die men niet kent. Welnu wat voor nut heeft het dan?

"Laten we daarom", zegt Augustinus, en alle geleerden nu hem dus ook (de helle periode van de middeleeuwen), "de ogen sluiten en laten we ons de wereld voorstellen als een plaats die aan de mens is aangeboden om te mediteren: waarom moeten we aannemen dat de wereld rond is? Heeft de vloer van onze huizen deze vreemde vorm? Laten we liever aannemen dat de aarde plat is. Als de aarde een vorm moet hebben, laten we ze dan die geven van de heilige tent. Laten we bijzonderheden in de heilige boeken en vooral in de Bijbel zoeken

Zo stelde Augustinus zich een wereld voor die plat was en omringd was met water en twee grote eilanden erin. De wereld waar ze leefden en de wereld waar hun voorvaders leefde voor dat Noach hen naar de wereld van nu bracht.

1.1.6.3. Andere ontdekkingen

We lezen in "Belijdenissen" geschreven door Augustinus.

"Er bestaat nog een ander soort bekoring, die noch meer gevaren bezat (in het voorgaande had hij gesproken over die van het vlees) ... namelijk de geheimen van de natuur, de geheimen die zich boven ons bevinden, te ontdekken, welke van onze geheimen geen nut kunnen zijn en die de mensen alleen onderzoeken wegens hun verlangen om ze te kennen ... In dit onmetelijk bos, vol valkuilen en gevaren, heb ik al veel afgesneden en uit mijn hart gerukt... Te midden van al die dingen die in mijn dagelijks leven zich rondom mij bevinden, sta ik nooit verwondert over een van deze en word ik nooit gevangen door de echte begeerte om ze te bekijken... ik bekommer mij er niet meer om de loop van de hemellichamen te kennen..."

Dit betekent niet, dat Augustinus in het diepste van zijn hart geen kosmoloog was.

1.1.6.4. Weetjes

Van Augustinus is de uitspraak "Goed zingen is dubbel bidden". Hij doelde daarmee niet letterlijk zuiver zingen en maat houden, maar wel op zuiver van hart zingen. Of zingen om je hart te luchten.

Een bekend citaat uit zijn beroemde werk *De Civitate Dei* (IV, 4) luidt: "Remota iustitia quid sunt regna nisi magna latrocinia?" (Latijn voor: Wanneer de gerechtigheid opzij geschoven is, wat zijn koninkrijken anders dan grote roversbenden?). Dit betekent simpelweg dat je nooit met zekerheid kan zeggen wie goed doet en wie slecht.

Een ander bekend citaat: "Voor God is niets veraf of langdurig. Wil je, dat voor jou niets veraf of langdurig is, voeg je dan bij God, want daar zijn duizend jaar als de dag van heden".

Het beroemdste citaat is uit de *Belijdenissen*: "Gij hebt ons naar U toe geschapen, en rusteloos is ons hart tot het rust vindt in U." (*Belijdenissen*, 1, 1,1)

1.1.7. Nicolaas Copernicus

1.1.7.1. Levensloop en situering

Nicolaus Copernicus (geboren op 19 februari 1473, getogen in Thorn, huidig Toruń, gestorven 24 mei 1543 Frauenburg, huidig Frombork) was naast kanunnik een belangrijk wiskundige, arts, jurist en sterrenkundige die bekend is geworden door zijn heliocentrische theorie van het zonnestelsel.



Biografie

Hij werd geboren en getogen in Thorn (Pools: Toruń) in West-Pruisen. Zoals in die tijd gebruikelijk onder geleerden (men schreef immers ook in het Latijn), gaf hij zichzelf een gelatiniseerde vorm van zijn naam: Nicolaus Copernicus.

Zijn vader Niklas Koppernigk, een rijke koperhandelaar, stierf in 1483, Copernicus was toen tien jaar. Van zijn moeder, Barbara Watzenrode, is weinig bekend. Blijkbaar stierf zij eerder dan haar echtgenoot. In ieder geval nam haar broer, Lucas Watzenrode, de opvoeding van de jonge Nicolaus op zich. De positie van zijn oom hielp Copernicus in zijn kerkelijke carrière, zodat hij tijd over hield voor zijn hobby: sterrenkunde.

Opleiding

In 1491 schreef Copernicus zich in op de universiteit van Krakow, waar hij theologie, Klassieke talen en astrologie / astronomie (een hele pak dus) studeerde. Op het einde van 1496 ging hij naar Italië. Daar studeerde hij kerkelijk en burgerlijk recht aan de universiteit van Bologna (een hele pak dus). Hij leerde daar Domenico Maria Novara da Ferrara kennen, een hoogleraar wiskunde en astronomie, bij wie hij -de snoeper- ook een kamer zou huren. Zij assisteerde hem ook bij zijn onderzoek, en zo deed zijn eerste waarnemingen. Naast zijn hoofdstudie rechte streefde Copernicus gewoon verder en legde zich toe op de wiskunde en astronomie. In 1497 werd Copernicus in opdracht van zijn oom aangesteld als canon bij de kathedraal van Frauenburg, een job die hij alleen voor het geld deed.

Dit keer ging Copernicus niet naar Bologna, maar ging studeren in Padua, omdat die een goede naam had op medisch gebied. Naast medicijnen deed Copernicus ook astrologie, wat normaal was in die tijd, en in 1503 promoveerde Copernicus dan uiteindelijk toch in de rechten aan de Universiteit van Ferrara. Na enkele maanden zou hij nog wel terugkeren naar Padua, maar zijn studie geneeskunde zou hij niet meer afronden.

In 1505 keerde hij terug naar Frauenburg.

Geestelijke

Toen Copernicus in 1505 terugkeerde in Frauenburg moest hij als canon toch eens werken. Maar wederom kreeg hij hiervan vrijstelling, om zijn oom medisch te assisteren. In 1509 deed Copernicus zijn eerste boek, een Latijnse vertaling van een set Griekse gedichten van

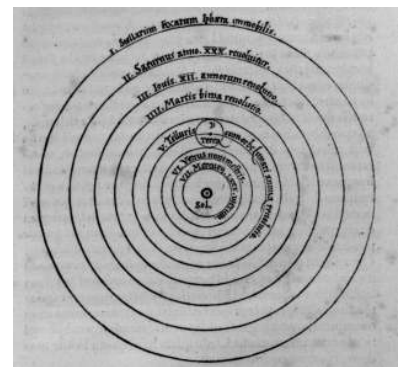
Theophylactus Simocattes. Na de dood van zijn oom in 1512 hervatte Copernicus zijn werkzaamheden als canon, maar had nu wel veel tijd voor astronomische observaties, aangezien zijn kamers ook een astronomisch observatorium (een plaats om de atmosfeer te bestuderen) hadden.

In 1514 bracht Copernicus een klein werkje uit waarin hij zijn visie op het heelal uiteenzette, met een zevental axioma's, waarop hij zijn conclusies zou baseren. Het handgeschreven boekje dat hij alleen onder zijn vrienden verspreide (en dat ook zijn naam niet bevatte) handelt over onder meer het centrum van het heelal en de beweging van hemellichamen en de aarde. Gezien het feit dat Copernicus was uitgenodigd bij het Vijfde Lateraans Concilie als expert op het gebied van astronomie (om de kalender te verbeteren), was destijds al bekend dat Copernicus kennis had van de beweging der hemellichamen. Overigens koos Copernicus ervoor om niet te gaan, maar per brief te antwoorden.

Door oorlog was Copernicus voor een bepaalde tijd, tot ongeveer 1520, niet goed in staat om zijn observaties te vervolgen. Hij kreeg de taak om de defensie van Frauenburg te organiseren op administratief gebied weliswaar, en nam tussentijds deel aan (mislukte) vredesonderhandelingen. Toen in 1521 de vrede terugkeerde werd Copernicus aangesteld om de herstelwerkzaamheden te leiden samen met zijn vriend Tiedemann Giese, ook een canon. Copernicus zou altijd een canon blijven, en nooit priester worden, hoewel dit wel gewenst werd door zijn meerderen/bazen.

1.1.7.2. Ontdekkingen in de astronomie

Nicolaas Copernicus wordt beschouwd als de grondlegger van de heliocentrische theorie, die stelt dat de zon in het midden van het zonnestelsel staat en dat de planeten er omheen draaien. (Hij was daarmee niet de eerste; in de Oudheid was Aristarchos van Samos tot dezelfde conclusie gekomen.) Dit in tegenstelling tot het destijds gebruikelijke geocentrische wereldbeeld, waarbij de aarde en mensen met een dikke nek werden geacht het centrum van het heelal te vormen. Wel bleef hij bij het idee van Claudius Ptolemaeus dat de planeten éénparige cirkelbewegingen (ECB) maken. Copernicus' model bevatte nog enkele tientallen kleine epicykels (dit zijn correctieve hulpcircels om de banen van de planeten kloppend te maken met de waarneming).



Ook ging hij ervan uit dat alle sterren zich op enorme afstand van de aarde bevinden, ver buiten de baan van de planeten. In gedrukte vorm werd zijn systeem pas gepubliceerd in de *Narratio prima* (1540) van Rheticus. Copernicus schreef in 1530 een groter manuscript, *De revolutionibus orbium coelestium* (Over de omlopen van de hemellichamen).

Omdat deze theorie in tegenspraak was met de toenmalige leer van de rooms-katholieke Kerk die het wereldbeeld van Aristoteles en Ptolemaeus aanhing of omdat hij bang was voor de kritiek van de gevestigde wetenschappelijke orde, aarzelde Copernicus lang over publicatie. Pas na tussenkomst van de jonge astronoom Rheticus (Georg Joachim von Lauchen) uit Wittenberg stemde Copernicus in met de publicatie. Hij gaf een vriend zijn

manuscript mee voor Rheticus, die het uiteindelijk in 1543 liet drukken in Neurenberg. Volgens de "legende" kreeg Copernicus het eerste exemplaar op zijn sterfbed overhandigd. De uitgever Osiander had er een voorwoord aan toegevoegd, met de strekking dat het heliocentrische wereldbeeld vooral moet worden gezien als een wiskundig model en niet als de realiteit. Het is waarschijnlijk door dit voorwoord dat de onrust die het heeft veroorzaakt binnen de Kerk relatief beperkt is gebleven. In 1616 kwam het werk dan toch op de Index te staan.

1.1.7.3. Weetjes

Tal van varianten van de naam van 'Copernicus' zijn vroeger gebreukt. Tot het midden van 1530, ondertekende hij meestal zelf Coppernic. Daarna volgde hij de academische gewoonte van zijn tijd en heeft een Latijnse versie van zijn naam. Zo op de titelpagina van zijn baanbrekende boek, *Nicolai Copernici Torinensis De revolutionibus orbium coelestium Libri VI*, de naam van de astronoom verschijnt als Nicolaus Copernicus.

In 1776, herleidde Johann Gottfried Herder de spelling naar Nikolaus Kopernikus, die elk c met k vervangde en veranderde pp door p. Deze spelling werd populair in de Duitse geschriften, hoewel geleerden pleiten voor Coppernicus. De Poolse rendering is Mikolaj Kopernik, de naam betekent "iemand die werkt met koper".

1.1.8. Tycho Brahe



1.1.8.1. Levensloop en situering

Tycho Brahe, werd geboren op 14 december 1546 in Knudstrup (Denemarken). Hij kwam uit een rijke familie en was bovendien van adel. Toen Brahe 13 jaar was ging hij naar Kopenhagen om daar filosofie te studeren. De zonsverduistering in het jaar 1560 zorgde voor zijn interesse in de astronomie. Hij studeerde verder in Leipzig, Rostock en Bazel. In Rostock veroorzaakte hij een ruzie met een medestudent, wat leidde tot een duel. Maar Tycho kwam er slecht vanaf. Hij werd gewond aan zijn neus, wat de oorzaak was van een groot litteken, waardoor hij de rest van zijn leven dat litteken moest verbergen door een koperen plaat. In 1570 keerde Brahe terug naar Denemarken. Daar begon hij aan zijn natuurwetenschappelijk en astronomisch werk. Hij kreeg de steun van Frederick II van Denemarken om twee sterrenwachten te bouwen op het eiland Hven, hier werkten meer dan 100 mensen, onder andere Willem Blaeu en Adriaan Metius. Toen Frederick II, in 1588 stierf verminderde de financiële steun. In de daarop volgende elf jaar kreeg Tycho problemen met de kerk, adel en de koning (Christian IV). In 1579 verliet hij Hven en na twee jaar vestigde hij zich in Praag. Daar kreeg hij steun van Rudolf II. Rond 1600 kreeg hij hulp van Johannes Kepler, die na zijn dood, Tycho's werk verder zette.

1.1.8.2. Ontdekkingen in de astronomie

De Stella Nova

In zijn boek, De Stella Nova schreef hij al zijn waarnemingen in de ruimte en dat voor dat de sterrenkijker werd uitgevonden. In november 1572 ontdekte Tycho een supernova in het sterrenbeeld Cassiopeia. Al zijn waarnemingen waren de basis voor Kepler's werkelijke beweging van de planeten.

Wereldbeeld volgens Tycho Brahe

In 1588 publiceerde Tycho zijn boek de Mundie Aetherei Recentioribus Phaenomenis, daarin beschreef hij een universum met als middelpunt de kosmos. Omheen de aarde draaiden de maan en de zon in perfecte cirkelbanen. Rond de zon draaiden de planeten. Tycho deed dit omdat hij dacht dat zwaartekracht enkel voorkwam op de aarde en niet daarbuiten.

Later zou Kepler, het wereldbeeld van Tycho aanpassen en uiteindelijk voor het heliocentrische wereldbeeld kiezen, waar hij dan zijn wetten zou op baseren.

Instrumenten

Omdat er in die tijd nog geen sprake was van telescopen, moest Tycho het stellen met sextanten en quadranten. Op Hven bouwde hij zeer grote sextanten en Quadranten die in staat waren om te meten op twee boogminuten nauwkeurig. Ook beschikte hij over uurwerken die tot op de seconde nauwkeurig waren. Met de hulp van deze instrumenten maakte hij een catalogus waar meer dan 1000 sterren in stonden.

1.1.8.3. Andere ontdekkingen

Naast de astronomie, hield Tycho zich ook bezig met alchemie. Zijn instrumenten waren vaak gemaakt uit kwik en andere chemische producten.

1.1.8.4. Weetjes

Zijn dood

Volgens een x-ray scan toonde men in 1996 aan dat hij een klein restje kwik in een haarzakje had. Bekend was dat hij kwik gebruikte om zijn instrumenten van een goudlaagje te voorzien.

Wellicht had hij een hoge dosis kwik binnengekregen wat hem onwel maakte en hoge koorts veroorzaakte waaraan hij stierf.

Zijn neus

Volgens sommigen werd hij begraven met een goud/ zilveren prothese, maar toen ze in 1901 het graf van Tycho opende. Zag men een teken van geroest koper, aan de schedel.

1.1.9. Galileo Galilei

1.1.9.1. Levensloop en situering

Galileo Galilei werd geboren en getogen in Pisa in 1564. Hij ging ook studeren in Pisa van 1581 tot 1587. Hij werd in 1589 benoemd tot professor op die universiteit. Maar in 1591 stierf de vader van Galileo. Galileo moest toen voor zijn familie zorgen als oudste kind. Daarom moest hij bij gaan verdienen, omdat de baan als professor niet goed verdiende om een heel gezin te onderhouden. Dus hij ging bijles geven in de wiskunde en de sterrenkunde. In 1592 moest Galileo bij de universiteit in Pisa weg, dus werd hij op de universiteit in Padua professor in de wiskunde en scheikunde. Hij had geluk want op die universiteit verdiende hij drie keer meer dan op de universiteit in Pisa.

Uiteraard deed Galileo zelf ook onderzoek naar de hemellichamen, anders zou hij hier niet vermeld zijn, en alles wat daar bij hoorde. Het belangrijkste instrument dat Galileo gebruikte bij het bestuderen van de hemellichamen was een telescoop die oorspronkelijk uit Nederland afkomstig was. Deze was door hem zelf verder ontwikkeld en verbeterd. De werking van deze telescoop had hij al in 1609 op de bovenste verdieping van de campanile aan de verblufte senatoren van Venetië laten zien. Aristoteles schreef namelijk dat een zwaar vallend lichaam altijd eerder beneden was dan een licht lichaam. Galileo wilde het tegendeel bewijzen en hij liet tegelijk twee kanonskogels vallen van verschillend gewicht om te laten zien dat Aristoteles niet gelijk had. En Galileo had gelijk, de kanonskogels kwamen precies gelijk beneden. Dat bleek zo'n succes, dat hem een professoraat voor het leven in de wiskunde werd aangeboden. Het bericht van dit geweldige resultaat maakte Galileo in de wijde omtrek beroemd en zijn telescoop was in heel Europa al snel gewild. Doordat hij nu zoveel mogelijk ideeën en inzichten zag met zijn telescoop, zette Galileo zich onmiddellijk aan het beschrijven van zijn spectaculaire ontdekkingen.

Al in 1610 kon hij zijn werk 'De bode der sterren' tonen. Hierin werd voor het eerst beschreven dat de Melkweg uit een groot aantal sterren bestaat, en dat het maanoppervlak vol kraters, bergen en kloven zit. Bovendien schreef Galileo over de sensationele ontdekking van vier manen die rond Jupiter draaiden. Hij werd al snel benoemd tot officieel wiskundige en filosoof van de groothertog van Toscane. Maar omdat hij bekender werd kwam er ook kritiek op zijn werk. Hierdoor werd hij uiteindelijk zelfs aangeklaagd vanwege goddeloosheid en zelfs Paus Urbanus VIII was zeer ontstemd. Het proces tegen Galileo Galilei is zelfs als 'grootste schandaal van het christendom' de wereldgeschiedenis ingegaan.

Uiteindelijk zou bij hierin natuurlijk gelijk krijgen, al werd het werk van Copernicus pas in 1835 van de index gehaald, en werd de ban van de kerk over Galileo pas in 1993 officieel

1.1.9.2. Ontdekkingen in de astronomie

bron <http://www.devalvangalilei.be/files/Leven/Florence/Dialogo.htm>
geraadpleegd op 16/06/2010

Il Dialogo

Drie hoofdrolspelers, de wiskundige Salviati, Sagredo (de man met het vele gezond verstand) en de Aristoteles-aanhanger Simplicio gaan in discussie over de verschillen tussen het geocentrisch wereldbeeld van Aristoteles en het heliocentrisch wereldbeeld van Copernicus. De discussie duurt vier dagen.

Dag 1: de onveranderlijkheid van de hemel

- De werkelijkheid heeft drie dimensies. Het theoretisch bewijs van Aristoteles en het praktisch bewijs van Salviato worden vergeleken.
- Een centraal thema in dit hoofdstuk is het door Aristoteles uitgedachte wereldbeeld met daarin een fundamenteel onderscheid tussen de hemel en de aarde.
 - De hemel is onveranderlijk, ondoordringbaar, onvergankelijk, ...; de aarde ondergaat continu veranderingen, mutaties, ...
 - De cirkelvormige beweging van de hemellichamen is perfect en eeuwigdurend. De aarde staat stil in het universum. Het dag-nacht ritme is een gevolg van de beweging van de zon rondom de aarde.
 - De aarde staat centraal in het universum, zware lichamen vallen naar het middelpunt van de aarde lichte lichamen (vuur, lucht) vliegen van de aarde weg. Dit zijnde natuurlijke bewegingen van Aristoteles. De hemellichamen zijn hier niet onderhevig, zij zijn noch licht, noch zwaar.
 - De hemellichamen (de zon, de maan en de planeten) zijn onveranderlijk. De maan bestaat uit een perfect glad, spiegelend boloppervlak.
 - De hemellichamen geven licht, de aarde is donker. De maan bijvoorbeeld weerkaatst als een spiegel het zonlicht naar de aarde en zorgt zo voor zijn schijn gestalten. Het niet-verlichte gedeelte van de maan is ook licht zichtbaar doordat het maanoppervlak zelf ook een zwak licht uitzendt (het zogenaamde secundaire licht).
- Salviati ondergraft bijna al deze elementen aan de hand van de laatste astronomische waarnemingen (waarvan het merendeel van de hand van Galilei zelf zijn), schitterend opgebouwde redeneringen en een aantal optische experimenten die tijdens de discussie worden uitgevoerd. Hij overtuigt Sagredo en met wat meer moeite ook Simplicio van de vele inconsistenties in het wereldbeeld van Aristoteles. Salviati blijft wel mild voor de figuur van Aristoteles. Hij herhaalt herhaaldelijk dat Aristoteles met het nieuwe bewijsmateriaal zijn conclusies zeker zou gewijzigd hebben. Hij wijst wel herhaaldelijk Simplicio terecht dat die zich enkel en alleen wil baseren op de autoriteit van Aristoteles en zijn aanhangers en het nieuwe bewijsmateriaal niet grondig wil onderzoeken.
- Interessant is ook het gebruik van het begrip 'impetus' (de voorloper van het impulsbegrip) om een elementaire vorm van de recentere wet van energiebehoud te beschrijven. Een lichaam zal in verliesloze omstandigheden even hoog naar boven kunnen rollen, glijden, vliegen dan het naar beneden is gerold of gevallen. Dit wordt samengevat in een rechthoekige driehoek ABC, waarbij een bal die langs

de zijde CB valt beneden (in het punt B) evenveel snelheid of impetus heeft als dezelfde bal in het punt A nadat hij van wrijvingsloos oppervlak CA is geroled.

- Het begrip ogenblikkelijke snelheid en het begrip versnelling wordt aangebracht door Salviati.
- De traagheidswet van Galilei wordt bediscussieerd. De natuurlijke bewegingen van lichamen zijn de rusttoestand of de cirkelvormige beweging. Bemerkt dat Galilei het nog niet heeft over de eenparig rechtlijnige beweging. Het is Descartes die deze wetmatigheid heeft verbeterd.
- De discussie over de maan is grondig uitgesponnen en heel leerrijk om te volgen. Vooral de inzichten over het secundaire licht van de maan en de lichte verschillen die er zijn vlak voor en vlak na nieuwe maan waren volledig nieuw voor mij. Deze discussie zou een standaard onderdeel in een cursus optica moeten zijn.

Dag 2: de aarde draait rond haar as

In het wereldbeeld van Aristoteles staat de aarde stil en draaien de hemellichamen rond de aarde van oost naar west. De Copernicus heeft een draaiende aarde nodig in zijn wereldbeeld.

- De centrale redenering van Salviati gaat als volgt. De dagelijkse beweging van de hemellichamen rondom de aarde is dezelfde voor al de hemellichamen buiten de aarde. Het lijkt dus logischer en eenvoudiger om aan te nemen dat het de aarde is die rond haar as draait i.p.v. te veronderstellen dat al die hemellichamen met onvoorstelbare snelheden rond de aarde draaien. Salviati heeft hier een mooie metafoor voor. Neem dat je op een berg klimt en het uitzicht hebt over een stad en het landschap errond. De Aristotelianen kijken naar dit landschap door het landschap rond de berg te laten draaien. Iemand die de theorie van Copernicus aanhangt draait gewoon zijn hoofd.
- Enkele andere argumenten van Salviati:
 - De dagelijkse snelle beweging van de hemellichamen (van oost naar west) is tegengesteld aan de trage beweging van de planeten in hun baan (van west naar oost).
 - Planeten die verder weg zijn hebben een langere omlooptijd dan planeten die dichterbij zijn. De dagelijkse beweging is voor alle hemellichamen dezelfde.
 - Sommige sterren (die in het vlak van de evenaar liggen) zouden met grote snelheden rond de aarde bewegen, terwijl andere sterren (vb. de poolster) bijna stil mogen blijven staan.
 - ...
- Hieronder worden enkele argumenten van Aristoteles tegen de dagelijkse beweging van de aarde opgesomd.
 - Een ronddraaiende beweging van de aarde is geen natuurlijke beweging want dan zouden al zijn delen deze beweging hebben. Toch zien wij dat deze delen enkel een beweging naar het centrum hebben. De ronddraaiende beweging is dus een gedwongen beweging en deze kan niet voor altijd duren.
 - Elke dag opnieuw zien we de sterren rond de aarde draaien.

- Een voorwerp dat van een grote hoogte valt, valt recht naar beneden. Hetzelfde geldt voor een voorwerp dat een verticale worp ondergaat. Men ziet enkel een beweging naar het centrum toe.
- Salviati herbewerkt de argumenten van Aristoteles aan de hand van duidelijke voorbeelden:
 - Men laat een steen van een hoge toren vallen. Volgens Aristoteles zou op een bewegende aarde de toren worden meegedraaid en zou de steen achterblijven.
 - Een kanon dat een kogel afschiet naar het oosten of naar het westen zou een ander effect hebben op een bewegende aarde.
 - Er zou continu een formidabele wind waaien op de aarde.
 - De voorwerpen zouden van de aarde weggegooid worden, juist zoals een kind van een ronddraaiende molen wordt geworpen.
- Voorbeelden waarmee argumenten tegen Aristoteles worden opgebouwd:
 - Ronddraaiende bewegingen kunnen eeuwigdurend zijn in tegenstelling tot rechte bewegingen naar een centrum toe. Een schip kan de aarde blijven rondvaren.
 - Een steen die men van de mast van een schip laat vallen valt langsheen de mast. (Salviati heeft het experiment niet gedaan.)
 - Een bal op een glad oppervlak blijft oneindig lang doorrollen zolang er geen tegenwerkende kracht is. Zo zal de steen losgelaten van de mast van het schip, het schip blijven volgen.
 - Een slinger met een loden bal zal langer slingeren, dan een slinger met een katoenen bal. De impetus blijft het langst bewaard in de loden bal.

Dag 3: de aarde draait rond de zon

In de derde dag wordt de beweging van de planeten bediscussieerd.

- In 1572 verschijnt er een nieuwe ster aan de hemel (in het sterrenbeeld Cassiopeia). Dit is alweer een argument tegen de onveranderlijkheid van de hemel. De aanhangers van Aristoteles argumenteren echter dat deze ster zich tussen de aarde en de maan bevindt en daardoor nog geen echt hemellichaam is. De afstand tussen de aarde en een nieuw waargenomen ster wordt afgeleid uit parallaxmetingen (de nieuwe ster wordt op licht verschillende posities waargenomen afhankelijk van de plaats op de aarde waar men observeert). Salviati onderzoekt de metingen en komt via een foutenanalyse tot het besluit dat er allerlei verkeerde conclusies worden getrokken. De nieuwe ster bevindt zich wel degelijk ter hoogte van de andere sterren.
- Argumenten voor het geocentrisch wereldbeeld
 - De aarde bevindt zich in het centrum van het universum, d.i. het centrum van de wereld en de hemel.
 - De aarde is te zwaar om over de zon te klimmen en dan langs de andere zijde terug te vallen.
 - Argument tegen het de dagelijkse omwenteling: een persoon in een put zou door de hoge draaisnelheid van de aarde de sterren maar een heel kort ogenblik kunnen zien. Het experiment leert dat de sterren vrij traag

- passeren. (Deze redenering staat of valt natuurlijk met de diepte van de put en de fractie van de hemel die de persoon in de put kan zien.)
- De aarde is toch nog een speciale planeet in het stelsel van Copernicus. Er draait een maan rondom de aarde en gans dit stelsel draait rondom de zon. (Galilei heeft deze speciale eigenschap van de aarde ondergraven door aan te tonen dat Jupiter ook manen heeft.)
 - De jaarlijkse beweging van de aarde brengt sterren dichterbij en verderaf. Dit zou moeten resulteren in waarneembare grootteverschillen en veranderingen van de posities van de sterren. Deze worden niet waargenomen.
 - Aristoteles gaat uit van één natuurlijke beweging voor een eenvoudig voorwerp. De aarde (een eenvoudig voorwerp) heeft volgens het Copernicaanse wereldbeeld minstens 3 bewegingen.
- Argumenten voor het heliocentrisme
 - Sommige planeten bevinden zich soms dichtbij de aarde, en soms heel ver. Het verschil kan tot verscheidene malen de kleinste afstand bedragen (vb. 9x voor Mars en 6 maal voor Venus). Aristoteles nam als basisveronderstelling dat de hemellichamen in een cirkelvormige baan rondom de aarde draaien.
 - Venus wordt altijd gezien in de omgeving van de zon (max. 40° verwijderd). Ze bereikt nooit oppositie of kwadratuur met de zon. Het verschil in grootte kan een factor 40 bedragen (62). Ze is het grootst bij avondconjunctie met de zon en het kleinst bij ochtendconjunctie. Venus heeft schijngestalten die het duidelijkst zijn bij de avondconjunctie.
 - Mercurius heeft dezelfde eigenschappen als Venus, alleen bevindt het zich nog dichterbij de zon.
 - Mars, Jupiter en Saturnus kennen geen schijngestalten.
 - Venus heeft een omlooptijd van 9 maanden, Mars heeft een omlooptijd van twee jaar. De jaarlijkse omloop van de aarde valt daar mooi tussenin.
 - De eenvoud van het Copernicaanse systeem. De retrograde bewegingen van de planeten worden nu eenvoudig verklaard.
 - De aanwezigheid van zonnevlekken en het feit dat de rotatieas van de zon niet loodrecht staat op de ecliptica. Hieruit kan men allerlei effecten afleiden voor de beweging van de zonnevlekken die enkel eenvoudig kunnen verklaard worden door de jaarlijkse omwenteling van de aarde om de zon. De aanhangers van Aristoteles moeten de zon 4 verschillende bewegingen geven om deze effecten te verklaren.
 - Het Copernicaanse wereldbeeld laat toe om allerhande effecten op de aarde op een natuurlijke en eenvoudige manier te verklaren (vb. de veranderingen van het dag-nacht ritme gedurende de seizoenen).
 - Salviati is verbaasd dat er tot nu toe reeds enkelen (o.a. Aristarchus en Copernicus) waren die het denken boven 'the common sense' hebben gebracht. (citaat p.328). Salviati wil zelf niet kiezen tussen de twee wereldsystemen. Hij laat de beslissing over aan het redeneringsvermogen van de luisteraars.
 - Simplicio is in het begin van de dag heel volgzaam. Hij helpt bij de opbouw van de Copernicaanse redeneringen en staat open voor het gebruik van de telescoop. Hij krijgt het moeilijker als het bewijsmateriaal tegen de Peripatici zich opstapelt.
 - Salviati verklaart ook enkele optische illusies die voorkomen als we met het blote oog de grootte van de sterren en hemellichamen proberen in te schatten. Hij geeft

meetmethoden aan die deze optische effecten vermijden (vb. de telescoop of de methode met draadjes (p.361))

- Salviati beschrijft een experiment waarmee hij zou kunnen aantonen dat de aarde een jaarlijkse beweging maakt. Het experiment moet de kleine parallaxverschillen aantonen die een gevolg zijn van de jaarlijkse beweging van de aarde (p.383 tot 388). Dit experiment werd maar gerealiseerd in de 19 de eeuw (Drake, Galilei at work, p.41)
- p. 380: Salviati is er zich van bewust dat de richting van de rotatieas ook kan variëren in een periode van vele duizenden jaren. Hoe kan hij dit weten? Dit lijkt mij een vrij recent resultaat te zijn?
- Magnetische krachten zijn verantwoordelijk voor het feit dat de aardas parallel blijft aan zichzelf. Deze werden grondig bestudeerd door William Gilbert.
-

Dag 4: de getijden

Salviati wil in deze laatste dag een ultiem bewijs leveren voor het Copernicaanse wereldbeeld. De drie perioden van de getijden, de dagelijkse (12uur), de maandelijks en de jaarlijkse kunnen verklaard worden als men uitgaat van een ronddraaiende aarde die rond de zon draait. De poëtische verklaringen voor de getijden, gebaseerd op rechtstreekse invloeden van de maan worden onderuit gehaald. Salviati heeft de invloed van de maan niet nodig om de dagelijkse periode van de getijden te verklaren. Slechts om de maandelijks variaties te verklaren komt de maan op een indirecte manier kijken in zijn redeneringen.

- De redenering van Salviati is gebaseerd op vertragingen en versnellingen die het aardoppervlak ondergaat als je de rotatiebeweging en de beweging rond de zon samen bekijkt. Op het eerste zicht lijkt het een vrij samenhangende redenering, maar als je er de moderne inzichten op loslaat, zie je belangrijke denkfouten in zijn redenering staan. Deze fouten hangen samen met een onvolledig begrip van de ogenblikkelijke snelheid en de daaraan gekoppelde versnellingen. Zijn redenering beperkt zich ook maar tot 1 richting. Doordat wij ondertussen gewoon zijn aan het gebruik van vectoren, het optellen van verschillende bewegingen en de relativiteit van de bewegingen kunnen wij gemakkelijker de fouten in zijn redenering inzien.
- Op basis van bovenstaande redenering wordt bijna elk detail van de getijden en de passaatwinden verklaart.
- Aristoteles wist nog niets af van de retrograde beweging, dat komt later!
- Kepler wordt vermeld omdat hij niet open staat voor deze getijdentheorie en nog steeds geloofd in een occulte maantheorie.
- Ter afsluiting wordt herhaald dat deze discussie een 4-tal sterke bewijzen ten voordele van het Copernicaanse wereldbeeld heeft opgeleverd. (p.462)
- De laatste woorden van Simplicio zijn niet onbelangrijk. Hij heeft sterke argumenten gehoord maar is toch niet volledig overtuigd. Hij verwijst naar een doctrine van Urbanus VIII, waarbij God nog wel andere (ondenkbare) methoden zal gevonden hebben om getijden te laten doorgaan op deze aarde. Het feit dat deze woorden oneerbiedig en zonder verdere discussie in de mond van een simpele ziel (Simplicio) worden gelegd is één van de belangrijke argumenten tegen de dialogen.

andere ontdekkingen

Proportionaalpasser

Naast zijn colleges gaf hij privaattlessen en nam zelf leerlingen in huis, wat extra geld in het laatje bracht. Velen van zijn leerlingen studeerden wiskunde en dit om militaire objecten te kunnen construeren of toe te kunnen passen in de scheepvaart. Een aantal van zijn leerlingen waren bijvoorbeeld aanstaande officieren. Galilei bouwde voor zijn leerlingen een instrument, zijn "meetkundig en militair kompas". Dit instrument werd ook nog de evenredigheidspasser of proportionaalpasser genoemd. De eerste dateert van 1597. Die zag eruit als een tweetal metalen linialen die door middel van een scharnieras met elkaar verbonden waren. De linialen stonden vol getallen en schaalverdelingen. Het bevatte schroeven en een eraan te bevestigen boog om de passerarmen in vrijwel iedere hoek open te houden. In 1599 functioneerde de vinding na een aantal aanpassingen als een zakrekenmachine avant la lettre, waarmee o.a. vierkantswortels en derdemachtswortels konden worden getrokken, samengestelde interest of wisselkoersen konden worden berekend en de juiste lading voor ieder kaliber kanon kon worden bepaald. De passer is twee eeuwen lang een onmisbaar hulpmiddel geweest voor technische berekeningen. Galilei leerde zijn studenten aan hoe ze met het ingenieus toestelletje moesten werken en schreef later nog een handleiding als cursusmateriaal.



1.1.9.3. Weetjes

Galileithermometer

Een Galileithermometer is een thermometer in de vorm van een gesloten glazen cilinder waarin zich een doorzichtige vloeibare koolwaterstof en verschillende (vaak gekleurde) glasbelletjes bevinden. Hij is genoemd naar Galileo Galilei. Bij een temperatuurverandering gaan de belletjes omhoog of omlaag. Elk gewichtje heeft zijn eigen karakteristieke temperatuur waarbij het in de vloeistof begint te zweven.

Werking

Bij veranderende temperatuur verandert ook de dichtheid van de vloeistof, waardoor de glasbelletjes met hun eigen dichtheid omhoog of omlaag gestuwd worden. Dit is volgens de wet van Archimedes omdat voorwerpen met een lagere massadichtheid gaan zweven en die met een hogere zinken. Een glasbelletje blijft hangen op de plaats waar de dichtheid van de omgevende vloeistof gelijk is aan die van het glasbelletje.



1.1.10. Johannes Kepler

1.1.10.1. Levensloop en situering

Eerste levensjaren en opleiding

Kepler werd op 27 december 1571 geboren in Weil nabij Stuttgart, in het zuidwesten van Duitsland. Zijn vader was o.a. beroepssoldaat en trok af en toe naar Nederland. Zijn vrouw volgde hem soms en Johannes woonde dus twee jaar bij zijn grootouders. Over zijn ouders heeft hij later niet erg lovend geschreven. Na terugkeer van de ouders verhuisde de familie naar Leonberg. Daar studeerde Johannes aan de Latijnse school. In 1579 probeerde zijn vader zijn geluk als kastelein van de herberg Zur Sonne in Elmerdingen, waar Johannes zijn studies van de Latijnse school kon verderzetten. Maar de volgende twee jaren moest hij meehelpen op het veld en kon niet naar school. In 1583 mocht hij weer naar school en kon deze eenvoudige Latijnse basisschool afmaken. Hij slaagde voor het zogenaamde landexamen zodat hij in de kloosterschool van Adelsberg mocht studeren. Daar had hij veel onenigheden met zijn schoolkameraden, door eigen aanpassingsproblemen en door jaloezie om zijn goede schoolresultaten. In 1586 werd hij student op het protestantse seminarie in de Maulbronn. Van 1589 tot 1591 studeerde hij theologie aan de lutherse Universiteit van Tübingen.



Hij volgde lessen wiskunde bij Michael Maestlin die een van de eerste aanhangers van Copernicus' heliocentrische wereldbeeld was (zie Nicolaas Copernicus). De ideeën zijn verwerkt in *Somnium* (Maandroom).

In Keplers tijd werd de wetenschappelijke studie aan de universiteit nog ingedeeld volgens oude middeleeuwse schema's. Zo werd astronomie (waartoe ook astrologie behoorde) als onderdeel van de wiskunde beschouwd en resorteerde natuurkunde onder filosofie, dat een hogere status had dan wiskunde, onbegrijpelijk. Kepler werd er bij het verschijnen van zijn eerste werk, *Mysterium Cosmographicum*, door de rector van zijn oude universiteit in Tübingen, Matthias Hafnreffer, dan ook op gewezen dat hij zich toch vooral tot de wiskunde moest beperken bij zijn werk. Maar Kepler beschreef zijn nieuwe astronomie, *Astronomia Nova*, tien jaar later juist als hemelse fysica.

Johannes Kepler als wiskundige

In 1594 werd Kepler hoogleraar wiskunde in de stad Graz aan de Hogeschool. Deze school was de tegenpool van de Katholieke Universiteit. Deze Katholieke Universiteit van Graz was oorspronkelijk een Katholieke Hogeschool geweest, die echter in 1585 door de katholieke aartshertog tot universiteit verheven was, na dat de paus in 1586 zich er me bemoeide. Keplers standvastige geloofsovertuiging brengt hem uiteindelijk in het jaar 1600 in moeilijkheden.

Kepler is overtuigd van de juistheid van Copernicus' voorstelling van de kosmos. Maar ook Kepler is een mens van zijn tijd. Hij ziet in de wiskunde het denken van God en meent dat in de stereometrie de bouw van het zonnestelsel terug te vinden is. Hij noteert voor 19 juli 1595 dat hij als bij ingeving begrijpt hoe de kosmos (= zonnestelsel + sterrenuitspannel) gebouwd is. De zes planeten (toen noch maar zes) zijn gescheiden door de vijf stereometrische gelijkvlakkige figuren. In de stereometrie zijn er namelijk slechts vijf gelijkvlakkige figuren, de zogenaamde platoonse lichamen. Hij beschrijft zijn opvatting van de bouw van de "Kosmos" in *Mysterium Cosmographicum*. Hij noemt het werk ook een voorloper. In *Harmonice Mundi* (1619) worden de gedachten en ideeën van zijn *Mysterium Cosmographicum* uitgewerkt. Een hele klus.

1.1.10.2. Ontdekkingen in de astronomie

Wetten van Kepler

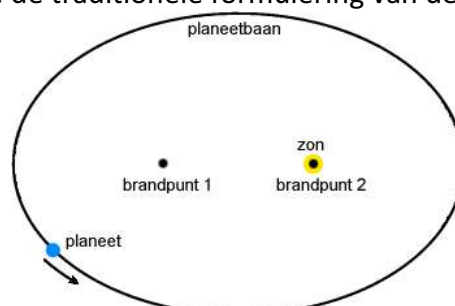
Door gebruik te maken van nauwkeurige blote-oog-waarnemingen van zijn voorganger Tycho Brahe, slaagde Johannes Kepler er in het begin van de 17de eeuw in de beweging van de planeten omheen de zon vast te leggen in drie wetten, die vervolgens naar hem genoemd werden. Later werden deze wetten bewezen door middel van de gravitatiewet van Isaac Newton.

Met deze gravitatiewet in ons achterhoofd, formuleren we de wetten van Kepler iets algemener of iets fijner dan Kepler dat gedaan heeft.

Eerste wet

Een hemellichaam in de buurt van de zon beschrijft een kegelsnede (cirkel, ellips, parabool of hyperbool) met de zon in een brandpunt.

Wanneer het gaat om hemellichamen van het zonnestelsel, d.w.z. hemellichamen die een gesloten baan om de zon beschrijven, kan deze kegelsnede alleen maar een ellips zijn (of een cirkel), en bekomen we de traditionele formulering van de eerste wet van Kepler.



Een hemellichaam dat niet tot ons zonnestelsel behoort en dit toevallig eens passeert, zal in de buurt van de zon een segment van een hyperbool gebruiken om die te passeren. Hetzelfde geldt voor hemellichamen van ons zonnestelsel (in de praktijk kometen) die door één van de reuzenplaneten (meestal Jupiter) uit het zonnestelsel geslingerd worden. Men denkt dat ook te kunnen gaan gebruiken om een ruimte schip eens uit het vlak van onze planeten te slingeren. Zo zal men de raket onder een planeet door laten en zo achter de planeet naar boven vallen tot de raket uit dat vlak is. Nu alleen noch de terug tocht.

De parabool is een overgangfiguur tussen de ellips en de hyperbool (zie ht6). Omwille daarvan komen parabolische banen in de natuur eigenlijk niet voor. Vele kometen beschrijven echter dermate langgerekte ellipsvormige banen dat ze in de buurt van de zon nauwelijks van parabolen te onderscheiden vallen. Indien een dergelijke komeet ontdekt wordt, berekent men daarom met behulp van de eerste waarnemingsgegevens een parabolische baan om de baan van die komeet te kunnen opstellen, en gaat men pas later een meer nauwkeurige elliptische baan berekenen, als er voldoende waarnemingsgegevens beschikbaar zijn.

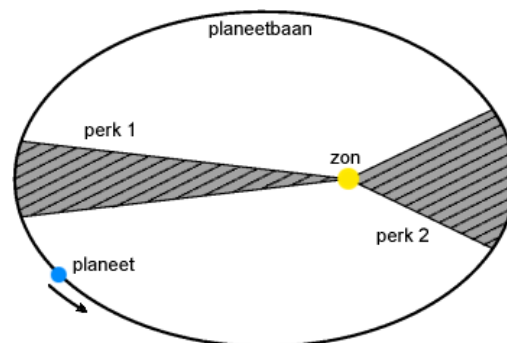
Tweede wet

De voerstraal van de zon naar een hemellichaam in een baan om de zon beschrijft perken waarvan de oppervlakte rechtevenredig is met de hiervoor benodigde tijd.

of

In gelijke tijden doorloopt de lijn die de planeet met de zon verbindt, oppervlakten ("perken") van gelijke grootte.

Uit onderstaande figuur blijkt dat bijvoorbeeld een planeet beduidend sneller beweegt in de buurt van haar perihelium (dichtste nadering tot de zon) dan in de buurt van haar aphelium (punt van verste verwijdering tot de zon). De tweede wet van Kepler wordt ook de *perkenwet* genoemd.



Derde wet

De derde macht van de halve grote as van een hemellichaam in een ellipsbaan om de zon is rechtevenredig met het kwadraat van zijn omlooptijd.

Een hemellichaam dat vier keer zo ver van de zon staat als de aarde heeft dus achtmaal meer tijd nodig om één omloop te voltooien, wat dubbel zo veel is dan we zouden

verwachten op basis van de omtrek van te doorlopen baan. De absolute snelheid van een hemellichaam in een baan om de zon neemt dus af met de afstand tot de zon!

De derde wet van Kepler kan worden gebruikt om de relatieve afmetingen van het zonnestelsel in kaart te brengen: door de omlooptijd van een hemellichaam te meten, kennen we zijn afstand tot de zon in astronomische eenheid.

Wanneer we er ook in slagen de astronomische eenheid te calibreren (dit gebeurt essentieel met driehoeksmeetkundige technieken), kunnen we ook de absolute afmetingen van het zonnestelsel vaststellen. De astronomische eenheid bedraagt afgerond 150 miljoen km.

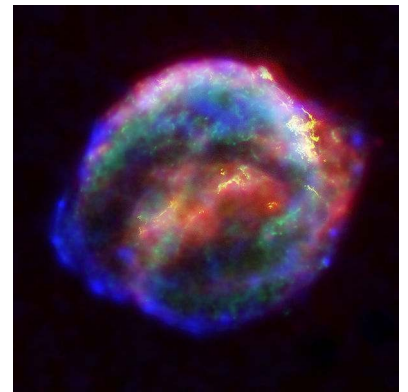
Tenslotte is het dan ook mogelijk de massa van de zon te bepalen.

1.1.10.3. Andere ontdekkingen

SN 1604

De eerste waarneming

Brunowski, een assistent van Johannes Kepler, bracht Kepler op de morgen van 11 oktober 1604 het nieuws van een nieuwe ster die hij de avond ervoor gezien had. Kepler wilde er niets van weten, de hemel bleef een week bewolkt, en zo lang kon Kepler in zijn ongeloof volharden. Toch was het de geboorte van een ster.



De volmaaktheid van de hemel

Die zogenaamde volmaaktheid bestond sinds Pythagoras hierin, dat de volmaakte godheid alleen een volmaakte kosmos met volmaakte objecten geschapen kon hebben. Ze konden toen zelf niet geloven dat de wereld niet perfect bol was ook al hadden ze de bewijzen. Vanaf de maan waren alle planeten en sterren volmaakte ronde bollen, die in volmaakte cirkels om de aarde liepen. Sinds Copernicus geloofde de geleerdenwereld wel dat de zon in het midden van de kosmos stond. Het meest overtuigende argument daarvoor was echter, dat daarmee de banen van de planeten als cirkels te verklaren waren. Het verbijsterde in 1604 de wereld dat er een nieuwe ster aan de hemel schitterde.

1.1.10.4. Weetjes

In 1630 wilde hij naar Linz, waar men hem eindelijk zijn loon zou uitbetalen. Onderweg in Regensburg zou hij de keizer bezoeken, die daar een Rijksdag hield, en hem ook nog geld schuldig was. Tijdens zijn reis te paard werd hij ernstig ziek en stierf in Regensburg. Door de dertigjarige oorlog werd het kerkhof in Regensburg, waar Kepler begraven lag, volledig

verwoest. Zijn graf is totaal onbekend. Zijn grafschrift is echter wel bekend aangezien hij dat lang van tevoren bekend gemaakt had:

Mensus eram coelos, nunc terrae metior umbras.

Mens coelestis erat, corporis umbra iacet.;;

(De hemel heb ik bemeten, nu meet ik de schaduwen der aarde.

Mijn geest verkeerde in de hemel, het lichamelijk omhulsel ligt hier.)

1.1.11. René Descartes



1.1.11.1. Levensloop en situering

René Descartes werd op 31 maart 1596 geboren in La Haye en Touraine (later Descartes naar hem) in Frankrijk. Hij was de jongste van het gezin Descartes. Zijn vader was Joachim Descartes en zijn moeder Jeanne Brochard. Hij had een oudere zus Jeanne en een oudere broer Pierre. Zijn moeder stierf kort na zijn geboorte. In 1600 kreeg hij er een halfzus Anne bij doordat zijn vader hertrouwde met Anne Morin. Descartes vader was advocaat en magistraat in Rennes.

Op zijn achtste vertrok René naar het Jezuïtencollege van La Flèche. Hij verbleef er van 1606 tot 1614. Hij werd er vijf jaar onderwezen in de klassieke talen. Daarna volgde hij lessen in wiskunde en Aristotelianse filosofie. Maar vanwege zijn slechte gezondheid mocht hij van de rector uitslapen tot hij zich fit genoeg voelde om les te volgen.

In 1614 woonde Descartes in Saint-Germain-en-Laye bij Parijs. Vanaf 1615 studeerde hij medicijnen en rechten aan de universiteit van Poitiers.

Twee jaar na zijn studies, in 1618 vertrok Descartes naar De Verenigde Provinciën (Nederland). Daar sloot hij zich aan bij het leger van Prins Maurits bij Breda.

Zijn passie voor toegepaste wiskunde nam toe. Vooral door het werk van Simon Stevin, die de vestigingbouw had ontwikkeld. Hij werkte er ook samen met Isaac Beeckman.

Waarmee hij later de hydrostatische paradox, de vrije val en de kettinglijn als kegelsnede zou bestuderen.

Tijdens de Dertigjarige Oorlog trok Descartes naar Frankfurt. Hij kreeg er de positie van officier in het leger van de katholieke Maximiliaan I van Beieren.

Alhoewel hij geen echte militair was, ging hij naar het leger om de wereld te zien en mensen te leren kennen. Beeckman en Descartes bleven in contact, terwijl hij aan wiskunde werkte, hij was er namelijk bezig met zijn proportioneelpasser, wat hem uiteindelijk bracht tot zijn nieuwe algebra.

In 1628 vertrok hij terug naar De Verenigde Provinciën, waar hij Adriaan Metius bezocht. Twee jaar later schreef hij zich in aan de universiteit van Leiden. Hij kwam er in contact met Constantijn Huygens een diplomaat en dichter. In hetzelfde jaar beschuldigde hij Beeckman er ook van dat hij plagiaat had gepleegd op zijn eigen werk

Descartes verhuisde meerdere keren in De Verenigde Provinciën, van Franeker naar Amsterdam. Daar had hij een liefdesaffaire met Helène Jansdochter. Waarmee hij een dochter kreeg Francine. Uiteindelijk verhuisde hij een laatste maal naar Egmond Binnen.

Op aandringen van zijn vrienden publiceerde hij "Discours de la méthode", hierin verwierp hij de filosofie van Aristoteles en schreef hij dat alle echte kennis op de wiskunde moet worden gebaseerd. Ook paste hij in Discours de algebra consequent toe op meetkundige vraagstukken,

Meetkundige objecten werden hierbij weergegeven met getallen en vergelijkingen. Hiermee legde hij de basis van de moderne wiskunde.

In 1648 ging Descartes op verzoek van koningin Christina van Zweden naar Stockholm. Hij kreeg daar een longontsteking waaraan hij in 1650 overleed, volgens tijdgenoten doordat hij niet gewend was aan het koude klimaat en aan het vroege opstaan waar de koningin hem toe dwong: zij wilde om vijf uur 's ochtends les van Descartes krijgen. Hij stierf in het koninklijk paleis en werd, na korte tijd in Zweden begraven te zijn geweest, herbegraven in een tombe van het Panthéon te Parijs in 1667.

1.1.11.2. Ontdekkingen in de astronomie

In 1644 probeerde hij in zijn boek Principia Philosophiae (De Beginselen van de Filosofie) het complete universum te beschrijven vanuit een volledig wiskundig opgebouwde mechanica. Zijn voorstelling trok veel aandacht, maar jaren later zou Isaac Newton zijn voorstelling afbreken.

1.1.11.3. Andere ontdekkingen

Met zijn stelling Cogito ergo sum: Ik denk, dus ik ben neemt Descartes een dualistisch standpunt in: hij scheidt de geest van het lichaam. Via allerlei gedachte-experimenten komt hij immers tot de conclusie dat hij er niet zeker van kan zijn dat hij een lichaam heeft, maar wel dat hij een geest heeft. Hij stelt dat men aan letterlijk alles moet twijfelen.

De drie zekerheden

Om rationaliteit te funderen poneerde Descartes drie zekerheden:

De **eerste zekerheid** is die van de twijfel. Door dingen in vraag te stellen ontstaat er twijfel. Wanneer deze twijfel echter opnieuw in vraag gesteld wordt, wordt het feit herbevestigd dát ik twijfel. Op deze manier ontstaat er een zekerheid, namelijk die van het bestaan van de twijfel, de activiteit van het denken in zijn puurste vorm. Het denken (het cogito) bevestigt de aanwezigheid van deze denkactiviteit (het zijn). Ik denk, dus ik ben.

Met deze eerste zekerheid bewees Descartes het bestaan van het denken als substantie. Om zijn fundering van de rationaliteit verder te zetten voerde hij het dualisme in. In het dualisme onderscheidde hij twee polen. De eerste pool is die van het denken of de res cogitans (zoals in die in de eerste zekerheid is bewezen). Daarnaast bestaat er een tweede pool, een nog te bewijzen buitenwereld of res extensa, die alles buiten het denken omvat. Het denken en de buitenwereld lijken op het eerste zicht dus twee volledig gesloten, geïsoleerde substanties. Descartes trachtte vervolgens een brug te slaan tussen deze twee polen.

De **tweede zekerheid** was die van het bestaan van God. Met de eerste zekerheid, die van het denken, ontstaat de notie idee. Het denken "is", omdat het een zuiver, logisch en distinct idee is. Elke idee die aan deze voorwaarden voldoet, moet volgens Descartes dus waar zijn. Om door het denken te komen tot zuivere ideeën over de buitenwereld, moet zekerheid worden geschapen over de juistheid en zuiverheid van denken en ideeën. Dat wat deze zuiverheid waarborgt, is volgens Descartes God. God is het volmaakte dat de Malin Génie (de stoorzender in ons denken) uitschakelt.

De **derde zekerheid** is die van het bestaan van de buitenwereld. Het bestaan van een God kan het wantrouwen ten opzichte van deze waarnemingen ontkrachten. Er zijn slechts twee substanties (cogito en God) waarin deze waarnemingen hun oorsprong kunnen vinden. Het denken is één mogelijkheid. Een wereld van waarnemingen zou gecreëerd kunnen worden door samenhangende ideeën te construeren. Het probleem is hier echter dat zintuiglijke waarnemingen de wil overstijgen en deze niet door het denken bestuurd kunnen worden. Ze komen ongecontroleerd op ons af. Een tweede mogelijkheid is dat ze van God afkomstig zijn. Maar dit zou dan weer niet passen in het beeld van God die de Malin Génie uitschakelt en het denken zuiver houdt. Als God het zuiver volmaakte nastreeft, waarom zou hij zich dan bezig houden met het creëren van waanvoorstellingen? Er moet dus een derde substantie bestaan (de buitenwereld) die zintuiglijke voorstellingen in ons denken veroorzaakt.

Met deze drie zekerheden concludeerde Descartes dat de werkelijkheid bestaat uit voorstellingen in het denken. Door het bestaan van een God, die de Malin Génie uitschakelt, stelde hij dat deze werkelijkheid zich voordoet zoals hij is. Hiermee plaatste Descartes de zuivere idee van de ratio centraal in het begrip van de werkelijkheid.

Systematische twijfel

Volgens Descartes moet men het schijnweten volledig uitbannen en is enkel een volledig zekere, deductieve wetenschap waar. Om tot dit resultaat te komen gebruikt hij een soort radicale, kunstmatige twijfel in drie fasen:

- **de destructieve fase:** kennis verkregen door onderricht en boekenkennis moeten verworpen worden, net als zintuiglijke kennis. Hij stelt zich de vraag of aan de zintuiglijke oordelen een objectieve werkelijkheid bestaat: bestaat de materiële wereld wel, en dus ook ons lichaam? Zelfs de waarheid van de wiskunde betwijfelt hij door de introductie van een god als "malin génie": wie garandeert ons dat er geen bedrieglijke god bestaat die ons bij het simpelste optelsommetje de verkeerde getallen doet uitkomen? De conclusie is een radicaal niet-weten.
- **het scharnierpunt:** men kan het bestaan van het denkende subject verzekeren, zolang het denkt. "Cogito ergo sum". Zonder lichaam zou ik ook bestaan, zolang ik maar denk. Conclusie: er is geen lichaam nodig voor de geest om te bestaan.
- **de constructieve fase:** Descartes komt tot twee godsbewijzen die het bestaan van een "malin génie" weerleggen: God kan geen bedrieger zijn, want bedrog wijst op tekortkomingen terwijl God volmaakt is. (Problematisch is volgens sommigen dat Descartes zich hierbij schuldig maakt aan een denkfout.) God zou ons bedriegen als onze neiging om te geloven in het bestaan van een materiële wereld buiten ons bewustzijn, misleidend zou zijn. Conclusie: het doel, de fundering van kennis, is bereikt.

1.1.11.4. Weetjes

Door zijn slechte gezondheid liet de rector hem uitslapen tot hij zich fit genoeg voelde om de lessen bij te wonen. Deze gewoonte om lang te slapen heeft hij zijn hele leven gehouden. En heeft misschien geleid tot zijn dood.

1.1.12. Isaac Newton



1.1.12.1. Levensloop en situering

Isaac Newton werd geboren op 25 december 1642 in het dorp Woolstorp in Engeland. Woolstorp ligt niet ver van het graafschap Lincolnshire.

Hij behoorde tot een familie van kleine landeigenaren. Newton's vader overleed enkele maanden voor zijn geboorte. Toen hij 3 jaar was nam zijn moeder hem mee naar een nabij gelegen dorp. Hij werd opgevoed door zijn grootmoeder aan moeders kant.

Toen ook zijn stiefvader in 1656 stierf wilde zijn moeder hem opleiden om de bezittingen van de familie Newton te beheren. Maar Newton was meer geïnteresseerd in wetenschappen.

Uiteindelijk besloot zijn moeder hem naar een universiteit te sturen.

Dat gebeurde, en in juni van 1661 liet hij zich inschrijven in het Trinity college aan de universiteit van Cambridge. Hij volgde er les tot in de zomer van 1665, vanwege een pestepidemie werd de universiteit gesloten en keerde Newton terug naar zijn geboortedorp

In de daarop volgende jaren begon hij aan zijn ontwikkelingen in wiskunde, sterrenkunde, optica en natuurkunde.

In 1667 ging Newton weer terug naar de universiteit van Cambridge om zijn studie af te maken. Isaac Barrow, een staflid van het Trinity College en professor in de wiskunde van de universiteit was zo onder de indruk van de prestaties van Newton dat toen hij in 1669 ontslag nam, hij de aanbeveling deed, Newton zijn plaats in te laten nemen. Zijn eerste colleges gingen over optica, met name over zijn opmerkelijke ontdekkingen die hij tijdens de pestepidemie had verricht.

Na een zenuwinzinking gehad te hebben, richtte hij in 1696 de Koninklijke munt op, waarvan hij dan ook in 1699 directeur werd. Hij hield toezicht op de grote Engelse

geldvoorziening van de laatste jaren van de 17de eeuw en bestrafte valsemunters. Door zijn werk bij de Munt, werd hij in 1705 tot ridder geslagen door Queen Anne.

1.1.12.2. Ontdekkingen in de astronomie

De beginselen der natuurkunde

Alhoewel Newton al in 1666 de basis van zijn theorie over de universele zwaartekracht legde, duurde de publicatie hiervan tot in 1687. Toen verscheen zijn beroemde werk beginselen der Natuurkunde. Meestal wordt dit werk 'Principia' genoemd. Het gaat over de eigenschappen van lichamen en hun bewegingen. De Principia bestaat uit 3 delen. De eerste twee delen gaan over de algemene principes van bewegingen en krachten. In het derde deel beschreef Newton de wederzijdse gravitatie krachten tussen de planeten en de zon.

Het was eigenlijk door bijdrage van Edmund Halley dat Principia werd gepubliceerd. Toen Halley, Newton in 1684 een bezoek kwam brengen, stelde Halley de vraag hoe planeten in beweging waren. Newton vertelde hem dat hij dat al jaren geleden opgelost had, maar nog niet tevreden was over zijn uiteindelijk berekende resultaten. Edmund Halley slaagde er toen in om Newton er van te overtuigen zijn ideeën te publiceren. Maar omdat Newton geen financiële middelen had om te publiceren, moest Halley meehelpen betalen uit eigen zak.

Newton zijn studie van de planeten bewegingen voerde hem nog verder. Hij bewees dat ieder symmetrisch bolvormig voorwerp, zoals een planeet, zich gedraagt alsof alle massa is geconcentreerd in het middelpunt. Hij merkte ook op dat de aarde een uitstulping (uitpuling) moest veroorzaken aan de evenaar. Hij zag in dat de aantrekkingskracht van de zon op de langzame verschuiving van de draaiingsas van de aarde. Daarnaast ontdekte hij dat de zon en de maan regelmatige schommelingen moest veroorzaken in de stand van de aardas, uit deze ontdekking kon hij de getijden verklaren.

Newton ging er van uit dat alle hemellichamen voortdurend in beweging zijn, waarbij de zwaartekracht hun baan bepaalde als ze onder invloed van elkaars zwaartekracht velden kwamen. Er was geen logische voorwaarde voor een begrenzing van het heelal. Het zou zowel in ruimte als tijd onbegrensd moeten zijn. Maar de wetenschap kon niet verklaren waarom het heelal bestond.

In 1671 ontwikkelde Newton een verbeterde versie van de spiegeltelescoop. Dit zorgde dat hij met een kortere buis een scherper beeld kon krijgen. Het beeld dat op een parabolische spiegel valt, wordt teruggekaatst en nabij het brandpunt van die spiegel met behulp van een hulp spiegel tje buiten de kijkerbuis gebracht. Zijn telescoop werd het basismodel voor de gigantische telescopen die tegenwoordig gebruikt worden.

1.1.12.3. Andere ontdekkingen

De eenparige rechtlijnige beweging (ECB)

De kern van Newton's werk is de idee dat elk voorwerp zich in één rechte lijn en met dezelfde snelheid zal blijven voortbewegen, tenzij er een kracht van buitenaf op werkt. Als een voorwerp in rust is, komt dat doordat een bepaalde kracht het daartoe dwingt. Zo zorgt de weerstand van de lucht ervoor dat een rollende bal tot stilstand komt. Dit noemen we wrijving. En als iets zich met een hogere of lagere snelheid beweegt, of van richting verandert, komt dat omdat een bepaalde kracht die verandering heeft veroorzaakt. Newton gebruikte de wiskunde om aan te tonen dat veranderingen in snelheid en richting altijd evenredig zijn met de massa van het voorwerp en de betreffende kracht. De massa van een voorwerp is een eigenschap die afhankelijk is van zijn afmeting en gewicht. Anders gezegd: de massa van een voorwerp is af te leiden uit de inspanning of de hoeveelheid kracht die nodig is om het in beweging te brengen of, als het voorwerp al beweegt, de snelheid van die beweging te verhogen. Deze bewegingswetten, die nog altijd worden onderwezen als de basis van de natuurkunde, maakten het mogelijk de zwaartekracht te verklaren. Newton beweerde dat elk lichaam of voorwerp een ander lichaam of voorwerp aantrekt met een kracht die de zwaartekracht wordt genoemd.

De appel van Newton

Een lichaam met een zeer grote massa zal een merkbare zwaartekracht uitoefenen op een lichaam met een veel kleinere massa. Op die manier trekt de aarde een appel naar haar oppervlak. De appel trekt de aarde ook aan. Maar omdat de appel zo'n kleine massa heeft in vergelijking met de aarde, trekt hij de aarde slechts met een onwaarneembare zwakke kracht aan. Omdat de appel naar de aarde valt, lijkt het alsof de zwaartekracht eenzijdig is. In feite is de zwaartekracht zo'n geringe kracht, dat ook twee objecten met een gelijke massa elkaar nauwelijks waarneembaar aan trekken. Daarom zullen twee appels met een gelijke massa op een schaal niet naar elkaar toe worden getrokken, ook al trekken ze elkaar wel een beetje aan. En hoe groter de afstand tussen twee voorwerpen is, des te geringer is hun zwaartekracht.

Newton realiseerde zich, dat als andere grote objecten, zoals de zon, de maan en de planeten, de aarde schenen te vergezellen, de onderlinge zwaartekracht buitengewoon groot moest zijn. Zelfs over een grote afstand. Als er geen kracht was om hen tegen te houden, zouden al deze hemellichamen zich in de een of andere richting door de ruimte moeten bewegen. Normaal zou deze beweging in een rechte lijn ver lopen, tenzij een hemellichaam zo dichtbij kwam dat hij de andere ging aantrekken. De kracht zou misschien niet groot genoeg zijn om die twee hemellichamen helemaal naar elkaar toe te trekken, maar hij zou beslist sterk genoeg kunnen zijn om de baan van één van hen om te buigen. De kracht zou zelfs het object met de minste massa in een baan rond het grootste object kunnen trekken, als het juiste evenwicht werd gevonden tussen de massa van de objecten, de bewegingsrichting en hun onderlinge afstand.

1.1.12.4. Weetjes

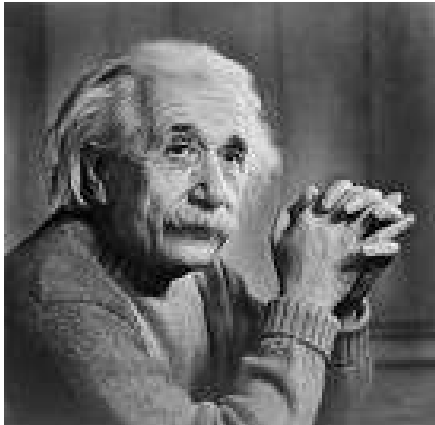
Newton was geen prettig mens om mee om te gaan en voelde zich door zijn ouders in de steek gelaten.

“Hij werd door zijn bediende beschreven als iemand die nooit aan ontspanning deed, nooit uit ging rijden om een luchtje te scheppen, nooit wandelde, kegelde, of wat dan ook, omdat hij meende dat alle uren die hij niet aan zijn studie besteedde, verloren uren waren. Hij hield zich daar zo nauw aan, dat hij zelden uit zijn kamer kwam, behalve om les te geven. Maar zijn studenten waren gering in aantal terwijl slechts een enkeling hem begreep. Zodoende stond hij vaak, bij wijze van spreken, tegen de muren te praten.”

Als student was Newton altijd al geboeid geweest door het verschijnsel licht en de zon. Op zijn studeerkamer ontdekte hij door een gaatje in een van zijn vensterluiken te maken, en een glazen prisma in de lichtbundel te plaatsen, hoe er zich op de muur een heldere regenboog van kleuren vormde.

Net als Johannes Kepler was Newton niet ongevoelig voor het bijgeloof van zijn tijd. Hij had dan ook regelmatig mystieke contacten. In feite heeft Newton veel te danken aan de spanning tussen de mystiek en het gezonde verstand.

1.1.13. Albert Einstein



1.1.13.1. Levensloop en situering

Albert Einstein werd geboren op 14 maart 1879 in Ulm, Duitsland, als de zoon van Hermann en Pauline Einstein. Zijn vader was beddenverkoper en later fabrikant van elektrotechnische apparatuur voor elektriciteitscentrales en straatverlichting.

De ouders van Einstein waren liberale Joden en dus tamelijk tolerant op religieus vlak. Als kind werd hij onderwezen in de Joodse Religie. In het lager onderwijs was hij altijd de eerste van de klas. Zijn hobby's waren toen bouwen van modellen en mechanische apparaten. Op zijn twaalfde kreeg hij ook wiskunde.

In 1895 deed Einstein een toelatingsexamen voor de Zwitserse technische universiteit. Het lukte hem om binnen te mogen in de universiteit. Hij presteerde er zeer goed in de wetenschappelijke vakken, maar zakte voor Frans en geschiedenis. Daarom moest hij verder de middelbare school in Aarau afronden. In 1896 behaalde Einstein zijn diploma en probeerde nogmaals te slagen voor de Zwitserse technische universiteit. Ook gaf hij datzelfde jaar zijn Duits Burgerschap op en werd staatloos.

In 1900 haalde hij het leraarsdiploma aan de Zwitserse universiteit, en het jaar erop werd hij een Zwitsers burger.

In 1903 trouwde Einstein met Mileva Maric. Hij had Mileva ontmoet op de Zwitserse universiteit en vond dat ze perfect voor elkaar pasten, ze was net zo sterk en onafhankelijk als hijzelf. Toen hij zijn diploma behaald had kon hij niet direct werk vinden als leraar. Dus zocht hij ander werk, hij vond een baan als technisch assistent bij het Zwitserse patentenbureau. Hij controleerde of er ontwerpfouten waren en besliste of het werk realiseerbaar was in de praktijk.

Op 14 mei 1904 werd de eerste zoon, Hans Einstein, van Albert Einstein en Mileva geboren. Datzelfde jaar werd hij permanent aangesteld als technisch assistent. Hij deed er veel onderzoek en in 1906 promoveerde hij tot technisch controleur tweede klasse. Eduard Einstein, de tweede zoon van Albert werd geboren op 28 juli 1910. De familie Einstein verhuisde dat jaar terug naar Duitsland (Berlijn). Maar Mileva kon niet wennen aan de grootstad en verhuisde terug naar Zwitserland met de kinderen, wat uiteindelijk tot een scheiding leidde in 1919. Een half jaar huwde hij zijn nicht Elsa Lowenthal.

In 1921 won hij de Nobelprijs voor de natuurkunde, maar het geld dat hij ervan kreeg verloor hij vooral aan de depressie van de jaren 20. Hierdoor kreeg hij problemen om zijn kinderen te onderhouden en kreeg hij conflicten met zijn vrouw Mileva.

Eduard Einstein (tweede zoon van Albert) was net als zijn vader zeer intelligent, en studeerde psychologie. Maar tijdens het studeren ontwikkelde hij een soort schizofrenie en was hij niet meer in staat tot studeren. Hans-Albert, zijn eerste zoon, werd hoogleraar hydraulische werktuigkunde aan de universiteit van Californie.

Toen Hitler aan de macht kwam in Duitsland was Einstein, in de Verenigde Staten. Hij hield er een lezing over zijn werk. Als er werd aangekondigd dat er een anti-joodse wet uitgeroepen werd, besloot Einstein om in de VS te blijven.

Op 18 april 1955 stierf Albert Einstein in het Princeton ziekenhuis in zijn slaap. Hij was er opgenomen vanwege een verwijding van de aorta. Hij weigerde geopereerd te worden, omdat hij een waardige dood wilde sterven. Hij werd gecremeerd en op een geheime plaats uitgestrooid. Zijn familie had wel de toestemming gegeven om zijn hersenen te onderzoeken. Ze werden onderzocht door Thomas Stoltz Harvey, hij ontdekte niets bijzonders aan de hersenen en bewaarde ze in een bokaal met formaldehyde in zijn laboratorium.

1.1.13.2. Ontdekkingen in de astronomie

In november 1915 gaf Einstein een reeks lezingen voor de Pruisische Academie van Wetenschappen, waarin hij zijn algemene relativiteitstheorie beschreef, een verdere uitwerking van zijn speciale relativiteitstheorie. De laatste lezing had als hoogtepunt de introductie van een vergelijking die de wet van de zwaartekracht van Newton verving. Hierin wordt gesteld dat alle waarnemers gelijkwaardig zijn, niet alleen waarnemers met een eenparige maar ook met een versnelde beweging. In de algemene relativiteitstheorie is de zwaartekracht niet langer een kracht (zoals in de wet van Newton) maar een gevolg van de kromming van ruimte-tijd.

Deze theorie vormde de grondslag voor de studie van de kosmologie. Nu kon er gerekend worden aan vele eigenschappen van het heelal, ook een aantal dat pas na Einsteins dood ontdekt werd.

De algemene relativiteitstheorie was revolutionair en heeft tot nu toe elke experimentele toets doorstaan. Maar oorspronkelijk waren veel onderzoekers sceptisch omdat de theorie uit een wiskundige redenering en een rationele analyse ontstond en niet uit waarneming en experimenten. De theorie berustte op niet-Euclidische meetkunde en differentiaalmeetkunde van Bernhard Riemann waarbij Einsteins vriend de wiskundige Marcel Grossmann hem geholpen had. In 1919 konden voorspellingen die met behulp van de theorie gedaan waren bevestigd worden door metingen van Arthur Stanley Eddington tijdens een zonsverduistering. Hierbij werd de afbuiging van licht van een ster door de zwaartekracht van de zon gemeten. Op 7 november bracht de Times deze bevestiging van Einsteins theorie op de voorpagina, waarmee Einstein op slag beroemd werd.

Vele onderzoekers waren nog niet overtuigd om allerlei redenen, van onenigheid met Einsteins interpretatie van de experimenten tot het niet kunnen aanvaarden van de

afwezigheid van een absoluut referentiekader. Sommigen keurden de media-aandacht af die Einstein ongewild te beurt viel na het artikel in 1919 en dit duurde nog tot in de jaren 30.

1.1.13.3. Andere ontdekkingen

Foto elektrisch effect

Zijn eerste artikel in 1905, getiteld *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (De productie en de omzetting van licht vanuit heuristisch gezichtspunt), voerde het begrip energiekwantum in (tegenwoordig foton genoemd). Einstein toonde aan hoe dit begrip gebruikt kon worden om verschijnselen als het foto-elektrisch effect te verklaren. Het idee van energiekwanta kwam voort uit de stralingswet voor een zwart lichaam van Max Planck. Einstein veronderstelde dat lichtenergie alleen geabsorbeerd of uitgezonden kan worden in discrete (afgepaste) hoeveelheden, kwanta genaamd. Hij toonde aan dat het mysterieuze foto-elektrische effect verklaard kan worden door aan te nemen dat licht werkelijk opgebouwd is uit discrete pakketjes.

Het idee van lichtkwanta was in tegenspraak met de golftheorie van het licht, die volgt uit de vergelijkingen van Maxwell voor elektromagnetisch gedrag, en meer algemeen met de aanname dat energie in fysische systemen oneindig deelbaar is. Zelfs nadat experimenten aantoonde dat de vergelijkingen van Einstein voor het foto-elektrisch effect correct waren, werd zijn uitleg niet algemeen aanvaard. In 1922 echter, toen hij de Nobelprijs kreeg van het jaar 1921 en zijn werk over foto-elektrische effecten hierbij geciteerd werd, namen sommige natuurkundigen aan dat de vergelijking ($hf = \Phi + E_k$) correct was en dat lichtkwanta mogelijk waren.

De theorie van lichtkwanta vormde een sterke aanwijzing voor de dualiteit van golven en deeltjes. Dit concept, dat door de grondleggers van de kwantummechanica gebruikt wordt als een fundamenteel principe, betekent dat fysische systemen eigenschappen van zowel golven als deeltjes kunnen vertonen. Een volledig beeld van het foto-elektrisch effect werd pas later verkregen na verdere ontwikkeling van de kwantummechanica.

De bekende formule $E = mc^2$

Het vierde artikel uit 1905 gaat over het verband tussen de traagheid van een voorwerp en zijn energieinhoud en is een gevolg van de speciale relativiteitstheorie. Massa en energie blijken in elkaar uit te drukken volgens de bekende formule $E = mc^2$. Kleine beetjes massa (m) kunnen worden omgezet in enorme hoeveelheden energie (E) dankzij de vermenigvuldiging in de formule met het kwadraat van de lichtsnelheid c . Deze massa-energie-equivalentie werd later de verklaring voor energieopwekking bij kernsplijting en kernfusie, waarbij enige massa verloren gaat maar veel energie vrijkomt.

1.1.13.4. Weetjes

Als het van Einstein zelf afging was Newton een veel belangrijker natuurkundige, omdat Newton naast het theoretische ook grote experimentele ontdekkingen deed.

Albert Einstein speelde in zijn vrije tijd of als ontspanningsmiddel viool, volgens hem omdat hij terwijl hij viool speelde, zicht bezig hield met grote levensvragen.

1.2.Culturen

1.2.1. Azteken

1.2.1.1. Situering

De Azteken waren een Meso-Amerikaanse beschaving die bestond tussen circa 1200 en 1520 in het huidige Mexico. Ze stammen vermoedelijk af van de Tolteken. De Azteken waren zeer oorlogszuchtig en zijn bekend om hun mensenoffers, die ze uitvoerden in de overtuiging dat anders de zon niet meer zou opkomen. De "Azteken" noemden zichzelf Culhuah, Mexicah of Tenochcah. De Spaanse conquistadores noemden hen Mexicas. Het woord "Azteken" komt van het Nahuatl Aztecah, "mensen uit Aztlan". Aztlan was een mythische plaats ergens in het noorden waar de Azteken zeiden vandaan te komen. Voor de Azteken zelf was het niet gebruikelijk zichzelf met Aztecah aan te duiden. Over het algemeen werden met Aztecah alle mensen die Nahuatl spraken genoemd, en dat waren niet alleen mensen binnen het Azteekse rijk zelf, maar ook bijvoorbeeld de Tlaxcalteken, gezworen vijanden van de Azteken.

In het begin waren de Azteken huursoldaten voor de stadstaten die waren ontstaan na de val van het Tolteekse Rijk. Hier kregen ze erg veel geld en respect voor, en zo konden Azteekse leiders trouwen met Tolteekse vorsten. Van 1372-1427 waren de Azteken vazallen van de Tepaneekse koning Tezozomoc. Na de dood van de koning werd hij opgevolgd door Maxtla, een wrede man. Kort hierna overleed de Azteekse leider Chimalpopoca, waarschijnlijk gedood door zijn oom Itzcoatl die opvolger werd. Daarna sloot hij een verbond met Nezahualcōyotl van Texcoco. Ze belegerden de Tepaneekse hoofdstad Azcapotzalco. Na honderd dagen belegering gaven de Tepaneken zich over. Maxtla werd opgeofferd. Hierna voegde Tlacopan zich bij Tenochtitlan en Texcoco en samen vormden deze 3 steden het Azteekse rijk. Daarna bleef het rijk zich vergroten door de opvolgers van het Azteekse rijk.

De Azteken leefden in clans. Meerdere clans vormden samen een altepetl. Dit was de kleinste bestuurlijke eenheid, het bestond meestal uit een dorp of stad met het gebied eromheen.

De Azteekse bevolking was ingedeeld in twee klassen. De gewone bevolking en de adel. De klassen waren erfelijk, maar een burger kon opklimmen tot adel door een succesvolle carrière in het leger. Daardoor hadden de Azteken altijd genoeg mensen in het leger. Ook konden de adel hun stand verliezen door zwakte te tonen in tijd van oorlog. Opvallend was wel dat de adel zwaardere straffen kreeg dan de bevolking omdat zij het voorbeeld moesten geven. Pochteca's waren gewapende handelaren. Ze deden dienst als spionnen en probeerden onrust te stoken in steden die Azteken van plan waren te veroveren. Ze



waren over het algemeen de rijksten van de Azteekse samenleving en mochten alleen met een andere pochtteca trouwen. Slavernij was in de Azteekse samenleving niet erfelijk. De meeste mensen waren slaaf geworden na een misdrijf, doordat ze krijgsgevangene waren genomen of om een schuldeiser af te betalen. Slaven konden niet doorverkocht worden.

Volgens een Azteekse legende zou in het jaar 1519 de god Quetzalcoatl uit het oosten komen om zijn rijk op te eisen. Daarbij kwam dat er nog meer voortekenen werden gezien, zoals een komeet en een brand in een tempel. De Azteken gingen daarom extra veel mensen offeren. Veel steden die eerst bondgenoten waren, gingen nu in oorlog tegen elkaar.

Toen de Spanjaarden onder leiding van Hernán Cortés in Mexico aankwamen, dachten de Azteken dat Cortés misschien wel hun god kon zijn. Quetzalcoatl had namelijk het zelfde uitzicht als Cortés. Ook waren de Azteken onder de indruk van de schepen, de geweren en de kanonnen van de Spanjaarden, en ook hun paarden en honden waren speciaal.

De koning van de Azteken Montezuma twijfelde. Was Cortes hun god, of wilde hij hun rijkdom stelen. Daarna besloot hij Cortés geschenken te geven en hem verbieden naar Tenochtitlan te komen. Maar ze hadden goud geroken en besloten toch te gaan naar Tenochtitlan. Vergezeld door de vijanden van de Azteken, zoals de Tlaxcalteken die veel belangrijke militaire informatie gaven.

De Spanjaarden konden hun ogen niet geloven en zijn beginnen zoeken naar nog meer goud, en na zes dagen vonden ze achter een dichtgemetselde muur kamers vol goud en juwelen. Kort na de vondst doodden de Azteken twee Spaanse boodschappers. Cortes besloot Moctezuma te gijzelen. De Spanjaarden sloegen de beelden van de goden stuk en verboden de mensenoffers. Toen de Spanjaarden de Azteken verbieden om een ceremonie te doen ontstond er chaos weer Moctezuma om het leven kwam. Cortes probeerde 's nachts met zijn soldaten te vluchten. Hierbij verloor hij veel soldaten. Maar later kwam hij terug met een leger van 1000 Spanjaarden en 150.000 Mexicaanse bondgenoten.

Het werd een enorme veldslag: duizenden Azteken lagen dood op straat en iedere gevangengenomen Spaanse soldaat werd meteen geofferd. Na een aantal maanden belegering gaf de laatste Azteek zich over. Het Azteekse rijk werd als Nieuw-Spanje een Spaanse kolonie.

1.2.1.2. Ontdekkingen in de astronomie

De Azteken hadden hun eigen kalender ontwikkeld aan de hand van de sterren en de planeten. De kalender bevat een 365-dagencyclus voor het jaar genaamd xiuhpohualli (jaartelling) en een 260-dagencyclus voor rituelen genaamd tonalpohualli (dagtelling). Deze twee cyclussen samen vormden een 52-jarige eeuw, soms ook wel een ronde kalender genoemd. Het kalenderjaar begon met de eerste verschijning van Plejaden (een open sterrenhoop in het sterrenbeeld stier) in het oosten vlak voor de dageraad.

1.2.1.3. Andere ontdekkingen

De Azteken gebruikte een twintigdelig talstelsel. In plaats van vijf vingers aan één hand en tien vingers aan beide handen werd er doorgeteld op de tenen van beide voeten. Veel Zuid-Amerikaanse Indianenstammen gebruiken dit talstelsel nu nog. Ook in Europa moet het twintigtalig stelsel ooit in gebruik zijn geweest. Heel bekend is het merkwaardige Franse telwoord quatre-vingt voor 80.

1.2.2. Inca's

1.2.2.1. Situering

De Inca's waren een indianenvolk dat leefde in de Andes, op het kruispunt van het huidige Ecuador, Peru, Bolivia, Argentinië en Chili. Hun glorie tijd duurde ruwweg van 1438 tot 1532, dus slechts een eeuw. Het gehele rijk werd verwoest door de Spanjaarden onder leiding van Francisco Pizarro. Het Incarijk besloeg ruwweg het gebied van de huidige landen Peru en Bolivia en de noordkant van Argentinië. Vele hedendaagse gebouwen in de Peruaanse stad Cuzco zijn gebouwd op resten van oude Incagebouwen, want Cuzco was de hoofdstad van het rijk.

Vanuit Cuzco, hun hoofdstad, breide ze hun rijk uit door verovering van andere stammen, zowel in de Andes als langs de kust. Zo breide ze hun rijk uit van noordwesten van Argentinië, het noorden van Chili en het zuiden van Ecuador. Ze noemden hun rijk zelf "Tawantinsuyu" (het rijk van de vier streken, verwijzend naar de vier regio's die aan de hoofdstad grensden).

In 1532 veroverde Francisco Pizarro het Incarijk en maakte het tot de Spaanse kolonie

Peru. Manco Inca Yupanqui, zoon van een inca koning, trok zich echter terug in de bergen. Manco en zijn opvolgers zouden nog tot 1572 over een ingekrompen Incastaat blijven regeren en het de Spanjaarden lastig maken. Wanneer de Spaanse veroveraars het Incarijk binnenvielen, was de bevolking al ernstig verzwakt doordat de pokken vanaf het noorden



van het land waren binnengekomen en de helft van de bevolking gedood waaronder hun leider. Hierna ontstond een burgeroorlog tussen zijn zonen Huáscar en Atahualpa om het rijk. Uiteindelijk wist Atahualpa Huáscar gevangen te nemen. Daarna heeft Atahualpa zijn intrek genomen in Cajamarca, omringd door een enorm leger.

Ondertussen was Francisco Pizarro, een Spaanse conquistador (een Spaans ontdekkingsreiziger en veroveraar van Latijns-Amerika), in het noorden aangekomen. Hem werd de weg naar Cajamarca gewezen, door Inca's die Atahualpa van de troon wilden. In Cajamarca wist Pizarro Atahualpa met een list gevangen te nemen, daarna werden veel hooggeplaatste Inca's gedood. Atahualpa had namelijk gewenst de Spanjaarden zonder beveiliging te ontmoeten, en zonder dat zijn onderdanen wapens zouden dragen. De list van Pizarro was waarschijnlijk niet gelukt als Atahualpa het gevaar van de Spanjaarden had ingezien. De keizer zag de Spanjaarden echter voornamelijk als slechtgemanierd en vooral onbetekenisvol. Hij nodigde de Spanjaarden uit in zijn hoofdstad, hetgeen er volgens velen op duidt dat Atahualpa de Spanjaarden de pracht en praal van het Incarijk wilde laten zien, om ze zo te imponeren. Ook waren de Spanjaarden zo zwaar in de minderheid dat een aanval bespottelijk moet hebben geleken. Had Atahualpa de Spanjaarden niet onderschat,

dan had hij ze waarschijnlijk gevangen kunnen nemen en dan was de geschiedenis van de Andes misschien heel anders gelopen.
(www.wikipedia.org 14/01/2010)

Na Atahualpa's gevangenneming wisten de generaals niet meer wat te doen aangezien ze geen boodschappen meer kregen. De Spanjaarden vielen het leger bij verrassing aan. Ze waren met 1 tegen 1000 in de minderheid, maar wisten met hun tactiek, vuurwapens, harnassen en paarden de Incalegers in een eenzijdige veldslag te verslaan. Tienduizenden Incasoldaten werden afgeslacht. Later ging het Inca rijk ten onder in Cuzco.

1.2.2.2. Ontdekkingen in de astronomie

De hemel zoals door de inca's werd waargenomen is niet te vergelijken met hoe wij die heden ten dage zien. Zij zaten op zeer grote hoogten, zonder lucht en licht vervuiling. Op deze hoogten was de hemel goed zichtbaar: de melkweg zal zeer helder geweest zijn en elke ster goed zichtbaar. De inca's observeerden de bewegingen van zon en maan en melkweg, waarin ze naast de lichtobjecten ook de 'donkere wolken' (ruimte tussen de sterren) bekeken.

Zon

Aan de hand van bewegingen van de zon werden de twee belangrijkste rituele data van het jaar berekend: de zomer- en de winter- solstitia of zonnewende, respectievelijk Capac Raymi (het inca midzomerfeest in december op het zuidelijk halfrond ter ere van de zonnegod) en Inti en Raymi (het Inca midwinterfeest in juni). Voor het observeren en vastleggen van de beweging en de cyclus van de zon gebruikte men speciale stenen platforms: Intihuatana. Ze waren vooral geïnteresseerd in de zons opkomst en ondergang, maar ook in de zenit (zon op zijn hoogste punt t.o.v. de evenaar, zo dat er geen schaduwen zijn) en antizenit (de zon op zijn laagst t.o.v. evenaar) passages van de zon.

Maan

de inca's bekeken de maan om onder andere hun maankalender te kunnen berekenen. Deze kalender werd voornamelijk door het volk gebruikt. Het toenemen en afnemen van de maan werd gebruikt om maandelijks cyclussen te berekenen, waar de tijd periodes voor de inca feesten op gebaseerd werden. Zilver werd gezien als de tranen van de maan.

De melkweg

Inca's noemden de melkweg MAYU, 'hemelse rivier', en zijn seizoensgebonden posities aan de nachthemel vormen het uitgangspunt voor o.a. diverse kalender berekeningen. Uitgaand van de melkweg werden er veranderingen op aarde in kaart gebracht, en aan de hand daarvan werden de dagen, seizoenen en jaren ingedeeld en werd er een rituele kalender vastgesteld.

Bij de observatie van de melkweg heeft men te maken met een rotatie, waarin het rotatie vlak een hoek met het rotatievlak van de aarde maakt van tussen de 26 graden en 30

graden. Worden de bewegingen van de melkweg vanaf het zuidelijk halfrond gevolgd , dan verdeelt de 'hoofdbedding' van de 'rivier' de hemel in drieën (boven de Mayu, onder de Mayu en de Mayu zelf). In de eerste helft van het jaar 'kantelt' de Melkweg van rechts naar links, in de tweede helft van links naar rechts. In de loop van 24 uur gaat Mayu door zenit, waarbij hij twee elkaar doorsnijdende assen vormt, die gericht zijn van het noordoosten naar het zuidwesten en van het zuidoosten naar het noordwesten. Deze verdeling van de hemel bood coördinaten aan de hand waarvan alle andere hemellichamen in kaart konden worden gebracht . In de melkweg waren naast de sterren en planeten ,ook de 'donkere wolkbeelden' van even groot belang voor de inca's. Dit waren lege ruimten die werden gezien als donkere wolken tussen de sterren.

(http://www.spiriwiki.com/index.php?title=Inca's_-_Astrologie 23/01/2010)

1.2.2.3. Andere ontdekkingen

Een bijzonder wapen dat de Inca's gebruikten waren gloeiende stenen, gewikkeld in een met brandbare vloeistof doordrenkte doek. Wanneer deze stenen naar de vijand werden geslingerd, vatten ze door de wrijving vlam, waardoor ze insloegen als brandbommen. De muren van stenen gebouwen bestonden uit stenen die zo in elkaar waren gelegd, zodat cement niet nodig was. Doordat ze op deze manier bouwden waren hun huizen veel beter bestand tegen aardbevingen. Daardoor hadden ze een streepje voor op de spanjaarden.

1.2.2.4. Weetjes

Het leger in oorlogstijd bestond uit ongeveer 250.000 soldaten, in vreedstijd uit 70.000 manschappen.

Recent onderzoek (in Machu Picchu) duidt aan dat langs de rand van de stad de stenen (exacte) kopieën zijn van de omringende bergen. Er wordt verondersteld dat de inca's de bergen als goden beschouwden en ze vereerden.

De Inca's geloofden in een leven na de dood en ze vereerden ook hun voorvaderen. De lichamen van hun voorvaderen waren de belangrijkste voorwerpen binnen het rijk. Het was net alsof ze nog leefden, want de Inca's spraken met hun voorvaderen over de dingen die gingen gebeuren. Door het gehele rijk werden nieuwe, betere paden aangelegd, de zogenaamde Incapaden, deze waren 22.000 km lang .



1.2.3. Maya's

1.2.3.1. Situering

De Maya's zijn een volk in het zuiden van Mexico en noordelijk Centraal-Amerika. Er zijn 8 á 9 miljoen Maya's, verdeeld over 29 verschillende volkeren. In Guatemala wonen zo'n 6 miljoen Maya's, in Mexico 2,5 miljoen en in El Salvador, Belize en Honduras elk enkele duizenden.

In de Maya cultuur ontstond een stadstatencultuur, gebaseerd op intensieve landbouw. De piramiden, die werden gebouwd in hun religieuze centra, zijn hiervan de meest indrukwekkende overblijfselen. Zij gaan vergezeld van de paleizen van hun koningen. Andere belangrijke overblijfselen zijn de opgerichte stenen die steles genoemd worden en hun vloten die in die tijd veel gebruikt werden, ook door andere volkeren. De staten hadden onderling dikwijls oorlog. De maatschappij van de Maya's kende een strikte hiërarchie en was onderverdeeld in klassen, zoals die van ambachtslieden, kooplieden en boeren.

De vroegste monumenten dat ze hebben gevonden bestaan uit eenvoudige grafheuvels waarvan er een aantal in vrijwel intacte staat te vinden zijn in El Salvador. Deze zouden zich echter in latere tijden tot imposante, uit steen opgetrokken piramides ontwikkelen. In Cival in het laagland van Guatemala zijn daarvan al voorbeelden uit de 3e eeuw v.Chr. In later tijden ontstonden de beroemde steden Tikal, Palenque, Copán en Calakmul, naast Dos Pilas, Uaxactun, Altun Ha en vele andere steden.



Christoffel Columbus kwam in 1502 waarschijnlijk al in contact met Maya-handelaren, maar men gaat ervan uit dat de mislukte expeditie van Diego de Nicuesa in 1511 de eerste Europeaan was die de Mayabeschaving aantrof.

De Spanjaarden begonnen rond 1520 aan de verovering van het Mayagebied. Pedro de Alvarado onderwierp in 1523-1524 het Guatemalteekse hoogland terwijl Francisco de Montejo, in 1546 door handig gebruik te maken van onderlinge rivaliteit tussen de Mayasteden Yucatán wist te onderwerpen. Een aantal van de Mayastaten bood taai verzet en het gebied was pas in 1697 volledig in Spaanse handen, alhoewel er nog regelmatig opstanden uitbraken. Nog in de negentiende eeuw raakte de Mexicaanse regering haar greep op Yucatán bijna volledig kwijt toen de Maya's tijdens de Kastenoorlog in opstand kwamen. De laatste schermutselingen vonden plaats in 1933.

1.2.3.2. Ontdekkingen in de astronomie

De Maya's hadden niet alleen een theoretische tijdsrekening, waarbij de dagen die voorbijgingen werden bijgehouden. Ook waren ze deskundig op het gebied van de astronomie. Nu steeds meer steden aan de jungle zijn ontworsteld en zijn onderzocht door archeologen, is komen vast te staan dat de ligging van tempels en andere gebouwen van het allergrootste belang was. Net als de andere volkeren van Midden-Amerika hielden de

Maya's zich sterk bezig met de hemel en de bewegingen van de planeten. Vaak werden deuropeningen en dakkammen, een karakteristieke kenmerk van de klassieke Mayatempels, op zo'n manier gebouwd dat de Maya's de opkomst, de culminatie of de ondergang van bepaalde sterren konden observeren. Met name waren ze geïnteresseerd in de bewegingen van de Plejaden-sterrengroep en van de planeten Mercurius, Venus, Mars en Jupiter. Vanzelfsprekend hielden ze de zon en de maan scherp in de gaten, waardoor ze verduisteringen nauwkeurig konden voorspellen.

Door hun kennis van astronomie leken koningen en priesters de seizoenen en andere gebeurtenissen in de levenscyclus te bestieren. Verder werd hun aanzien nog verhoogd doordat zij indrukwekkende bouwsels lieten neerzetten, zoals de Caracol te Chichén Itzá, die hemelse gebeurtenissen op dramatische wijze aanschouwelijk maakte. De Caracol, vroeger beschouwd als observatorium, wordt nu door archeologen geacht een tempel te zijn geweest die was gewijd aan Kukulcan in zijn gedaante als god van de wind. De raamopeningen werden zo aangebracht dat ze corresponderen met bepaalde standen van Venus en de zon. De heldere planeet Venus, die vóór de zon opkwam en na de zon onderging, werd als tweeling van de zon en als een oorlogsgod beschouwd. Priester-astronomen stelden complexe, 584 dagen tellende cyclus van Venus, op en schiepen ten slotte een almanak die een combinatie vormde van de cycli van de zon, Venus en de Heilige Almanak, en die waarschijnlijk werd gebruikt voor het plannen van veldslagen en offers. Deze grote Venus-almanak doorliep 104 jaar, 65 Venus-cycli, en 146 zwangerschapsperioden. Aan de hand hiervan konden priesters voorspellen dat zich elke 173,3 dagen een zons- of maanverduistering kon voordoen. Dit was pure magie in de ogen van de gewone Maya.

(http://www.mayasite.nl/maya_en_de_sterrenkunde.htm 23/01/2010)

1.2.3.3. Andere ontdekkingen

De Maya of misschien hun Olmeekse voorgangers hadden geheel onafhankelijk het begrip 'nul' (dat in de Oude Wereld pas laat werd ingevoerd) ontdekt. Ze gebruiken het getal 20 als grondtal van hun talstelsel. Inscripties vermelden soms getallen die tot in de honderden miljoenen reiken.

1.2.4. Kelten

1.2.4.1. Situering

De Kelten is eigenlijk de verzamelnaam voor volkeren of stammen die in het eerste millennium voor Christus leefden en dezelfde taal spraken. Er waren 2 belangrijke invloedsteden; La Tène en Hallstatt. Ze waren vooral verspreid in Frankrijk, Spanje en Zuid Duitsland, maar ook in Engeland leefden de Kelten.

De Kelten leefden in kleine gemeenschappen in Europa. Deze gemeenschap werden bestuurd door een hoofdmans. Deze gemeenschappen bestonden uit kleine groepen mensen. Omdat de stammen niet groot waren en niet nauw samenhangen, konden ze snel integreren met de lokale bevolking. De meeste Kelten deden aan veeteelt of landbouw.

1.2.4.2. Ontdekkingen in de astronomie

De meeste informatie over de Kelten hebben we verkregen door de Romeinen. Schrijvers zoals Strabo schreven over de Keltische cultuur. Hun godsdienst was polytheïstisch wat betekent dat ze in meerdere Goden geloofden. Ze geloofden in een instant hiernamaals; dit betekent dat als je sterft, je onmiddellijk herboren wordt los van goede of kwade daden. Er bestond voor hen dus niet echt een moment waarbij je dood was.

De maankalender en zonnekalender

Onze voorouders, de Kelten gebruikten vroeger een Maandkalender. Deze was gebaseerd op de Maan. Door observatie van de Maan kwamen ze op een Maancyclus van 28 dagen, die werd verdeeld in 4 delen van 7 dagen

-Nieuwe Maan

-1e kwartier

- Volle Maan

-Laatste Kwartier

Later hebben wij overgeschakeld op de Zonnekalender, gebaseerd op de veranderingen van de Zon. De Kelten zagen dat de Zon in de winter een kleine boog maakt, en dus laag aan de hemel blijft, tegelijk zijn de dagen korter. In de zomer volgt de Zon een grote boog hoog aan de hemel, dit valt samen met lange dagen. Deze bewegingen werden door de Druïden vastgelegd. Ze deden dit door een stok in de grond te slaan op de plaats waar de zon opkwam in het Oosten. Dit herhaalden ze elke dag. De stokken schoven langzaam op naar het Noorden. Bij de Zonnewende bleven de stokken drie dagen op dezelfde plaats staan om daarna langzaam terug te keren. Tijdens de winterzonnewende werd het laagste punt bereikt. Tusschenin wanneer de dagen even lang waren als de nachten had je dan de lente- en herfstevening. Men kon hiermee de zon bepalen. De stokken waren eerst in hout, pas later werden ze vervangen door stenen. Zo ontstond het door iedereen gekende Stonehenge.

De 13 Manen van de Kelten en hun overeenkomstige bomen

De eerste boom van de dertien is de BERK en valt samen met de eerste Maan na de winterzonnewende. De berk heeft een witte stam en werd aan de Zon toegewijd, men sprak van de overwinning van het zonlicht op de duisternis (de winterzonnewende). De berk kan het meest Noordelijk groeien, het is een heel taaie boom en staat symbool voor vernieuwing, reinheid en zuivering.

De tweede boom van de dertien is de LIJSTERBES. Dit is een vrouwelijke boom, in het najaar heeft deze mooie oranjebessen; hij wordt niet groot en heeft vedervormige bladeren. Deze boom staat voor bescherming, en wordt geassocieerd met het hert en Mercurius en met de tweede Maan na de winterzonnwende..

De derde boom van de dertien is de ES. Dit is een mannelijke boom, een hoge boom die gebruikt werd voor het maken van stelen voor gebruiksvoorwerpen. Het hout is sterk, soepel en heel recht. Het symboliseert de verbinding tussen de hogere en de lagere wereld. In het Germaans heet deze Yggdrasil of levensboom. Deze boom wordt geassocieerd met de ever en met Mars en Jupiter en met de derde Maan na de winterzonnwende.

De vierde boom van de dertien is de ELS. Deze boom draagt typische katjes en is een waterboom bij uitstek. Het is een vrouwelijke boom. Als je er een tak afscheurt dan geeft deze een rode kleur af. Het is de enige boom die niet rot in het water, en het hout ervan werd dan ook in de grond gebruikt als steunpunt. Deze boom wordt geassocieerd met de bij en met de planeet Venus en met de vierde Maan na de winterzonnwende.

De vijfde boom van de dertien is de WILG. De wilgenbast werd gebruikt als pijnstiller. Salinezuur wordt bv. gebruikt in aspirientjes. De wilg staat voor levenskracht en reïncarnatie. De wilg zuigt veel water, en werd gebruikt als vrouwelijke staf. Het hout van de knotwilg werd gebruikt om te vlechten. Deze boom wordt geassocieerd met de Maan en met de wolvin en met de vijfde Maan na de winterzonnwende.

De zesde boom van de dertien is de MEIDOORN. Deze staat bekend voor de vruchtbaarheid en wordt geassocieerd met Venus en de stier en met de zesde Maan na de winterzonnwende.

De zevende boom van de dertien is de EIK. Je hebt de zomereik en de wintereik. De zomereik heeft géén steeltje en de wintereik wel. Onder deze bomen werden belangrijke vergaderingen gehouden. De druïden werden de wijze mannen van de eik genoemd.

De achtste boom van de dertien is dan de HULST. De hulst stekelt, en is een boom die erg dwars kan liggen. De hulst draagt hosten. De Hulst wordt geassocieerd met Mercurius en Mars en met de achtste Maan na de winterzonnwende.

De negende boom van de dertien is de HAZELAAR. Deze gebruikt men voor de mannelijke staf en wordt geassocieerd met wijsheid, met de raaf en met de negende Maan na de winterzonnwende.

De tiende boom van de dertien is de BRAAM. Deze werd door de Kelten ook als een boom gezien. De braam kan een belangrijke hindernis vormen, en voor problemen onderweg. Deze boom viel samen met een Maan in het najaar (de tiende dus), een moeilijke periode. Hij werd geassocieerd met Pluto, Neptunus en met de Steenbok.

De elfde boom van de dertien is de KLIMOP. Deze overwint de barrière, via de klimop kom je boven de braam. Hij werd geassocieerd met de arend en met Uranus en met Saturnus en met de elfde Maan na de winterzonnwende.

De twaalfde boom van de dertien is het RIET. Deze viel samen met de Maan van eind oktober begin november. Het Riet is bekend voor zijn enorme buigzaamheid, en de oogst van het riet werd gebruikt als dakbedekking. Deze boom werd geassocieerd met Neptunus en de zalm.

De dertiende boom van de dertien is de VLIER. Deze viel samen met de donkerste periode van het jaar en met de dertiende Maan na de winterzonnwende. Van deze boom kan je vlierwijn maken. Hij werd geassocieerd met Mars, Pluto en de draak.

1.2.4.3. Weetjes

De Kelten hadden voor het eerst de broek uitgevonden, uiteraard ver van wat wij kennen; Het was meer een lap stof die ze met behulp van een riem vastmaakten.

Het tatoëeren is bij de Kelten ontstaan, vooral de Kelten in Engeland hadden deze gewoonte.

Gerookte en gezoute ham is typisch van de Kelten, zonder hen hadden we dit nooit gekent.

1.2.5. Romeinen

1.2.5.1. Situering

De eerste Romeinen (Ca 6de eeuw v. chr.) woonden eigenlijk in de stad Rome, ze hadden zich gevestigd op de heuvels van Latium aan de rivier de Tiber. De inwoners van Rome stamden af van de Etrusken (ze spraken een niet Indo-Europese taal). Ze voerden oorlog met een naburige stad Alba Longa. Maar na deze overwonnen te hebben werden zij de belangrijkste stad in Italië.

1.2.5.2. Ontdekkingen in de Astronomie

De dierenriem van de Romeinen (Zodiacus)

Alhoewel de chinese en indische culturen al lang voor hen een dierenriem hadden bedacht, werd ook bij de Romeinen een gelijkaardige dierenriem opgesteld. Net zoals bij de Chinezen bestond dit uit 12 sterrenbeelden. Enkel de weegschaal was er toen nog niet aan toegevoegd. De twaalf sterrenbeelden zijn:

- Aries 21 maart-20 april
- Taurus 21 april-21 mei
- Gemini 22 mei-21 juni
- Cancer 22 juni-23 jul
- Leo 24 juli-23 aug
- Virgo 24 aug-23 sept
- Libra 24 sept-23 okt
- Scorpius 24 okt-22 nov
- Sagittarius 23 nov-22 dec
- Capricornus 23 dec-20 jan
- Aquarius 21 jan-19 feb
- Pisces 20 feb-20 maart

1.2.5.3. Andere ontdekkingen

Bij de Romeinen nam astrologie een zeer belangrijke plaats in. Bij alles wat de keizers wilden ondernemen, werd de astrologische kalender geraadpleegd. Zelfs vrouwen aan de keizerlijke hoven maakten geen uitstapje zonder gebruik van astrologische kennis. Klopte de uitkomst niet met de theorie, dan had de astroloog zijn werk niet goed gedaan of hij had zich vergist.

Men kan besluiten dat de Romeinen het heelal vooral zagen als een bron van waarzeggerij en voorspellingen, eerder dan er de wetenschappelijke kennis uit te halen.

1.2.5.4. Weetjes

Bij de Romeinen bestond het getal nul niet.

Julius Caesar vond dat de Belgen de dappersten der Galliërs waren.

Het Romeinse jaar in de maand maart begon. De maand waar de Oorlogsgod Ares als sterrenbeeld te zien was.

1.2.6. Egyptenaren

1.2.6.1. Situering

De Egyptische beschaving ontstond rond 3300 jaar v. chr. langs de Nijl. Samen met de Eufraat en de Tigris werd dit gebied de Gouden Sikkkel genoemd. Men kan de Egyptische periode indelen in drie grote delen: Het Oude Rijk(2639-2216)), Het Middenrijk(2040-1793) en het Nieuwe Rijk(1550- 1070). Daartussen zit telkens een tussenperiode.

1.2.6.2. Ontdekkingen in de Astronomie

De astronomie en andere wetenschappen kende een zeer hoog niveau bij de Egyptenaren. De Egyptische farao's geloofden dat ze na hun dood naar de hemel gingen om verder te leven als een circumpolaire ster. Ook de piramides duiden op de kennis die ze hadden over de astronomie.

1.2.6.3. Andere ontdekkingen

Piramiden en Sfinx

De 3 Grote Piramiden en Sfinx die in de vlakte van Gizeh te vinden zijn, hebben altijd al grote bewondering gehad. Vooral de Piramide van Cheops kent veel mysteries. Ze zou gebouwd zijn door de hulp van buitenaardse wezens volgens de SETI theorie. Wat uiteraard zeer ver gezocht is. Een bijzonder iets, is dat de Piramide perfect het Noorden en het zuiden aanwijst. De sfinx zou door de vluchtelingen van de gezonken stad Atlantis (ca. 10 500 jaar geleden) gebouwd zijn.

Egyptische Goden

De Egyptenaren geloofden niet in 1 god, maar in meerdere goden. Iedere god had zijn eigen taak. In veel gebieden hadden de goden weer andere namen. Iedere grote stad had ook zijn eigen beschermgod. De Egyptenaren maakten tempels voor de goden en dachten dat de goden daar leefden. Iedere dag brachten ze eten en drinken naar de tempel.

Amon - Re : schepper van het heelal

Sjoe : god van de Lucht

Geb : god van de Aarde

Noet : godin van de hemel en vooral de sterren

Hathor : godin van de liefde , muziek ,dans, dronkenschap ,erotiek

Anoebis: god van de mumificatie en de begeleider van de doden

Osiris : God van het dodenrijk en van de vruchtbaarheid, goedheid , wijsheid

Isis : godin van de magie , liefde en beschermingsgodin

chnoem : god van de nijl overstroming , vruchtbaarheid en schepper van alle levende wezens

Thot : god van het schrift en wijsheid

Maät : godin van het evenwicht en recht in de wereld

Seth : god van het kwade en de chaos , woestijn- god

meskhenet : geboortegodin ,vruchtbaarheidsgodin

bastet : beschermingsgodin , de vrouwelijke godin

Ptah : schepper , de ka

Khepre : god van de zon

Moet : moedergodin

bes : beschermer van het huis en de familie

sobek : krokodillengodin , water

seckmet : oorlogsgodin

1.2.6.4. Weetjes

In de 19de eeuw werden mummies gebruikt als brandstof voor de kachel, Omdat er erg veel opgegraven werden.

Papyrus is de eerste vorm van papier en werd al rond 3000 v. chr door de Egyptenaren in gebruik genomen het werd gemaakt uit de Papyrusplant. Een kenmerk van Papyrus is dat het goed te bewaren is.

1.2.7. De Grieken

1.2.7.1. Situering

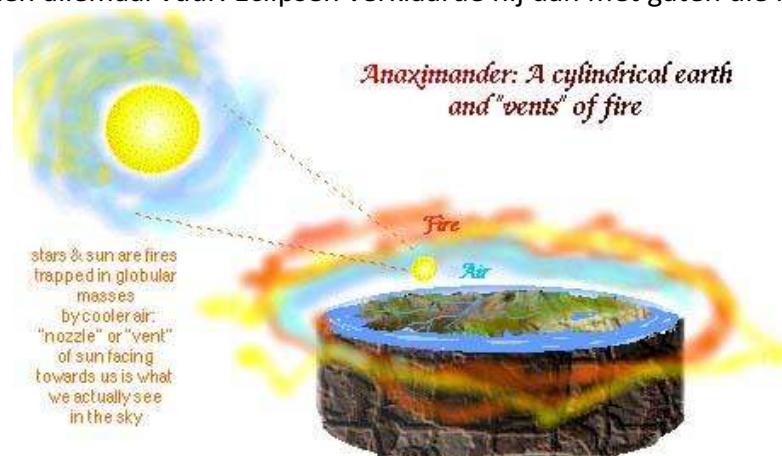
De Grieken hebben tot 600 v.C. een wereld beeld gehad die je kan vergelijken met een schijf aarde met daar rond de oceaan. Daar allemaal boven een omgekeerde kom met lucht en daarbuiten ether. Aan de onderkant van de aarde bevond zich de onderwereld waar de zon niet scheen.



Daarna kwam de ionische revolutie. Die wereld beelden hadden veel minder te maken met goden en meer wetenschappelijk. In die ionische revolutie had je drie wereldbeelden.

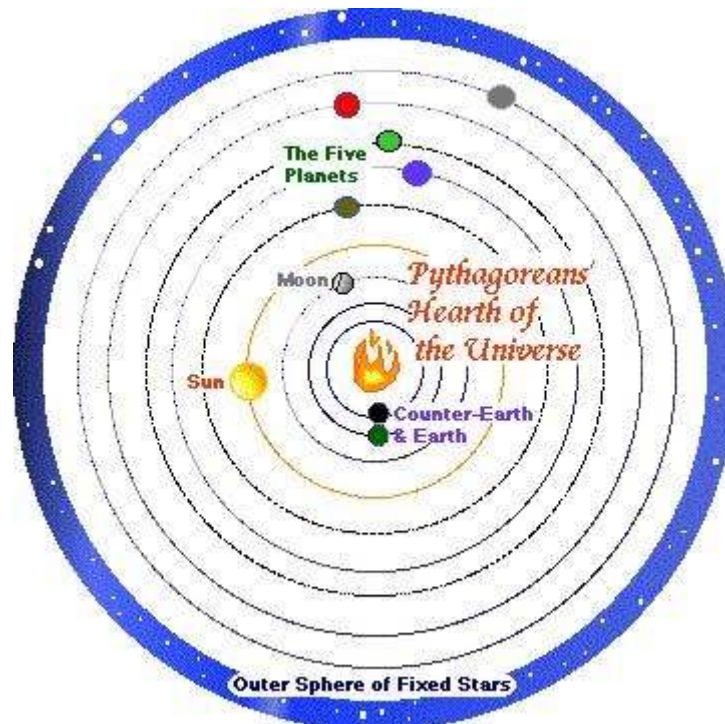
De eerste is die van Thales van Milete, een van de eerste natuurfilosofen (ca. 585 v.C.). Er zijn veel dingen op zijn naam geschreven zoals de voorspeling van de eclips in 585v.C. Zijn wereldbeeld was ook een ronde schijf met water rond maar hij dacht dat de aarde uit een stof moest gemaakt zijn namelijk water. Sommige bronnen zegen dat hij daarom ook dacht dat de verhouding aarde, water steeds groter word en de aarde heel traag groter werd maar andere bronnen spreken dat tegen.

De tweede is die van Anaximander van Milete (ca. 550 v.C.). Hij zag de wereld noch altijd als een schijf aarde met water rond en lucht maar daar rond een soort scherm met gaten in en daarbuiten allemaal vuur. Eclipsen verklaarde hij dan met gaten die kleinen werden.



De derde is ook van Anaximander van Milete maar dan 25 jaar later (ca. 525 v.C.). Het blijft allemaal een beetje het zelfde maar verfijnt het door te zeggen dat aarde geconcerteerde lucht is en dat de aarde vuur uitademt.

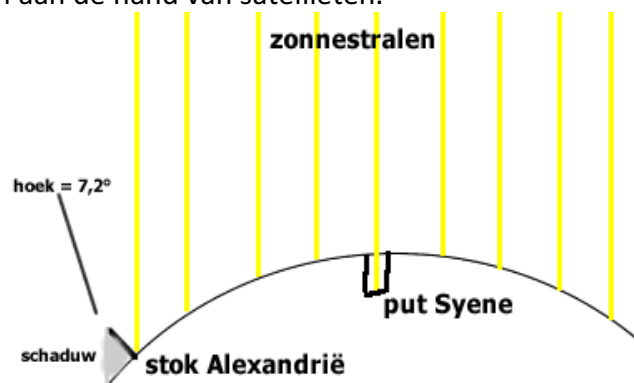
Daarna komen noch vele wereld beelden die de aarde laten ronddraaien of de rest laten ronddraaien zoals die van de Pythagoreërs (ca. 450v.C.), die werken met een conter-aarde.



En natuurlijk ook die van Eratosthenes (276-195 v.C.) waar de aarde rond is.

1.2.7.2. Ontdekkingen in de astronomie

Zoals daarnet vermeld werd heeft Eratosthenes een wereld beeld gecreëerd waarbij de wereld rond is. Hij was de directeur van de bibliotheek in Alexandrië waar hij heeft bewezen dat de aarde rond is. Hij deed dat op 21 juni omdat dan de zon loodrecht op de stad Syene scheen en er daar een put is waarvan de bodem op dat moment belicht is. Om 12u meet hij de schaduw aan een stok loodrecht op de aarde en die was $7,2^\circ$. Door middel van slaven die hun stappen telden tussen Alexandrië en Syene kon hij de diameter van de aarde bepalen. Zijn uitkomst was 252 000 staden ofwel 39 690km, dat scheelt maar 320km met wat we nu meten aan de hand van satellieten.



1.2.7.3. Andere ontdekkingen

Het Antikythera-mechanisme is gemaakt door de Grieken en kan allerlei dingen zoals eclipsen voorspellen maar meer daarover in het hoofdstuk 7

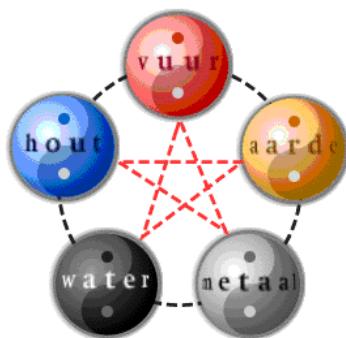
1.2.7.4. Weetjes

Door al die verschillende wereldbeelden gingen de filosofen niet meer samen gaan staan en werkten ze allemaal aan het eigen beeld. Daardoor was het ook zeer gemakkelijk voor Augustinus van Hippo (ca 400 n.C.) om al die wereldbeelden weg te schuiven en er een op te stelen in het belang van het Christendom waar de aarde plat is en met hemel en hel. De Grieken zaten als maar dichterbij het juiste beeld en dan heeft de Kerk er zich me gemoeid en alles voor meer dan 1000 verpest.

1.2.8. De Chinezen

1.2.8.1. Situering

De Chinezen keken veel naar sterren en hadden zoals andere volkeren hun eigen verhaal over hoe die zijn ontstaan. Maar de in vergelijking met andere volkeren zoals de Grieken probeerden zij niet om eclipsen te voorspelen maar probeerden zij de toekomst er in te lezen. Ook waren de Chinezen veel eerder en begint hun jaartelling in het jaar 2637 v.C. omdat dan de keizer Huang Ti de astrologie een officiële wetenschap heeft gemaakt.. Ik probeer maar duidelijk te maken waarom we nu niet over allerlei uitvinding zullen spreken maar wel over astrologie (= de leer om de toekomst te voorspelen aan de hand van de sterren). Later in het begin van de middeleeuwen begon men hier in West-Europa ook aan astrologie te doen aan de hand van de dierenriem (12 tekens van Ram tot Vis). Wel de Chinezen hadden ook zoiets als een dierenriem maar bij hen noemde die de Zodiak (12 tekens van Rat tot Varken). Maar die werkten niet volgens maanden zoals bij ons maar wel volgens jaren. Wat ook een opvallend verschil is, is dat de dierenriem niet enkel uit dieren bestaat maar de Zodiak wel. Zo heb je in de dierenriem ook de tweeling, de maagd en de weegschaal.



Het verhaal over hoe het komt dat er alleen maar dieren in komen is een verhaal dat te maken heeft met Boeddha. Er is een legende dat Boeddha alle dieren van het koninkrijk bijeen riep om hen vaarwel te zeggen toen hij de aarde verliet. Er kwamen maar slechts 12 dieren opdagen en Boeddha beloofde hen door ieder jaar naar een van het te noemen. Zo was het eerste dier die kwam opdagen de rat en het laatste het varken. Die legende kan niet kloppen omdat de Chinese astrologie al bestond voor Boeddha geboren was.

Oorspronkelijk waren er zelfs 28 dieren, voor elke dag van de maand 1.

We zitten hier maar te zeveren over Boeddha en dieren maar hoe zit de Chinese astrologie nu eigenlijk in elkaar? Welnu, eerst en vooral is je geboorteaar belangrijk want dat bepaald wel dier van de Zodiak je bent. Maar je geboorteaar bepaalt ook welk van de vijf elementen je bent. Aarde, metaal, water, hout en vuur zijn de elementen en die volgen elkaar ook op per jaar. Zo krijg je al 60 ($5 \cdot 12$) type mensen. Maar hier stopt het nog niet. Er zijn noch eens 12 dieren voor elke maand in het jaar en zo wordt elke dag noch eens opgedeeld in 12 dieren (elk 2 uur). Zo kom je al aan 8640 type mensen ($12 \cdot 5 \cdot 12 \cdot 12$). Er bestaat ook zoiets als de affiniteitsdriehoeken dat zijn (zoals te zien op de afbeelding) relaties tussen de verschillend dieren. Zo heb je de driehoek van de denker, doener, beschermers en de katalysators.



1.2.8.2. Ontdekkingen in de astronomie

De chinezen deden niet veel aan astronomie maar wel aan astrologie. Daardoor hebben ze ook niet veel uitgevonden dat van belang is.

1.2.8.3. Weetjes

Er is ooit een Chinese keizer geweest die de astrologie zo belangrijk en machtig vond dat hij verbood om er over te lezen en te leren. Zelfs de beste wetenschappers mochten er niet aan doen zodat hij de enigste van de wereld was die de toekomst kon voorspelen.

1.3. Navigatieinstrumenten

1.3.1. Inleiding

Al eeuwen probeert de mensheid een manier te vinden om zich te oriënteren in de ruimte. Vooral in de scheepvaart was dit een groot probleem, men bleef altijd de kustlijnen volgen en was er dus afhankelijk van. Reizen doorheen de grote oceanen was dus lange tijd onmogelijk of te gevaarlijk. Het was immers door die instrumenten dat de eeuw van de ontdekkingreizigers kon beginnen.

De breedtegraad was eenvoudig te bepalen, Dit gebeurde door de hoek tussen de zon en de horizon op het hoogste punt van de zonnebaan te meten en als de zon niet zichtbaar was kon men de poolster als referentiepunt nemen.

Voor het bepalen van de lengtegraad met behulp van de hoogte van de zon had men een zeer nauwkeurige tijdsbepaling nodig en die was eeuwenlang een groot probleem. Dit kon pas opgelost worden toen men 1762 voor het eerst een chronometer kon maken die nauwkeurig genoeg was afgesteld.

In dit hoofdstuk zullen we de soorten navigatieinstrumenten bespreken die men gebruikte in de scheepvaart.

1.3.2. De soorten instrumenten

1.3.2.1. Het Astrolabium



Een astrolabium is een toestel waarmee men de plaats, de hoogte van een hemellichaam kan berekenen in functie van de tijd. Het werd uitgevonden in de 4^{de} eeuw waarschijnlijk door Hypatia van Alexandrië. Het principe van een Astrolabium is een gradenboog verdeeld in 4 kwadranten. Men legde de nullijn gelijk met de horizon en kon zo op de gradenboog de hoogte van een hemellichaam bepalen. De Astrolabia waren zo vervaardigd dat men een voorstelling van de hemel, met sterren en planeten op pinnen kon zien, dit noemde men de rete. Men kon een bepaalde tijd instellen, om zo de stand van de planeten op dat bepaald ogenblik te zien. Ook werkte het mechanisme omgekeerd, men kon de positie van de sterren instellen om zo de tijd te kunnen aflezen. Het nadeel was echter dat men het astrolabium enkel op een bepaalde plaats kon gebruiken. Daarnaast veranderdt het heelal constant en was het astrolabium ook minder nauwkeurig. In de 16^e eeuw raakte het astrolabium in verval en werd het vervangen door de octant en later de sextant.

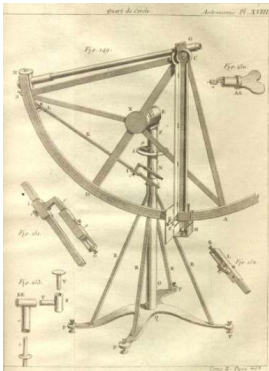
1.3.2.2. De Jacobsstaf



De Jacobsstaf is waarschijnlijk uitgevonden door de sterrenkundige Levi Gerson (1288-1324) (of wel Gersonides). Hij werd pas gebruikt in de zestiende eeuw voor landmeten en navigatie op zee. Het bestaat uit een houten liniaal met op iedere zijde een schaalverdeling en er loodrecht op een schuifbare lat. Men hield de schuiflat zo dat langs de bovenkant een hemellichaam te zien was en langs de onderkant de horizon te zien was. Op de schaalverdeling kon men zo de hoogte van een hemellichaam aflezen.

De Jacobsstaf was langer in gebruik op zee dan op het land. Het systeem werd vast al gebruikt in de oudheid, door de sterrenkundigen. Een zeevaarder kon hiermee de breedtegraad van zijn positie op de zee bepalen.

1.3.2.3. De kwadrant



De kwadrant is een verbeterde versie van het astrolabium. Het meet hoeken van 90° en het werd voor het eerst gemaakt rond 1480. Het instrument was zeer onnauwkeurig en als het schip heen en weer bewoog was het veel moeilijker om nog een juiste waarde af te lezen. Als men de hoogte van de zon wou meten, had men niet het probleem om direct in de zon te kijken. Men kon de zon links van zich laten liggen en zo de schaduw van de zon gebruiken om de hoogte te bepalen. Meestal waren de kwadranten groot en waren ze permanent op een plaats geïnstalleerd. Zoals de kwadranten die Tycho Brahe gebruikte in zijn sterrenwachtposten op Hven.

1.3.2.4. De Octant



De octant is gemaakt uit de reflecterende kwadrant. De gradenboog is een achtste van een cirkel dus 45° . Hij werd uitgevonden in 1730 door John Hadley en Thomas Godfrey, beiden vonden die tegelijkertijd uit, alhoewel Hadley eigenlijk de octant op zijn naam had staan. Later in 1732 werd hij uitgevonden door Jean-Paul Fouchy en in 1734 door Caleb Smith.

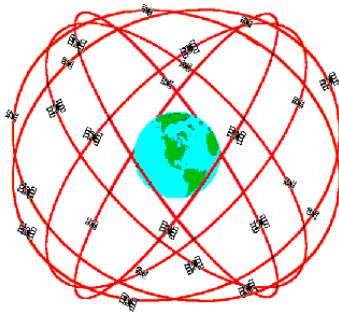
Het was makkelijker om een hemellichaam op een lijn te plaatsen ook al bewoog het schip. Ook de fout die de observator maakte was minder afhankelijk op het resultaat. De octant had de zelfde en zelfs grotere nauwkeurigheid dan een kwadrant. Men kon ook het omgevingslicht dimmen, zodat het mogelijk was om minder zichtbare sterren toch te kunnen observeren. In de 19^{de} eeuw werd de octant geleidelijk aan vervangen door de veel nauwkeuriger sextant. Maar de octant bleef in gebruik vanwege de lagere prijs en voldoende nauwkeurigheid voor handelsschepen of vissersschepen.

1.3.2.5. De Sextant



De sextant is volledig gelijkaardig met een octant enkel heeft die in plaats van een achtste, een zesde dus 60° op zijn gradenboog. Het grote verschil was dat er door dat er met spiegels gewerkt werd, de gebogen rand van de sextant 120° bedroeg en die van de octant slechts 90° . Ook kon men met behulp van de nonius die op de beweegbare arm is bevestigd tot op tienden de hoek van het hemellichaam met de horizon worden afgelezen. In 1767 werd de octant vervangen door de sextant.

1.3.2.6. De Moderne GPS



Het Global Positioning Systeem werd voor het eerst gebruikt in 1967 door de Amerikaanse strijdkrachten. In 1983 werd het vrijgegeven voor de gewone mens en sindsdien is het blijven groeien. Omdat de Europese Unie niet afhankelijk wou zijn van de Verenigde Staten, lanceerden zij een eigen systeem, Galileo genaamd. Het GPS systeem gebruikt 32 verschillende satellieten. Ze cirkelen op een van de zes banen op een hoogte van 20200 km. Deze banen zijn zodanig gekozen zodat je vanaf elke plaats op aarde minstens 4 satellieten waarneemt. In 1995 is het GPS systeem officieel op de markt gekomen om als commercieel doeleind gebruikt te worden. De satellieten beschikken over zeer nauwkeurige atoomklokken en er is dus een nauwkeurigheid van 10 meter. Vanaf 1 mei 2000 heeft het GPS systeem een grotere nauwkeurigheid gekregen, deze zorgt ervoor dat de gegeneerde fout op nul wordt herleid.

1.3.3. Woordenlijst

Nonius: Dit is een secundaire schaal, deze kan worden verschoven ten opzichte van een vaste primaire schaal.

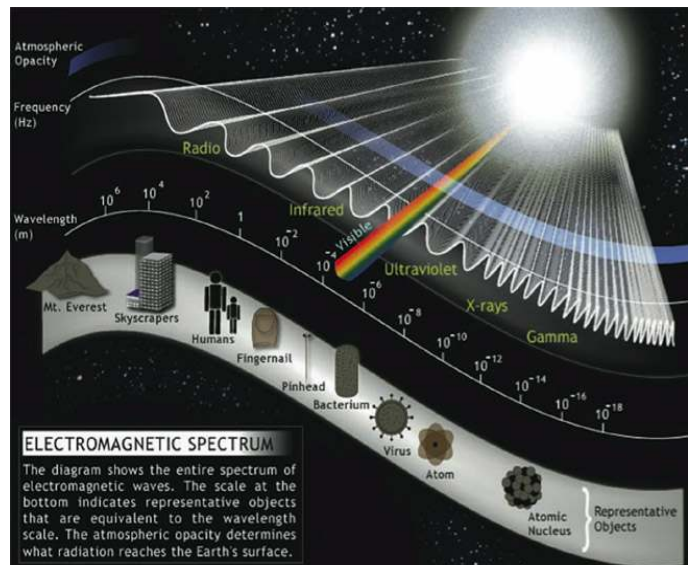
Atoomklokken: Dit is een klok die om het meten van de tijd de trillingen van atomen gebruikt. Doordat de frequentie constant is en er slechts een afwijking voorkomt na miljoenen jaren.

2. Waarnemen van het heelal

2.1. Het elektromagnetisch spectrum

2.1.1. Inleiding

De meeste mensen staan er eigenlijk niet bij stil welke schat aan informatie we kunnen halen uit de stralen die we krijgen vanuit de ruimte. Het spectrum van die straling kun je vergelijken met een vingerafdruk van het lichaam die het uitzendt. Uit een spectrumanalyse van een ster kan men de temperatuur, de chemische samenstelling, de magnetische activiteit, de draairichting, de snelheid en de afstand bepalen. De meeste straling die we ontvangen op aarde kunnen we niet zien behalve een bepaald gedeelte die we licht noemen.



2.1.2. Inleidende begrippen

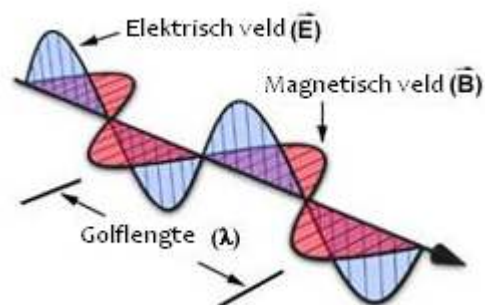
Alle materie bestaat uit atomen, een atoom bestaat uit 5 stabiele elementaire deeltjes: elektronen, protonen, neutronen, neutrino's en fotonen. Protonen zijn positief geladen kleine deeltjes die in de kern van het atoom zitten en elektronen zijn kleine negatief geladen deeltjes die met een bepaalde snelheid rond de kern draaien. Neutronen zijn relatief zware ongeladen deeltjes die in de kern zitten. De twee andere elementaire deeltjes: neutrino's en fotonen ontstaan door interactie tussen elektronen, protonen en neutronen. Neutrino's zijn als het ware het kleinste deeltje van een stof die niet meer te splitsen valt. Fotonen zijn elektronen die van een hoger naar een lager energie niveau vallen en die zijn overvloedige energie uitstraalt en die wij waarnemen als licht.

Deze interacties ontstaan door de vier fundamentele natuurkrachten: de zwakke en sterke kernkracht, het elektromagnetisme en de zwaartekracht. Alle elektronen van een atoom draaien in welbepaalde banen rond de atoomkern. Elk van deze banen stemt overeen met een bepaalde energie-inhoud. Wanneer een elektron van een baan met een hogere energie-inhoud naar een baan met een lagere energie-inhoud (=emissie) valt dan komt hierbij een foton vrij en stuurt die elektron zijn overvloedige energie uit in vorm van een lichtstraal.

2.1.3. Een elektromagnetische golf

Een EM golf (elektromagnetische golf) is eigenlijk een energieverplaatsing in de ruimte. De verplaatsing gebeurt niet rechtlijnig maar volgens een sinusfunctie. Een EM golf heeft als eigenschap dat de magnetische en elektrische componenten de straling loodrecht op elkaar en loodrecht op de voortplantingsrichting staan. Het is zelfs zo dat elektrisch geladen deeltjes (zoals de elektronen van een atoom) en magnetische stoffen elkaar onderling kunnen beïnvloeden zonder dat er een middenstof tussen moet zitten. Deze straling beschrijft een sinusfunctie met 3 variabelen: golflengte, amplitude en frequentie.

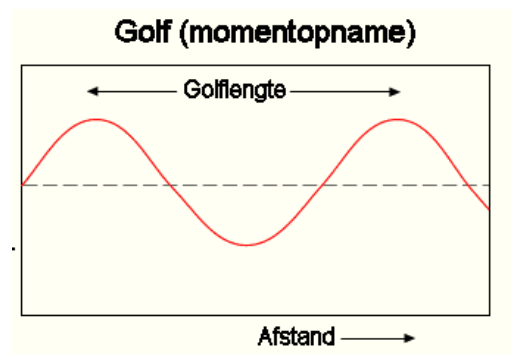
Voorbeeld van een elektromagnetische golf:



De **golflengte** (symbool: λ) is de afstand tussen twee toppen van een golf van 1 periode.

De **frequentie** is het aantal keer dat de golf zich herhaalt per seconde. Dit wordt uitgedrukt in Hertz (1 Hz = 1/s).

Er is een directe relatie tussen golflengte en frequentie van een golf: $\lambda = c/f$



Zo komen we bij de lichtsnelheid (c) dat is de snelheid waarmee het licht en de andere elektromagnetische straling zich voorplant met een constante snelheid. In Vacuüm (luchtledige) heeft de lichtsnelheid een waarde van 299 792 458 m/s. Meestal ronden we het af naar 300 000 km/s.

2.1.4. Ontstaan van een elektromagnetische golf

Het opwekken van EM golven gebeurt altijd door een versnelling van elektrische ladingen. Er zijn 3 algemene manieren om aan die elektronen te versnellen:

Zwarte lichaam straling

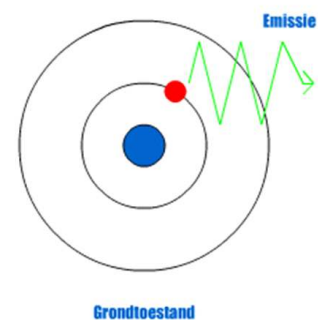
Alle lichamen, of ze nu vast, vloeibaar of gasvormig zijn, zenden elektromagnetische straling uit. Want alle atomen van stoffen trillen constant heen en weer dus maken ze iedere keer een versnelling. De trilintensiteit is afhankelijk van de energie-inhoud meestal is dat in de vorm van temperatuur. Het principe van een gloeilamp is hierop gebaseerd, hoe hoger de temperatuur van de gloeidraad des te energierijker de straling. Bij een zwakke stroom licht het gloeidraad rood en bij volle spanning is het witgloeiend. Als je de temperatuur zou opdrijven tot een miljoen graden zonder dat het smelt dan zou de draad voornamelijk röntgenstraling uitzenden.

Af buigen van elektronen

Een tweede manier om elektromagnetische straling op te wekken is door het afbuigen van geladen deeltjes een versnelling doen ontstaan. Als een elektron 'botst' met een proton dan buigt die proton met zijn positieve lading af op het voorbij vliegende negatieve geladen elektron af. Het elektron zendt daardoor straling uit. Hoe sterker de afbuiging en hoe hoger de snelheid van het elektron hoe energierijker de straling is.

Aanslaan van elektronen

Een derde manier is door elektronen in een atoom of ion (geladen atoom) aan te slaan d.w.z. er energie aan toevoegen bv. opwarmen. De grote energie-inhoud gaat de deeltjes rapper doen bewegen wat resulteert in botsingen. Hierdoor kan een elektron naar een hoger energetische baan geslingerd worden, deze toestand is instabiel. Het aangeslagen elektron valt na een tijd terug in zijn oorspronkelijke toestand. Daarbij raakt hij zijn overtollige energie kwijt door een foton uit te zenden. Bij hooggeladen zware ionen kan die overtollige energie zo groot worden dat het foton een röntgenfoton is.



Machinale versnellers

Vandaag de dag hebben we vele machines gemaakt om elektrische ladingen te versnellen of ook wel "deeltjesversneller" genoemd. Een deeltjesversneller is eigenlijk een apparaat waarin geladen deeltjes tot hoge energieniveaus gebracht worden door ze te versnellen tot snelheden in de buurt van de lichtsnelheid wat maar liefst 300 000 km/s bedraagt. Dit versnellen gebeurt met behulp van sterke elektrische en/of magnetische velden.

Om de kleinste bouwstenen van de materie te bestuderen worden zeer grote deeltjesversnellers gebruikt. Er is een onderscheid te maken tussen lineaire versnellers en magnetische versnellers.

2.1.5. Lineaire versnellers

Een lineaire versneller heeft in vergelijking met een ronde (magnetische) versneller twee nadelen:

- Deeltjes kunnen niet meerdere ronden door het apparaat maken dus moet de deeltjesstraal veel nauwkeuriger gericht worden
- het is nodig om een zo hoog mogelijke versnellingsspanning te bereiken om in één keer de hoogste snelheid te bereiken.



2.1.6. Magnetische versnellers

2.1.6.1. Cyclotron

Een cyclotron is een apparaat om bundels van geladen deeltjes te versnellen. Dit gebeurt door ze onder invloed van een hoogfrequente wisselspanning tevens door een magneetveld te leiden. Het potentiaalverschil zorgt voor de versnelling, het magneetveld voor een cirkelvormige afbuiging van de baan. Door de steeds toenemende snelheid wordt de cirkelbaan groter: de deeltjes worden naar buiten gedrukt. Wanneer de deeltjes aan de buitenkant van het apparaat zijn aangeland worden ze afgebogen naar buiten om te worden gebruikt. Op dit punt is de snelheid van de deeltjes erg hoog.



2.1.6.2. Betatron

Een betatron wordt een speciaal gevormd magnetisch wisselveld gebruikt om elektronen in een naar binnen spiraliserende baan te versnellen, m.a.w. zorgt het ervoor dat het aantal veldlijnen dat door een bepaald oppervlakte heengaat steeds stijgt. Hierdoor worden de deeltjes versneld.



2.1.6.3. Synchrotron

Een synchrotron is een deeltjesversneller voor deeltjes met zeer grote snelheden die in de buurt komen van 300 000 km/s. Net als een cyclotron is een synchrotron een versneller waarin de deeltjes een ronde baan beschrijven. In tegenstelling tot een cyclotron beschrijven alle deeltjes echter een baan met dezelfde straal. In plaats van een schijfvormige kamer wordt daarom een buis gebruikt. Rechte segmenten van die buis worden gebruikt als een lineaire versneller en in bochten worden sterke magneten gebruikt om de deeltjes in de juiste baan te houden.



2.1.7. Energie van een elektromagnetische golf

Elektromagnetische golven kunnen zeer energetisch zijn. Denk maar aan de warmte die we ontvangen via de zonnestralen. De energie van een EM golf is afhankelijk van de frequentie van de golf: hoe hoger de frequentie hoe meer energetisch de golf. De energiehoeveelheid van een golf kan worden berekend aan de hand van de volgende formule: $E = h \cdot f$

De constante h in deze vergelijking is de constante van Planck en is gelijk aan $6,63 \times 10^{-34}$ Js.

$$h = (6,626\ 069\ 3 \pm 0,000\ 001\ 1) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad \text{Si-eenheid}$$

$$h = (6,626\ 069\ 3 \pm 0,000\ 001\ 1) \times 10^{-27} \text{ erg} \quad \text{cgs-eenhedenstelsel}$$

Erg is een eenheid voor arbeid, energie en hoeveelheid warmte in het cgs-eenhedenstelsel. Het eenheidssymbool is erg.

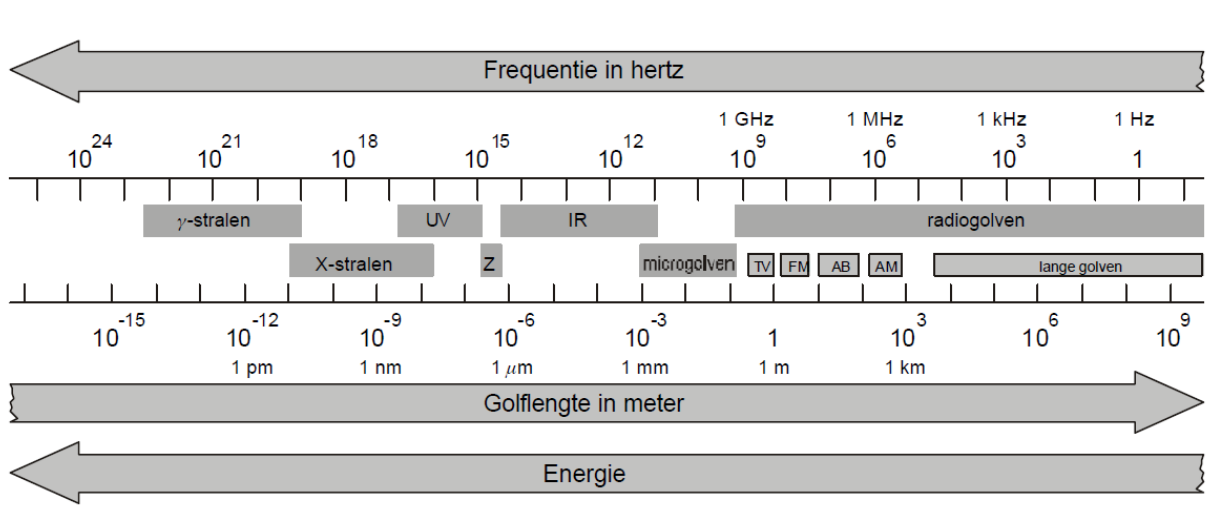
$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn} \cdot \text{cm} = 10^{-7} \text{ J}$$

$$\text{Dyne is de eenheid voor kracht} \Rightarrow 1 \text{ dyn} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2 = 10^{-5} \text{ N}$$

2.1.8. Wat is “het elektromagnetisch spectrum” ?

Je kunt het beschrijven als naar golflengte of frequentie geordende elektromagnetische straling. Door de variabele golflengte en frequentie kunnen we de volgende soorten stralingen onderscheiden: radiogolven, microgolven, infrarode straling, zichtbaar licht, UV-straling, röntgenstraling, gammastraling. Het zijn de elektromagnetische golven die onze gezondheid zowel positief als negatief kunnen beïnvloeden.

2.1.9. Schema



2.1.10. Radiogolven

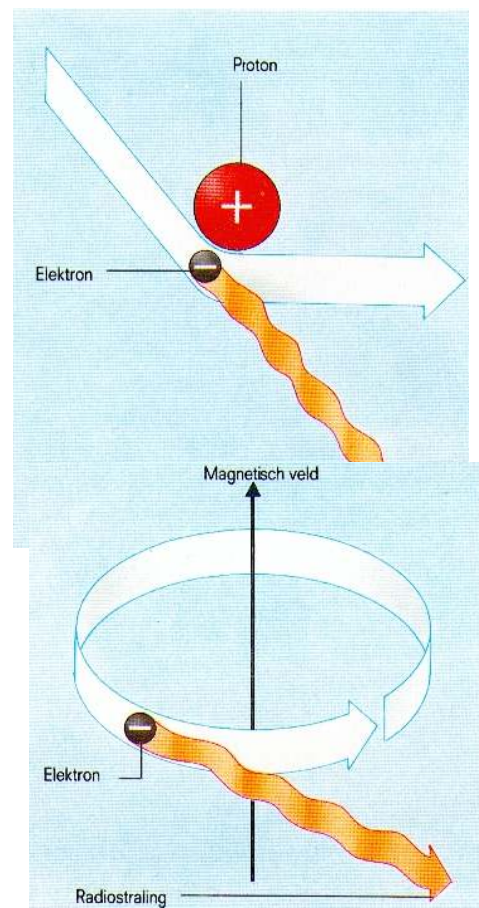
De radiogolven zijn ontdekt door Heinrich Hertz in 1888. Radiogolven hebben de grootste golflengte van het elektromagnetische spectrum. De golflengte van radiogolven ligt tussen de vele kilometers tot 30 cm (1 GHz). Radiogolven worden in het dagelijkse leven veel gebruikt. Zo worden ze bijvoorbeeld gebruikt voor radio's en televisies. Hiervoor worden radiogolven gebruikt met hoge frequenties. Zendamateurs gebruiken een zo laag mogelijke frequentie omdat deze golven worden teruggekaatst door de ionosfeer en hierdoor worden de radiogolven goed verspreid en heeft het dus een heel groot bereik.

Radiogolven(straling) kun je in 3 soorten opdelen:

- thermische radiostraling
- synchrotronstraling
- lijnstraling

Thermische straling

Ontstaat wanneer er elektrische geladen deeltjes zich in een heet geïoniseerd gas bevinden: de atomen vallen uiteen in positief en negatief geladen deeltjes. De warmte zorgt ervoor dat de atomen hevig beginnen te trillen met botsingen tot gevolg. Door die botsingen worden de elektronen uit hun schil geslingerd waardoor dat elektron zijn overige energie uitzendt.

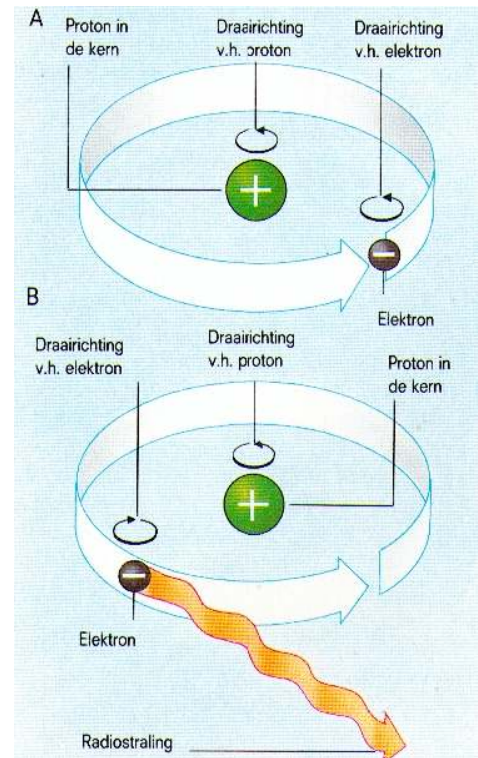


Synchrotron straling

Deze wordt ook veroorzaakt door een versnelling van elektronen maar het verschil zit hem in de oorzaak van de versnelling; het wordt versneld d.m.v. een magnetisch veld. Het ook gekenmerkt door dat de golven gepolariseerd zijn dit wil zeggen dat het slechts in 1 vlak trilt.

Lijnstraling

Wordt gekenmerkt door een zeer smalle bandbreedte. Lijnstraling is bijna altijd afkomstig van wolkeninterstellair waterstofgas, wat zeer veel voorkomt in de ruimte. Lijnstraling wordt meestal voortgebracht door de schaarse waterstofatomen waarvan het proton (in de kern) en het elektron, dat er in een baan omheen draait, in eerste instantie een parallelle spin hebben. Het waterstofatoom is in die hoge energietoestand instabiel, met het gevolg dat het elektron spontaan draairichting verandert zodat de spins van het elektron en de kern tegengesteld worden. Wanneer dat gebeurt gaat het atoom over naar een stabiele toestand van lage energie en wordt het energie verschil uitgezonden in de vorm van radiostraling met een frequentie van ongeveer 1420 MHz. Dat komt overeen met een golflengte van 21 cm. Een synoniem voor waterstof in de ruimte is 21 cm lijnstraling.



2.1.11. Microgolven

Microgolven hebben een golflengte tussen de 30 cm en 1mm. Dit betekent dat microgolven een frequentie hebben van 1 GHz tot 300 GHz. Microgolven lijken een beetje op lichtstralen wat betreft afbuiging en weerkaatsing, maar microgolven kunnen in tegenstelling tot lichtstralen ook in niet-transparante materialen binnendringen.

Dit wordt bijvoorbeeld toegepast in de magnetron. Microgolven worden geabsorbeerd door het water in het voedsel. Dit heeft als gevolg dat de watermoleculen heviger gaan trillen en dat vervolgens het eten warm wordt. Er is dus een interactie tussen de microgolven en de materie (het voedsel).

2.1.12. Infrarode straling

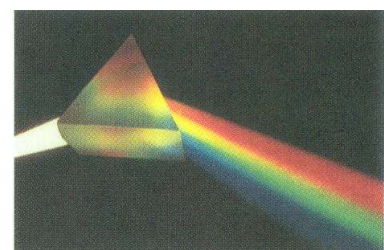
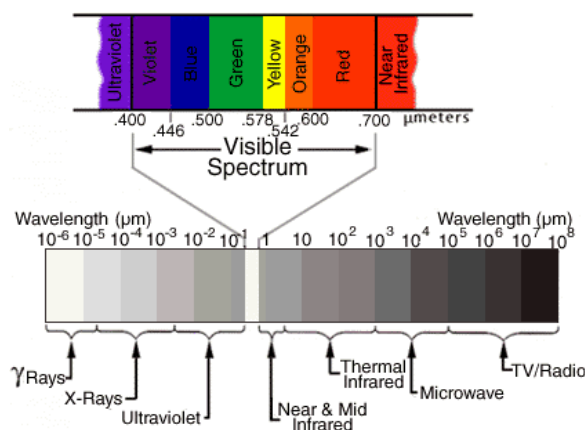
De infrarode straling is ontdekt door William Herschel (ontdekker van de planeet Uranus) in 1800. Infrarode straling heeft een golflengte van 1 mm tot 780 nm. Omdat infrarode straling warmte afgeeft als het bijvoorbeeld op de huid valt, wordt deze straling ook wel warmtestraling genoemd. Infrarode straling wordt veel toegepast in fotografie en afstandsbepalingen, maar ook in bijvoorbeeld warmtelampen. Zo worden infrarood foto's gemaakt door middel van de infrarode straling die voorwerpen afgeven. Deze wordt opgevangen op een film die gevoelig is voor infrarode straling. Hierdoor is het mogelijk om bijvoorbeeld in het donker foto's te maken, om in het donker te kunnen zien (nachtkijkers) of verstekelingen in een vrachtwagen te detecteren. Rondom de aarde zweven verschillende satellieten die de mogelijkheid hebben om infrarode foto's te maken van de aarde of een ander hemellichaam.

2.1.13. Zichtbaar licht

Licht is eigenlijk ook een waaier van elektromagnetische stralen. Het unieke aan deze is dat we ze kunnen zien met het blote oog. De drie variabelen die licht beschrijven: lichtsterkte, frequentie of golflengte en de trillingsrichting, die altijd loodrecht op de voortplantingsrichting staat. De studie van licht en de interactie van licht met materie heet optica.

Licht trilt in verschillende vlakken. Sinds het begin van de 19-de eeuw weet men dat elektrische en magnetische velden hand in hand gaan. Het is onmogelijk het ene van het andere te scheiden: heb je een bewegende lading dan heb je onmiddellijk een magnetisch veld. Heb je een verandering in het magnetische veld, dan heb je stroom. In de 17e eeuw was het Christiaan Huygens die als eerste beweerde dat het licht een golfverschijnsel is. Maxwell was de wetenschapper die voor het eerst zei dat licht eigenlijk een elektromagnetische golf was. Wanneer licht componenten bevat uit alle mogelijke trillingsrichtingen dan zeggen we dat het licht circulair gepolariseerd is. Is er één welbepaalde voorkeursrichting dan is dit licht lineair gepolariseerd. Met behulp van polarisatiefilters kan men het licht van een bepaalde lichtbron die in één welbepaalde richting trilt filteren.

Het zichtbare licht heeft een golflengte van 780 nm tot 380 nm. Dit gebied wordt ook wel lichtspectrum genoemd. De kleur rood heeft een golflengte van 780 nm en de kleur violet een golflengte van 380 nm. Tussen rood en violet bevinden zich een aantal andere kleuren, namelijk: oranje, geel, groen, blauw en indigo. Deze kleuren zijn ook terug te vinden in de regenboog of na breking van licht door middel van een prisma.



2.1.14. Ultraviolet licht

De golflengte van ultraviolet licht ligt tussen de 380 nm en de 12 nm. Onze zon is een natuurlijke bron van ultraviolette straling maar de meeste straling wordt in de dampkring geabsorbeerd door het ozongas. Dit is erg belangrijk omdat een te grote hoeveelheid ultraviolette straling dodelijk kan zijn voor al het leven. Maar we kunnen eigenlijk ook niet zonder UV-straling.

De ultraviolette straling die de atmosfeer van de aarde doorlaat, bestaat uit UV-A en UV-B. Type B is het meest energierijk van de twee en verantwoordelijk voor zonnebrand. De laatste jaren zien medici steeds meer de schadelijke effecten van UV-A onder ogen. De straling veroorzaakt geen verbranding, maar speelt wel een rol in veroudering van de huid en het ontstaan van huidkanker.

2.1.15. Röntgenstraling

In 1895 ontdekte Wilhelm Konrad Röntgen de X-stralen. Later werden deze stralen genoemd naar de ontdekker. Röntgenstralen hebben een golflengte die tussen de 12 nm en de 0,002 nm ligt. Een kenmerkende eigenschap van röntgenstraling is dat het door bijna alle stoffen heen dringt. Hierbij gaat een deel verloren door absorptie. Een andere eigenschap is dat veel stoffen fluorescerend worden wanneer ze in aanraking komen met röntgenstralen. Wanneer er een menselijk lichaam tussen een röntgenapparaat en een fluorescerend scherm wordt geplaatst, dan verschijnen op het scherm schaduwen van de botten. Dit komt omdat bot de röntgenstralen beter absorberen dan de zachte delen. In plaats van een fluorescerend scherm kan ook een film worden gebruikt. Dit wordt veel toegepast in ziekenhuizen.



2.1.16. Gammastralen

De gammastralen zijn in 1903 voor het eerst vastgesteld door Antoine Henri Becquerel. De golflengte van gammastralen ligt beneden de 0,002 nm. Gammastraling is radioactieve straling met een heel hoog doordringingvermogen. Gammastraling komt vrij bij materiaal dat radioactief is (uranium). Het is ook vaak te vinden in de buurt van kerncentrales of op plaatsen waar een kernexplosie heeft plaatsgevonden. De straling is zelfs in staat om door lood en cement heen te gaan. De straling is gevaarlijk omdat het levend weefsel kan beschadigen.



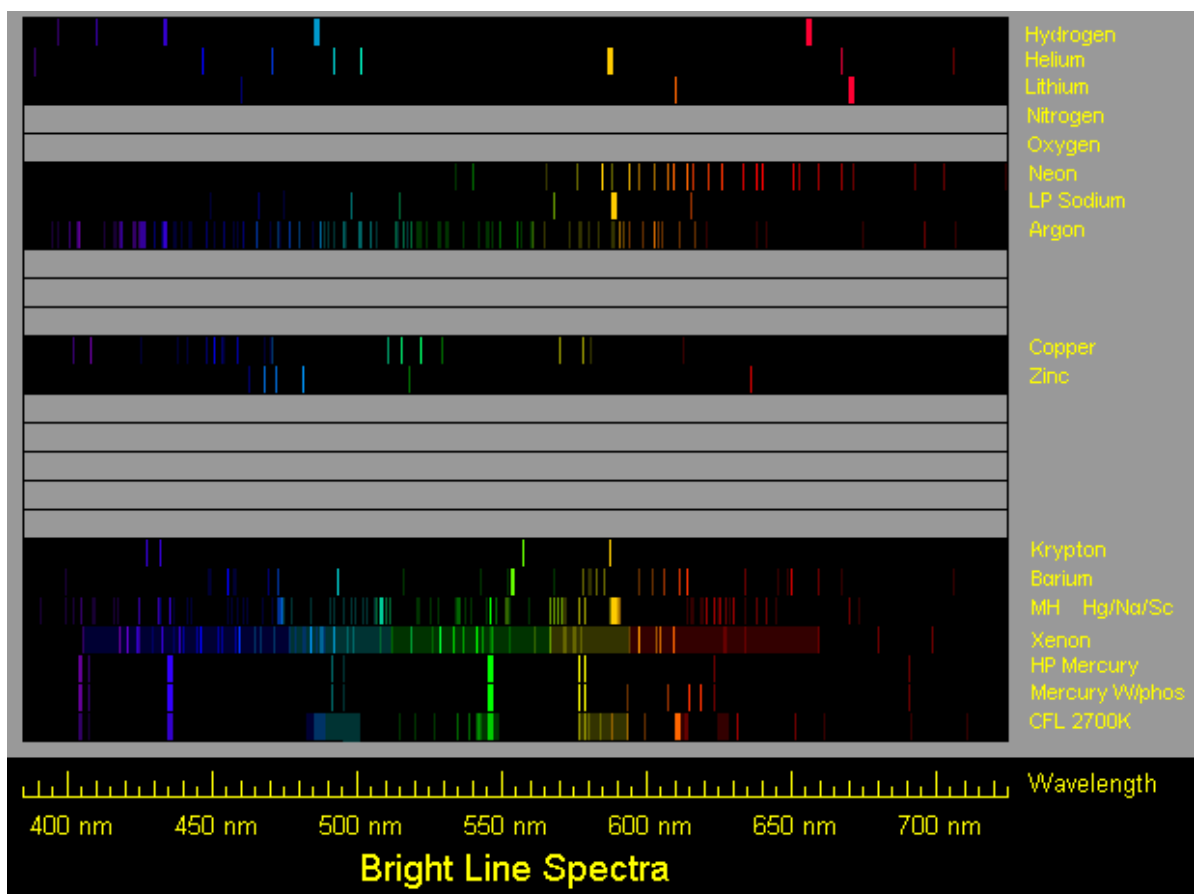
2.1.17. Toepassing van elektromagnetische golven.

Met elektromagnetische straling kun je het volgende bepalen:

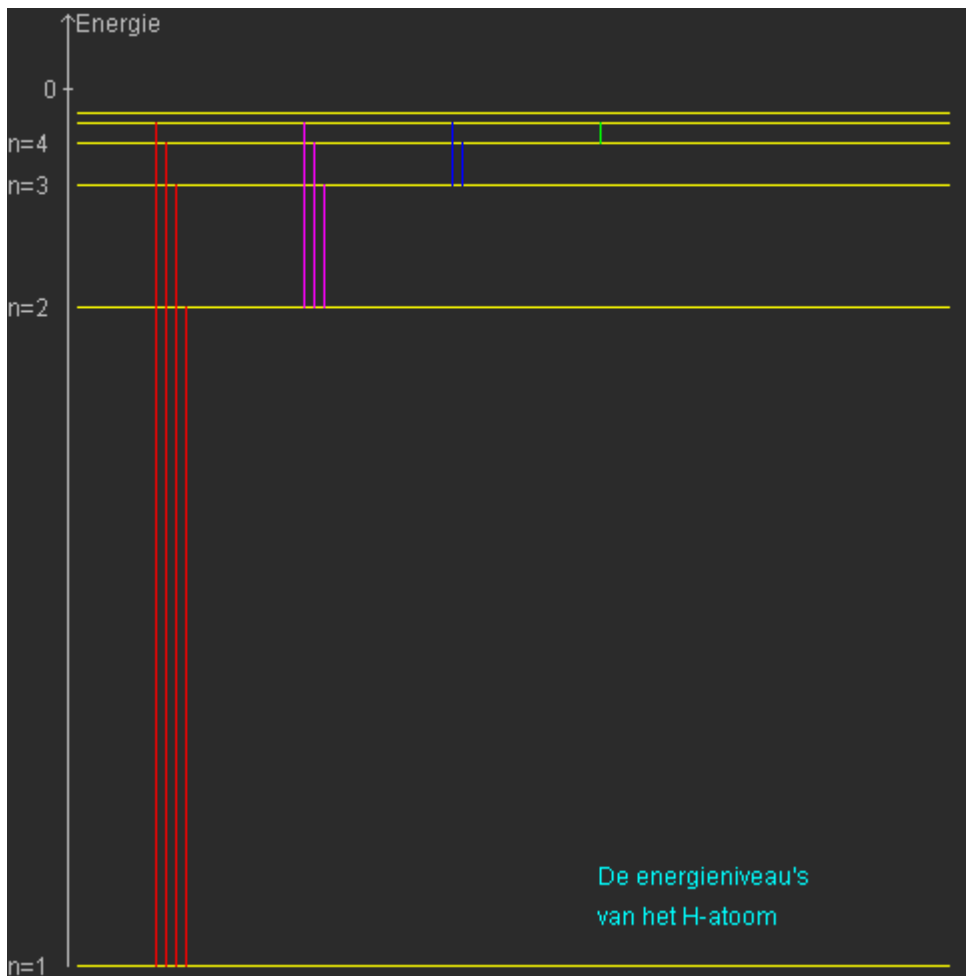
- ⇒ de temperatuur van sterren
- ⇒ de stoffen waaruit een ster bestaat
- ⇒ de bewegingssnelheid
- ⇒ draairichting
- ⇒ afstand
- ⇒ magnetische activiteit

2.1.18. Het bepalen van de stof waaruit een ster bestaat

In de 19^{de} eeuw was men al bezig met spectroscopie, de wetenschappelijk ontwikkeling van de spectroscopie begint bij Isaac Newton die licht liet uiteen vallen met een prisma in de kleuren van de regenboog. Het licht wordt eigenlijk ontleed in stukken waaruit het bestaat, dat is eigenlijk het principe van spectroscopie. Even ter herhaling: wanneer een elektron van een baan met een hogere energie-inhoud valt naar een baan met een lagere energie-inhoud dan komt hierbij een foton vrij en stuurt dat elektron zijn overtollige energie uit in vorm van een licht straal die dus ook een elektromagnetische golf is. Omdat ieder atoom een karakteristieke EM golf uitstraalt met bepaalde kleuren die je ook proefondervindelijk kunt bepalen, kunnen we dus ook omgekeerd te werk gaan. Aan de hand radiotelescopie die continue de straling ontvagen van een ster krijgen verschillende soorten EM straling. Er zullen bepaalde golflengten veel meer voorkomen dan andere en die bepalen welke stoffen er aanwezig zijn, je kan het vergelijken met een barcode van een product.



De reden dat de fotonen van 1 atoom uit verschillende kleuren bestaan is te wijten aan de energie-inhoud van die foton. Iedere elektronenschil in een atoom heeft een welbepaalde energie-inhoud. De totale energie dat een foton kan afgeven hangt af van in welke energetische toestand(= welke schil) ze zich oorspronkelijk bevond en in welke ze terecht komt. Logischerwijze wil dit zeggen dat hoe meer schillen de foton verpringt hoe groter de energie. De fotonen die binnen het zichtbaarheidspectrum liggen noemen we de balmerreeks. Er zijn ook nog andere reeksen zoals de lyman, Brackett, Paschen –reeks maar deze kunnen we met het blote oog niet zien.



1) soorten spectra

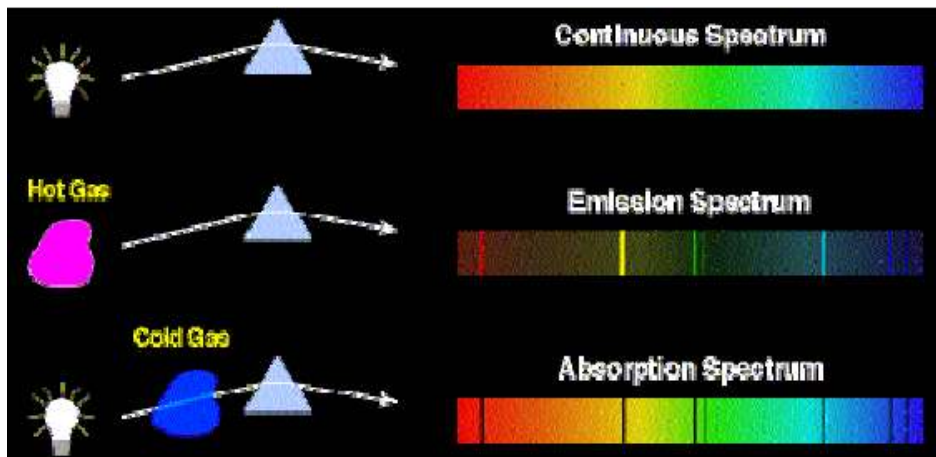
Normaal gezien zal een gasvormig lichaam een continu spectrum geven: alle golflengten komen aan bod. Maar let wel op bij een **emissiespectrum** zal men opmerken dat slechts een aantal spectraallijnen heel goed uit uiting komen. Bij een **absorptiespectrum** daarentegen zal men zien dat uit het continue spectrum een aantal lijnen zijn verdwenen.

Emissie spectrum

Een verhit gas met een bepaalde samenstelling van atomen en zenden karakteristieke elektromagnetische golven uit die worden gebroken door een prisma. Als je die kleuren naderbij bekijkt zul je merken dat er bepaalde lijnen beter zichtbaar zijn dan andere, dit noemt men spectraallijnen. Voor iedere stof zijn er bepaalde spectraallijnen die veel beter zichtbaar zijn dan andere bv. Bij het emissie spectrum van natriumchloride zal een gele lijn goed zichtbaar zijn.

Absorptiespectrum

Hier werkt men met een lamp die zich voor een koud gas bevindt en een continu spectrum uitstraalt; het koud gas neemt de atomen op die hij bezit hierdoor zie door het licht die gebroken is door een prisma bepaalde zwarte strepen.



Laten we wel duidelijk zijn: als we tot nog toe hebben besproken van “het spectrum” dan hebben we het eigenlijk nog maar slechts gehad over het “zichtbare spectrum”. Onze ogen kunnen slechts een bepaald gebied van het gehele spectrum waarnemen. Infrarood straling kunnen we zonder extra hulpmiddelen niet zien maar wel als warmte voelen. We weten dus op die manier dat er wel degelijk nog andere stralingen bestaan.

2.1.19. De snelheid van een ster

De golflengte van het licht uitgestraald door een lichtbron die zich met grote snelheid van de waarnemer verwijdert, wordt langer (de frequentie wordt lager) naarmate deze snelheid groter is. Hetzelfde effect doet zich voor bij verandering van toonhoogte van bijvoorbeeld een sirene van een ambulance als deze naar ons toekomt of van ons wegrijdt. In de praktijk is de roodverschuiving alleen meetbaar bij de zeer hoge snelheden die in het heelal voorkomen. De roodverschuiving wordt kwantitatief uitgedrukt in de relatieve verandering z van de golflengte λ ten opzichte van de uitgezonden golflengte λ_0 :

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{f_0 - f}{f}$$

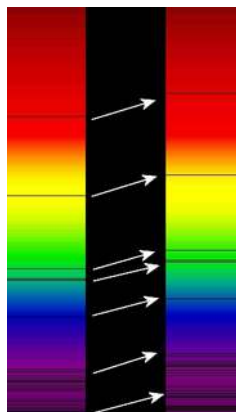
Uitgedrukt in de frequenties is z de relatieve verandering van de uitgezonden frequentie f_0 ten opzichte van de waargenomen frequentie f . Als de roodverschuiving het gevolg is van het dopplereffect, omdat de lichtbron zich met snelheid v van de waarnemer verwijdert, volgt voor z :

$$z = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1 = \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} - 1$$

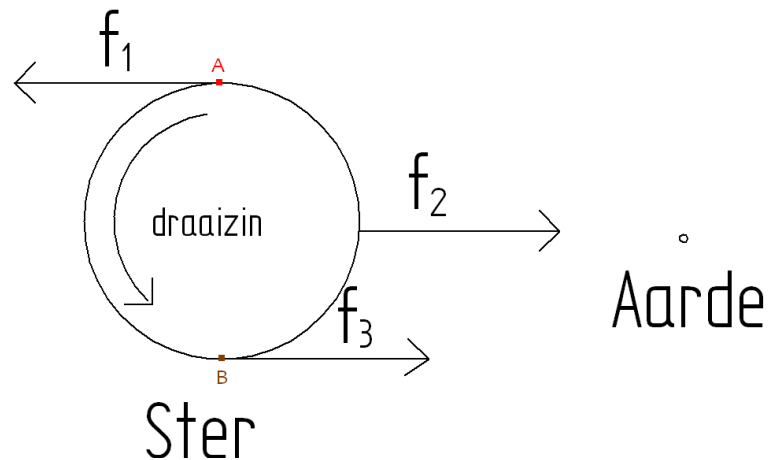
Als de bron van het licht zich van de waarnemer af beweegt, dan ontstaat er een roodverschuiving ($z > 0$). In het andere geval ontstaat er een blauwverschuiving ($z < 0$). Als er geen relatieve beweging is, is er ook geen spectrale verschuiving ($z = 0$). Voor snelheden v die veel kleiner zijn dan de lichtsnelheid c , geldt bij benadering voor de roodverschuiving:

$$z \approx \frac{v}{c}$$

Voorbeeld van rood verschuiving:



2.1.20. Draairichting van een ster bepalen

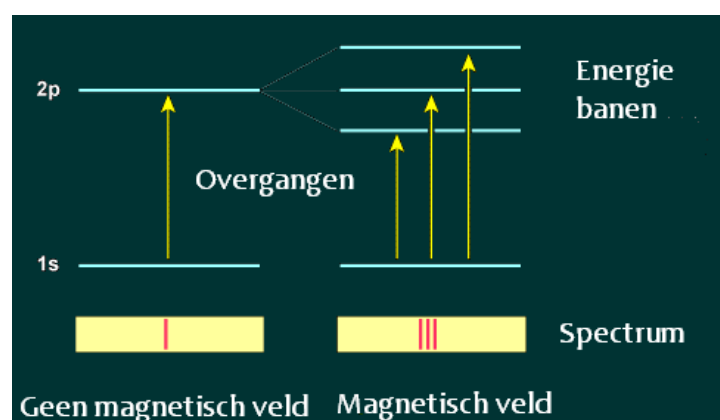


De draairichting van een ster kunnen we ook achterhalen met spectrum analyse. Nadat we het normale emissie spectrum f_2 hebben ontvangen via radiotelescopen kunnen we deze vergelijken met het emissie spectrum van de uiterste punten van de ster zoals we de snelheid van een ster kunnen bepalen. We kunnen vandaag de dag de radiotelescopen zeer nauwkeurig richten. Zo kunnen we deze precies richten op de uiterste punten van een ster in dit geval punt A en punt B. Hiervan ontvangen we dus een emissie spectrum en zien we een verschuiven van de spectraallijnen tegenover het emissie spectrum van de normaaltoestand.

In dit geval zal f_3 een roodverschuiving hebben omdat het de omtrek snelheid meekrijgt en f_1 zal het emissie spectrum zullen de spectraallijnen zal een blauwverschuiving hebben. Hieruit kunnen we afleiden welk punt naar de aarde is toe verschoven en zo weten we welke draairichting de ster heeft.

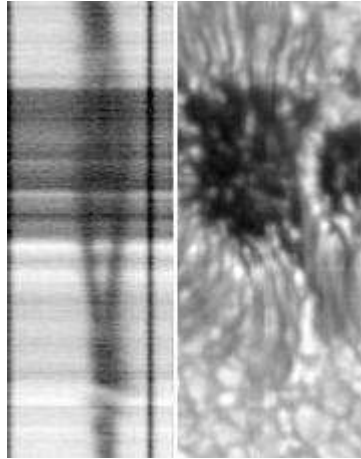
2.1.21. Het zeeman effect

De magnetische activiteit van een ster kunnen we achterhalen via het zeeman effect. Het Zeeman effect is een natuurlijk verschijnsel: als een atoom in een magnetisch veld terecht komt dan splitsen de energieniveaus in verschillende deelniveaus, ook splitsen de spectraallijnen zich. Omgekeerd als men in een spectrum ziet dat bepaalde spectraallijnen zijn gesplitst in twee of meerdere lijnen dan kan men afleiden dat de atomen die deze lijnen uitstralen zich in een magnetisch veld bevinden.

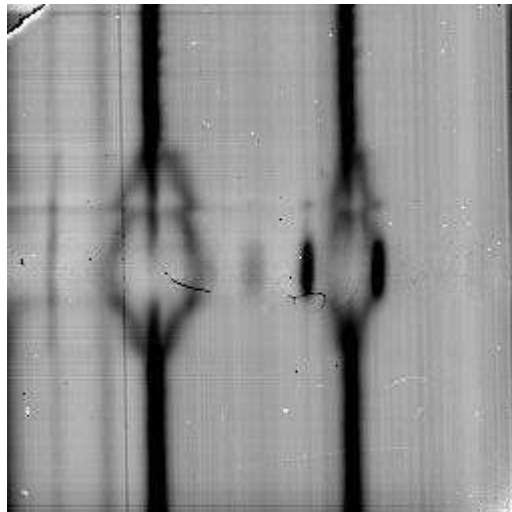


Voorbeeld uit de sterrenkunde

Een voorbeeld zijn de sterke magnetische velden van zonnevlekken. Wanneer men het spectrum van licht afkomstig van een zonnevlek bekijkt dan merkt men de splitsing van bepaalde spectraallijnen onmiddellijk op. Dit komt doordat er zich bijzonder sterke magneetvelden bevinden in een zonnevlek.



Splitsing van een absorptie-spectraallijn door de sterke magnetische velden die in een zonnevlek aanwezig zijn. Merk op dat de splitsing het grootst is in het centrum van de zonnevlek (umbra) omdat daar het magnetische veld het sterkst is.



2.2. Optische kijkers

2.2.1. Terminologie

De naam telescoop van het griekse *tele scope* wat *ver kijker* betekent. Het woord op zich spreekt vanzelf dat je met dit instrument verre afstanden dichterbij het oog kan weergeven. Een alledaagse verrekijker zoals we die kennen van jagers is hier dan ook een kleine toepassing van.

Een optische kijker bestaat uit minstens 2 lenzen of groepen van lenzen. De eerste lens of groep van lenzen vangt de inkomende beelden op en wordt dus naar het te opgevangen beeld gericht: het objectief. De lens of lenzen die je bij het oog houdt wordt het oculair genoemd. In sommige gevallen wordt er binnen in de telescoop gebruik gemaakt van spiegels. Deze noemen we de catadioptrische systemen. Als het enkel over lenzen gaat spreken we over een catoptrisch systeem.

2.2.2. Geschiedenis van de telescoop

In de late 16^{de} eeuw is een brillenslijper uit Middelburg in contact gekomen met de eerste vorm van een telescoop. Een Italiaan uit de stad toonde hem een ronde buis met aan de voorkant een bolle lens en aan de achterzijde een holle lens. Deze buis had als opschrift *anno 1590*. Als brillenslijper had Zacharius Janssen het niet nodig om deze mee te nemen naar huis om deze te kopiëren. Hij had ervaring in het slijpen van glazen en kon dus op zijn manier een betere vorm uit het glas krijgen. Al was deze kijker nog maar een begin, maar een mistig grijs beeld met contouren kon hij wel in beeld krijgen.

Zacharius was een marktkramer die zijn kijker tentoonstelde bij zijn kraam. Verschillende mensen zagen eerst niet het nut in van dit instrument maar een andere brillenslijper, Hans Lipperhey, had wel oog voor dit alles. Op 25 september 1608 schreef Lipperhey een brief naar de Gecommitteerde Raden van Zeeland om een aanbeveling in te dienen. Van 2 tot 6 oktober was hij dan in den Haag om octrooi aan te vragen en zijn kijker te demonstreren voor Prins Maurits. Enkele dagen later kwam ook een zekere Jacob Metius met zijn vorm van de kijker. Geen van beide kreeg op dat moment het octrooi, maar Hans kreeg wel de opdracht om 5 van die kijkers te maken voor een mooie som geld. Nadat Hans terug kwam van zijn reis, kreeg hij een brief van de Gecommitteerde Raden van Zeeland in verband met de kijkers. Zacharius gaf toe dat hij ook zo'n kijker had gemaakt maar geen octrooi aanvraag. Dit leidde aan dat zowel Hans als Jacob geen octrooi kreeg. In 1610 gaf Galileo Galileï het bewijs dat deze uitvinding toch een enorme uitvinding was voor de astronomie. Hij tekende als eerste een schets van de maan.

Na enkele jaren bleek uit geschrijften dat nog steeds geleerden beweerden dat zij de uitvinder waren van de telescoop, maar na 20 jaar begon dat geschrijf toch te verminderen. Isaac Beeckman was geïnteresseerd om glas te schrijven en schreef al zijn bedenkingen op omtrent de ontwikkeling van de telescoop in zijn dagboek. Isaac kwam terecht bij de zoon van Zacharius. Uit zijn geschrijften kwam dan ook het volgende citaat: *“Johannes Sacharius segt, dat syn vader den eersten verrekijker maeckte hier ten lande anno 1604, naer eenen van eenen Italiaan, daerop stont: anno 1590”*. Pierre Borel was geïnteresseerd in de verrekijker en startte een onderzoek op naar de uitvinder van de

telescoop. Drie getuigen zeiden dat Hans Lipperhey de uitvinder was van de verrekijker. Johannes Sachariussen hoorde hiervan en schreef een brief naar het stadsbestuur. Pierre trok hieruit zijn conclusies en noemde Zacharius de eerste uitvinder en Hans de tweede.

2.2.3. Functies van een telescoop

Een telescoop heeft verschillende functies. Bij de telescoop kunnen we ook de sterrenkijker mee in acht nemen:

- 1) Een telescoop dient zoveel mogelijk licht op te nemen en te verzamelen.
Het aantal opgenomen lichtpunten of fotonen zal dus rechtstreeks afhankelijk zijn van de grote van het objectief: hoe groter het objectief, hoe meer opgenomen fotonen bij dezelfde hoeveel licht.
- 2) Een telescoop dient een beeld te vergroten.
De vergrotingsfactor zal dus afhankelijk zijn van de verhouding tussen de twee brandpuntafstanden van het objectief en het oculair:

$$m = \frac{F_{\text{objectief}}}{F_{\text{oculair}}}$$

- 3) Een telescoop dient meer detail te weergeven aan het oog (scheidend vermogen).

Het scheidend vermogen is afhankelijk van de diameter van het objectief D en de golflengte λ van het licht:

$$\theta = \frac{1,22 \cdot \lambda}{D}$$

2.2.4. Refractor

Een refractor gaat geen gebruik maken van spiegels. Deze telescopen maken gebruik van refractie of lichtbreking die ervoor zorgen dat het licht breekt (niet over dezelfde rechte lopen). Door het gebruik van lange brandpuntafstanden is het mogelijk een grote vergroting van het beeld te bekomen.

2.2.5. Chromaat

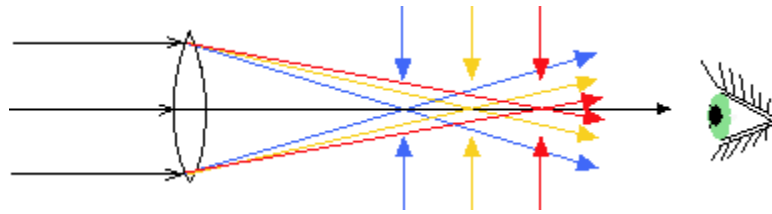
Chromaten zijn enkelvoudige lenzenkijkers en beschikken dus over 2 lenzen. Deze kijkers hebben door lichtbreking in de bolle lens een ernstige kleurenfout. Deze kleurenfout is simpelweg te verklaren door de rextactie-index van het lensmateriaal. In glas is de refractie-index afhankelijk van de golflengte. Dit wil zeggen dat een rode kleur onder een andere hoek gebroken word dan een blauwe kleur, omdat deze eenmaal in golflengte verschillen. Kort gezegd is een scherp beeld alleen maar zichtbaar indien we kleuren opvangen met dezelfde golflengte. Het getal van Abbe gaat de dispersie of kleurenschifting in een wet weergeven.

$$V = \frac{(n_D - 1)}{(n_F - n_C)}$$

We onderscheiden:

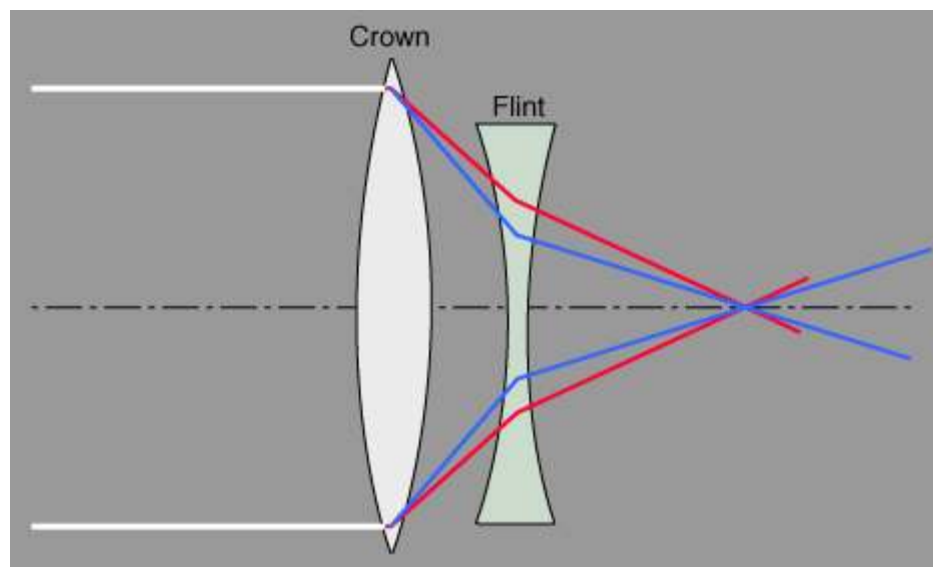
- n_D brekingsindex van geel in een bepaalde glassoort
- n_F brekingsindex van blauw in een bepaalde glassoort
- n_C brekingsindex van rood in een bepaalde glassoort

deze berekening is van groot belang om de kleuren juist over te brengen naar het oog.



2.2.6. Achromaat

Een achromaat is een lenzenkijker die over meer dan één lens beschikt in het objectief. Meestal zal dit dan uit twee lenzen bestaan en heten we dit een Doublet. De beide lenzen worden vervaardigd uit een verschillend materiaal zodat de refractie-index niet dezelfde zijn. Meest voorkomend is ook dat beide lenzen aan elkaar bevestigd worden en komt de volgende combinatie sterk voor: een holle lens uit crown glas (met een lage dispersie) en een bolle lens uit flint-glas (met een hoge dispersie). De verschillende refractie-indexen zorgen dus dat de grootste kleurenfouten weggewerkt kunnen worden door de kleuren terug op één lijn te brengen. De meeste kleuren scoren in dit geval wel goed (rood en blauw bijvoorbeeld) maar groen scoort wel minder.



2.2.7. Apochromaat

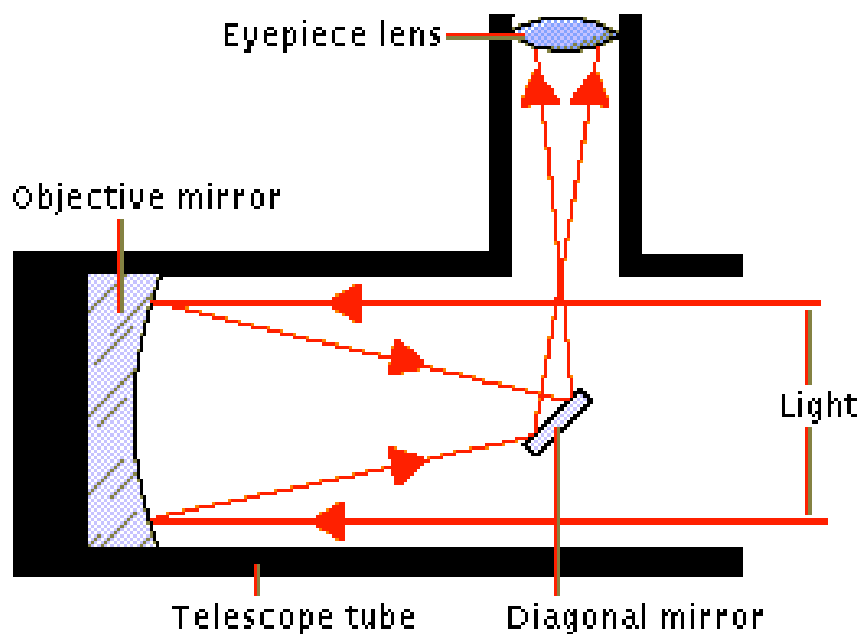
Om alle kleurfouten weg te werken is de achromaat dus toch geen goede oplossing. Bij de apochromaat gaan we te werk met een drie- tot viertal lenzen om alle kleurfouten weg te werken. In het geval van drie lenzen spreken we over een triplet. Opnieuw is het de bedoeling om alle kleurlijnen met verschillende golflengtes terug te brengen in één (brand)punt. Één van die lenzen zal meestal bestaan uit fluoriet. Deze lenzen zullen toch meestal gescheiden van elkaar zijn en als tussenstof zal dan gebruik gemaakt worden van olie of gewone lucht.

2.2.8. soorten optische kijkers

2.2.8.1. Telescoop van Newton

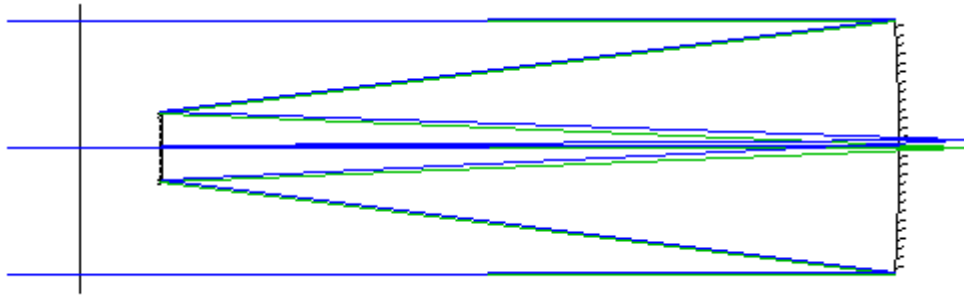
Deze Newton-telescoop gaat gebruik maken van spiegels en gebruikt dus het principe van reflectie. Door de stralen op een vlakke spiegel te laten invallen, gaan de uitgaande stralen onder een analoge maar tegengestelde hoek teruggekaatst worden. Newton gebruikte een gebogen spiegel in de vorm van een paraboloïde. Dit lijkt er toe dat de verschillende stralen toekomen in één en hetzelfde brandpunt.

Door gebruik van spiegels zal het brandpunt in de stralengang vallen in plaats van buiten de stralengang. Met andere woorden moeten de stralen toch nog naar buiten kunnen om door het oog opgevangen te worden. Hierdoor gaat men gebruik maken van een kleine vlakke spiegel onder een hoek van 45 graden die het beeld verplaatst onder 90 graden. Deze stralen kunnen zo naar buiten gebracht worden via het oculair.



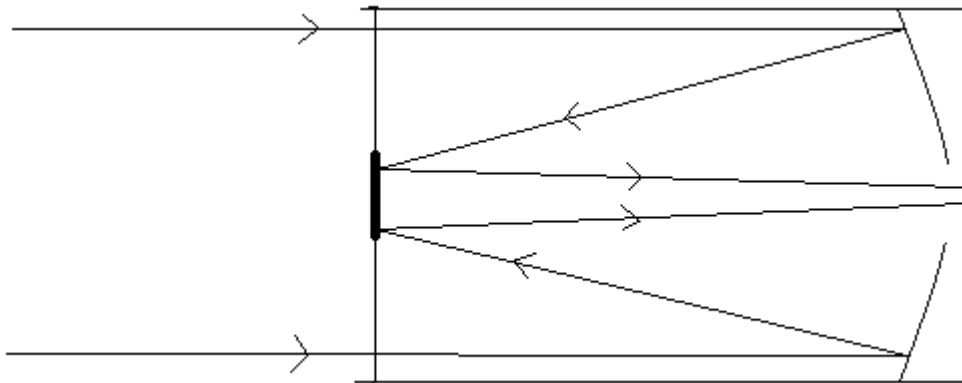
2.2.8.2. Klassieke Cassegrain

De klassieke Cassegrain heeft ongeveer hetzelfde principe als een Newton-telescoop. Bij deze telescoop staat de spiegel om de lichtstralen naar buiten te brengen niet onder een hoek. Dit wil zeggen dat het oculair in het verlengde van objectief ligt. De inkomende stralen worden eerst opgevangen door de primaire spiegel die de stralen onder een hoek plaatst en naar de vangspiegel weerkaatst. Doordat de vangspiegel niet onder een hoek staat moet er een gat geplaatst worden in de primaire spiegel om de stralen naar het oculair te stralen.



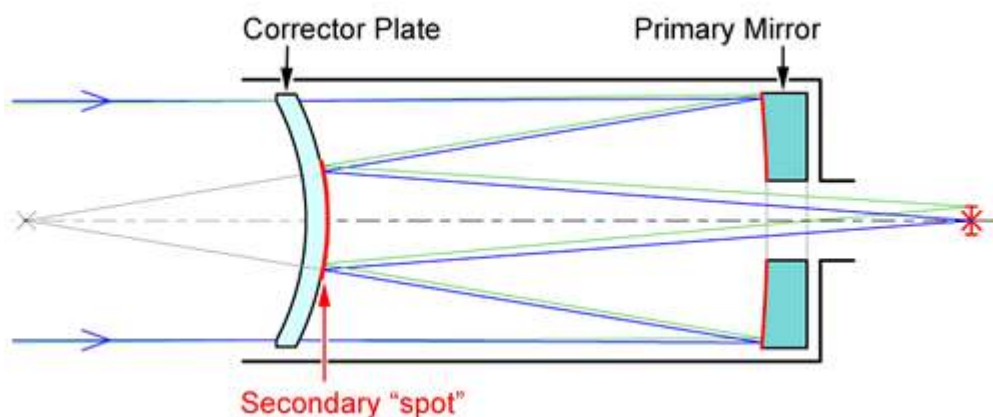
2.2.8.3. Schmidt-Cassegrain

Dit catadioptrisch systeem gebruikt ongeveer hetzelfde principe als de klassieke Cassegrain. De vangspiegel wordt nu wel geplaatst op dezelfde correctorplaat (objectief) die de inkomende stralen opvangt. De vangspiegel vangt opnieuw de lichtstralen op en weerkaatst ze naar het oculair.



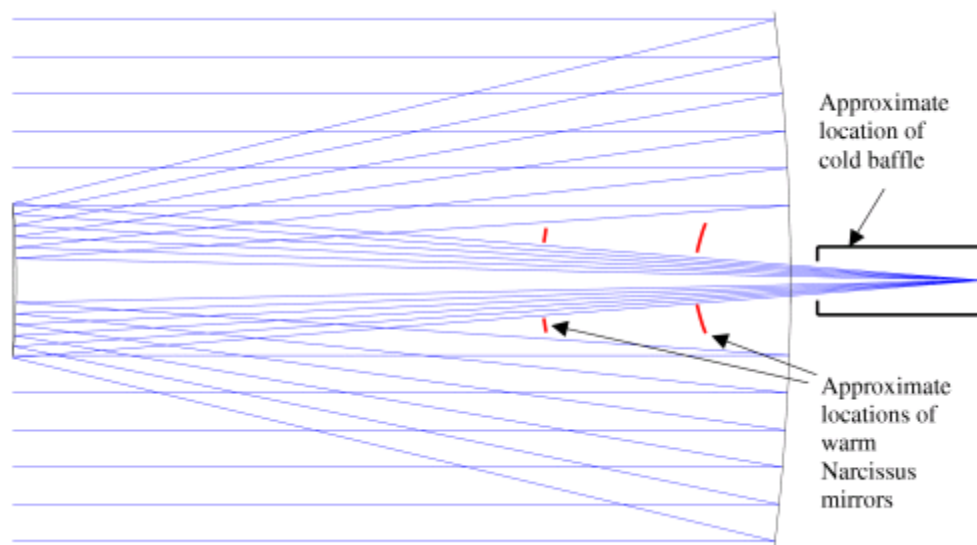
2.2.8.4. Maksutov-Cassegrain

De makutov-Cassegrain is in grote lijnen dezelfde als de Schmidt-Cassegrain. Het objectief is bij deze wel dikker en sterk gebogen. Ook is de secundaire lens bevestigd aan het objectief, maar is bij deze veralluminiseerd. De secundaire vangspiegel is hier een beetje kleiner dan bij de Schmidt-Cassegrain die dus een hoger contrast en scherpte biedt.



2.2.8.5. Ritchey-Chrétien

De meeste optische kijkers hebben last van coma die ontstaat in het objectief. Doordat de juiste kromming niet gebruikt wordt in de verschillende spiegels gaat er coma ontstaan. Dit wil zeggen dat de beeldpunten niet meer hun oorspronkelijke ronde vorm vertonen maar een meer komeetvormige. Door de primaire en secundaire spiegel de juiste hyperbolische kromming te geven voorkomt men coma. De Ritchey-Chrétien is op zijn manier een verbeterde vorm van de Cassegrain-telescopen. Deze verschilt met een Maksutov-Cassegrain door de hyperbolische kromming in de spiegels. De Ritchey-Chrétien wordt vooral op professioneel vlak gebruikt en is dus ook te merken aan hun prijzen.



2.3. Lichtsterkte en helderheid

2.3.1. Inleiding

Lichtsterkte en helderheid hebben betrekking tot meerdere zaken maar aangezien wij het over het heelal hebben beperken we ons tot lichtsterkte van telescopen en hemellichamen.

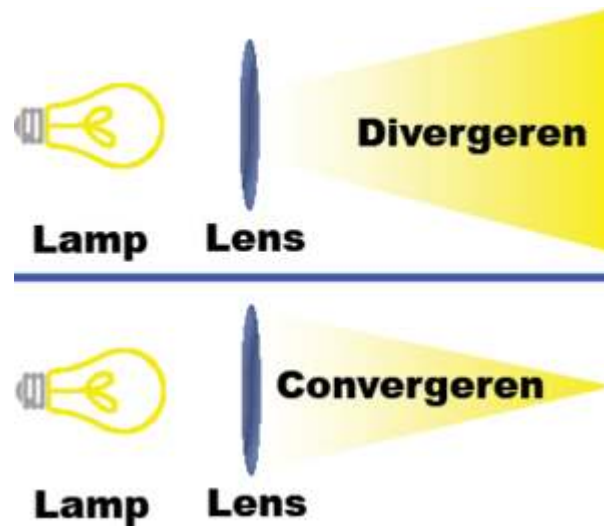
2.3.2. Betekenis

Heel theoretisch betekent lichtsterkte van een lichtbron enerzijds de hoeveelheid licht die de bron afgeeft, eenheid hiervan is candela en dat is een SI-eenheid.

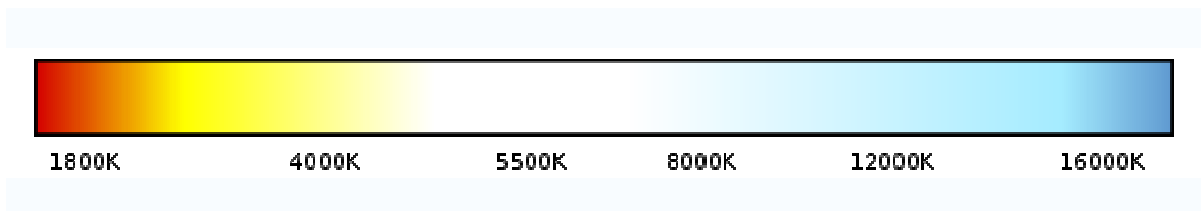
Een lichtbron is maar een veralgemening, dit kan betrekking hebben tot een lamp maar ook tot een ster kortom alle objecten die licht verspreiden. Deze lichtbronnen kun je onderverdelen in twee soorten. Er zijn de natuurlijke en de kunstmatige lichtbronnen. Een lamp is dus kunstmatig terwijl de zon een natuurlijke lichtbron is. Anderzijds is lichtsterkte een maat voor de hoeveelheid licht die het opvangt en nuttig gebruikt om een beeld te vormen. Deze lichtsterkte verwijst naar telescopen of het menselijk oog maar vooral ook naar de fotografie. Dus hoe groter de lens of pupil hoe groter de lichtsterkte. Het oog daarentegen past zich aan door de pupil te verkleinen of vergroten, zodat de lichtsterkte quasi gelijk blijft. Wij zullen het nog hebben over de astrofotografie later in dit hoofdstuk.

Naast de lichtsterkte kennen we ook de lichtstroom, deze twee zaken lijken hetzelfde maar dat zijn ze allesbehalve. Lichtstroom is namelijk een maat voor de hoeveelheid energie die een lichtbron in alle richtingen uitzendt. De eenheid van lichtstroom is de hoeveelheid licht per tijdseenheid en is gelijk aan energie per tijdseenheid en dat is hetzelfde als lumen. Lichtstroom is dus bij licht wat debiet is bij vloeistoffen.

Nog een belangrijke factor is de stralingshoek waarvan de eenheid in graden wordt uitgedrukt. De invloed die luidt als volgt, bij een kleinere stralingshoek wordt de lichtsterkte groter terwijl de lichtstroom niet verandert. Een toepassing hierop is convergerend en divergerend licht. Divergerend licht geeft een positief brandpunt dat wil zeggen dat we te maken hebben met een positieve stralingshoek en dat de lichtsterkte alsmear vermindert terwijl de lichtstroom gelijk blijft. Bij convergerend licht heb je natuurlijk het tegenovergestelde, hier heb je een negatieve stralingshoek en wordt de lichtsterkte alsmear groter terwijl de lichtstroom opnieuw gelijk blijft.



Daarnaast is er ook nog kleurtemperatuur deze wordt aangegeven in kelvin. Zo heeft blauw licht een hogere kleurentemperatuur dan roodachtig licht. Het vreemde is dus dat kleuren zoals rood die een lage kleurentemperatuur hebben, warmer worden ervaren dan kleuren zoals blauw met hoge kleurentemperatuur.



2.4. Astrofotografie

2.4.1. Inleiding

Waarnemen, kijken, observeren, bestuderen van het heelal het betekent allemaal hetzelfde maar het is natuurlijk veel ingewikkelder dan dat. Om te beginnen is er een verschil tussen dag en nacht. Het licht voor de hand dat het 's nachts heel wat interessanter is voor astrologen om het hemelgewelf te bekijken. Astrologen zijn mensen die de astrologie bestuderen, dit heeft alles te maken met het verband tussen de kosmos en het leven op aarde. Als je beperkt bent in materiële zaken om de sterrenhemel te observeren dan gebruik je je ogen. Op die manier deden mensen het in de oudheid ook, zo gebruikten zij de sterren om zich 's nachts te oriënteren en overdag gebruikten ze om dezelfde redenen de zon. Observaties doe je dan het best op een donkere plek zoals op zee of in de bergen. Dit zijn allemaal plaatsen waar er geen of bijzonder weinig lichtvervuiling of lichtpollutie is van steden, straatverlichting en dergelijke. Zo bevinden de beste telescopen op aarde zich op bergen. Nog beter is om het heelal te bekijken vanuit een telescoop die zich op een baan rond de aarde beweegt. Vandaag de dag bevinden zich al heel wat telescopen in de ruimte. De bekendste uit dit arsenaal is waarschijnlijk de Hubble telescoop, hij bevindt zich al sinds 1990 in een bijna cirkelvormige baan rond de aarde. Sinds zijn lancering is de telescoop al meerdere keren gerepareerd of verbeterd. Het is wel nog steeds de beste telescoop waarover de mensheid beschikt. Er spelen natuurlijk nog andere factoren een grote rol in het al dan niet goed kunnen zien van de hemellichamen, zoals de bewolking en de dichtheid van de atmosfeer. De bewolking lijkt me logisch maar de dichtheid van de atmosfeer verdient toch wat meer uitleg. Je kunt de atmosfeer vergelijken met glas, door enkel glas kun je gewoon kijken alsof het er niet is, maar neem nu glas van 1 meter dik de zichtbaarheid zal sterk afnemen wel zo werkt het bij de atmosfeer ook. Conclusie de plaats waar de atmosfeer het minst dik is, is het punt recht boven de plaats waar je je bevindt.



Hubble telescoop

Neem nu dat deze factoren niet hinderen of ideaal zijn en je kijkt naar de sterrenhemel, dan kun je meerdere hemellichamen waarnemen. Naast de maan en de sterren bestaat de kans dat je een satelliet ziet, zoals het internationaal ruimtestation, beter bekend als het ISS, dat al sinds 1998 in een baan rond de aarde cirkelt, of zelfs een andere planeet in ons

zonnestelsel of misschien de galaxie ook wel het sterrenstelsel. Als je geluk hebt bestaat de kans dat er op dat moment een vallende ster of een komeet ook wel staartster genoemd aan de hemel verschijnt. Dit zijn enorme sneeuwballen die op langgerekte banen rond de zon cirkelen en daarbij een deel van hun materiaal verliezen in een lange staart. Indien de aarde door zo'n baan passeert, worden de stofdeeltjes door de aarde aangetrokken en verbranden ze in de atmosfeer. 's Nachts vormt zich dan het fenomeen meteoren beter bekend als vallende sterren. De komeet Halley is waarschijnlijk een van de bekendste en helderste periodieke kometen. Om de 76 jaar kan men hem waarnemen. In 2061 wordt de komeet Halley weer verwacht.



ISS



Komeet



Vallende sterren

Om dit alles te zien, vergt dit natuurlijk een klein beetje kennis van zaken. Maar zeker is dat de kans bestaat dat je deze hemellichamen waarneemt. Wat ons vooral interesseert zijn natuurlijk de sterren. De eerste indrukken bij het bestuderen van het hemelgewelf zijn dat sommige sterren veel beter zichtbaar zijn dan anderen, of dat niet elke ster dezelfde kleur heeft, sommigen zijn blauwachtig ander meer roodkleurig. Sterren hebben deze eigenschappen niet zomaar. Er zijn hier natuurlijk logische verklaringen voor, waarbij heel wat factoren opnieuw een rol spelen. Een van die factoren is de afstand van de ster ten opzichte van de aarde maar ook de helderheid van de ster ook wel magnitude genoemd is belangrijk. De kleur vertelt bijvoorbeeld iets over de temperatuur van de ster. Zo bestaat er een magnitudeschaal waar alle sterren kunnen worden ingedeeld volgens hun helderheid. Dit alles zullen we even duidelijk maken in het volgende hoofdstuk.

2.4.2. Magnitudeschaal

De magnitudeschaal werd bepaald door vast te stellen dat sterren met magnitude 1, 100 keer helderder zijn dan sterren met magnitude 6. Om te bepalen wat de overige verhoudingen zijn tussen de magnitudes werd gebruikt gemaakt van een onbekende a .

Een ster van magnitude 1 is a keer helderder dan een ster van magnitude 2.
 Een ster van magnitude 2 is a keer helderder dan een ster van magnitude 3.
 Een ster van magnitude 3 is a keer helderder dan een ster van magnitude 4.
 Een ster van magnitude 4 is a keer helderder dan een ster van magnitude 5.
 Een ster van magnitude 5 is a keer helderder dan een ster van magnitude 6.

Samengesteld geeft dit: $a \times a \times a \times a \times a = 100$. Dus

$$\begin{aligned} a &= \sqrt[5]{100} \\ &= 2.5118864... \end{aligned}$$

Deze magnitudeverdeling werd door de Grieken vastgelegd alvorens er nog maar gesproken werd over telescopen. Wat wil zeggen dat sterren met deze magnitude nog waar te nemen zijn met het blote oog. Later, toen men gebruik begon te maken van telescopen, ontdekte men dat er sterren zijn met een veel zwakkere magnitude, niet waarneembaar met het blote oog. Men heeft dan maar deze magnitudeschaal logaritmisch uitgebreid. De zwakste objecten die met de telescoop van Mount Palomar kunnen worden gefotografeerd, hebben magnitude 23. Dit was lang de beste telescoop op aarde. Met de Hubble telescoop geraken we aan magnitude 27. Anderzijds kan de schaal ook worden uitgebreid naar heldere objecten. Zo zijn er sterren ingedeeld bij magnitude 1 die in feite veel helderder zijn wat maakt dat je te maken krijgt met negatieve magnitudes. Zo heeft Wega, de helderste ster in het sterrenbeeld Lier en een van de helderste van het noordelijke halfrond, magnitude 0. De planeet Venus heeft magnitude -4. De volle maan krijgt -13, en de zon -27.

Deze tabel geeft de verhoudingen tussen de magnitudes weer

magnitude	lichtsterkte
0	1
1	2,511886432
2	6,309573445
3	15,84893192
4	39,81071706
5	100
6	251,1886432
7	630,9573445
8	1584,893192
9	3981,071706
23	1584893192
27	63095734448
-4	0,02500000
-13	1/158000
-27	1/63000000000

Zoals verwacht zijn niet alle magnitudes gehele getallen. Een ster van magnitude 3.5 ligt tussen magnitude 3 en 4. Om de verhouding te berekenen, nemen we de vierkantswortel uit 2.51188, dat is 1.585, dus we hebben: een ster van magnitude 3.5 is 1.6 keer zwakker dan een ster van magnitude 3, en 1.6 keer helderder dan een ster van magnitude 4.

Natuurlijk kan dit alles samengevat worden in een formule. Met deze formule kunnen we het verband tussen de magnitudeverschillen en lichtsterkteverhouding berekenen. L staat voor de lichtsterkte en m voor de magnitude

$$\begin{aligned}\frac{L_2}{L_1} &= 2.51188...^{m_1-m_2} \\ &= 100^{\frac{m_1-m_2}{5}} \\ &= 10^{2 \cdot \frac{(m_1-m_2)}{5}}\end{aligned}$$

Als je ziet dat L_2 boven de breukstreep staat en dat m_2 daarentegen en mintekens bevat, dan kun je vaststellen dat een grote magnitude overkomt met een kleine lichtsterkte.

We kunnen bovenstaande formule nu nog omvormen aan de hand van logaritmen. Algemeen bekend is dat, de a-logaritme van x de macht is waartoe we a moeten verheffen om x te bekomen.

Formule is dus gelijk aan ${}^a\log x = y$ met andere woorden betekent dit dus $a^y = x$

Als we dit nu weten kunnen we vaststellen dat bovenstaand formule gelijk is aan:

$$\begin{aligned}\log \frac{L_2}{L_1} &= 2 \cdot \frac{m_1 - m_2}{5} \\ 2.5 \log \frac{L_2}{L_1} &= m_1 - m_2\end{aligned}$$

2.4.3. Invloed van de afstand

In het voorgaande hoofdstukje hebben we het nu uitgebreid gehad over de helderheid van sterren maar dit zegt natuurlijk niets over waarom de ene ster helderder is dan de andere. Daarom wordt deze magnitude de schijnbare magnitude genoemd. Het woord zegt het zelf de magnitude die de ster lijkt te hebben maar in feite niet heeft. De schijnbare magnitude van een ster wordt grotendeels bepaald door twee zaken aan de ene kant de werkelijke sterkte van de ster of de lichtsterkte, dus hoeveel licht ze uitstraalt, en aan de andere kant zoals eerder vermeld de afstand tot de plaats vanwaar de ster wordt bekeken. Ter verduidelijking men heeft twee sterren die evenveel licht uitstralen, maar de eerste staat de helft zo ver verwijderd als de tweede. Op die manier zal de eerste ster dus sterker schijnen dan de tweede, hoeveel sterker kunnen we bepalen aan de hand van onderstaande formule. De formule gaat als volgt:

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2$$

Op d_1 en d_2 vullen we de afstand in van de ster tot waar we ons bevinden op het moment dat we de sterren waarnemen. Op L_1 en L_2 vullen we hun lichtsterkte in, deze waarden zijn dus nog steeds van belang, ook al is het maar een waarde voor de magnitude die we denken dat de ster heeft. In de formule kun je afleiden dat hoe verder de ster gelegen is hoe zwakker de helderheid.

We kunnen nu te weten komen wat de afstand nu van invloed heeft op de schijnbare magnitude. We kunnen dit doen aan de hand van het samenstellen van enkele formules namelijk:

met de logaritmische formule van het verband tussen magnitudeverschillen en lichtsterkteverhouding

$$2.5 \log \frac{L_2}{L_1} = m_1 - m_2$$

en met de formule in verband met afstand en lichtsterkteverhouding

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2$$

Het resultaat luidt als volgt:

$$m_1 - m_2 = 2.5 \log \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2$$

De formule valt nog te vereenvoudigen naar:

$$m_1 - m_2 = 5 \log \left(\frac{d_1}{d_2} \right)$$

Dus als we spreken van schijnbare magnitude, dan hebben we het over de helderheid van de ster zoals wij dat hier van op aarde ervaren. Dat wil dus zeggen dat zeer heldere sterren bij ons dan weer zwak kunnen overkomen als ze op grote afstand staan. Naast de schijnbare magnitude spreekt men daarom ook van de absolute magnitude. Hierbij zullen zeer heldere sterren een hoge absolute magnitude hebben, ook al wordt hij als zwak waargenomen van op aarde. We kunnen dit immers opnieuw berekenen aan de hand van de volgende formule. Waarbij M staat voor de absolute magnitude en m andermaal staat voor de schijnbare magnitude. d_2 krijgt hier als standaardafmeting 10.

$$m - M = 5 \log \frac{d}{10}$$

2.4.4. Invloed van de kleur

Tegenwoordig kan de schijnbare magnitude op verschillende manieren worden gemeten:

- a) Schatting: Men kan een ster vergelijken met andere sterren die ongeveer even helder zijn.
- b) Fotografie: Men kan de sterren fotograferen. Sterren zijn namelijk puntvormige lichtbronnen. Aan de hand van de dikte van de fotografische plaat kan men de helderheid afleiden.
- c) Bolometrie: Aan de hand van een gevoelige thermometer kan men de temperatuur van de geconcentreerde lichtstralen meten.
- d) Fotometrie: Aan de hand van geconcentreerd licht op een foto-elektrische celbeter bekend als zonnecel de stroom meten.

Deze verschillende technieken zullen echter soms heel afwijkende resultaten laten zien. Daarmee bedoelen we dat met de ene methode de ster sterker zal bevonden worden en met een andere meetmethode dan weer zwakker. Dit fenomeen valt te wijten aan de kleur van de ster die ook een grote rol speelt. Sterlicht is namelijk een mengmoes van meerdere kleuren, die in verschillende mate aanwezig zijn van ster tot ster.

We verduidelijken dit even met enkele voorbeelden. Dus als een ster roodachtig licht afgeeft, zoals Betelgeuze die zich bevindt in het sterrenbeeld Orion, dan komt de ster over als zijnde helder voor het menselijke oog, maar zal ze zwak afgebeeld staan op foto. Een ster die dan weer overwegend blauw licht uitstraalt, zoals Rigel ook een ster uit Orion, lijkt dan weer zeer helder op foto.

Er moest natuurlijk een oplossing komen voor dit verschijnsel, dus gaven astronomen verschillende magnitudes aan de sterren al naargelang van de gebruikte meetmethode. Deze magnitudes kregen dan ook verschillende namen zodat men onmiddellijk wist welke meetmethode werd benut. Zo heeft men het over de visuele magnitude en de fotografische magnitude. De meest objectieve manier van meten maar wel de meest gecompliceerde is die van de bolometrische magnitude. Die geeft de totale uitgestraalde capaciteit in alle kleuren, inclusief de infrarode en ultraviolette straling weer.

De kleur van een ster kan ons dus vertellen wat haar oppervlaktetemperatuur is. Rode sterren bijvoorbeeld zijn relatief koel (3000 graden), terwijl blauwe sterren erg heet zijn (15000-30000 graden).

Een bijkomende factor waar we rekening mee moeten houden is de licht-doorlaatbaarheid van de aardatmosfeer. Dat is de reden waardoor we niet het gehele spectrum kunnen waarnemen van op aarde. Dit valt simpel te verklaren. Alle licht wordt immers eerst gefilterd door de aardatmosfeer voor het wordt gedetecteerd door onze ogen. Bepaalde lichtsoorten worden in meer of mindere mate door onze atmosfeer opgenomen waardoor wij ze niet meer kunnen waarnemen.

2.4.5. Invloed van de leeftijd en massa

De leeftijd en massa van de ster zijn ook bepalend voor de magnitude. In feite bepaalt de leeftijd en de massa mede wat de kleur van de ster zal zijn. De levensloop van sterren begint bij de vorming ervan. Sterren ontstaan uit stof en gaswolken die samenkoeken onder invloed van de zwaartekracht. Wanneer de temperatuur en de druk binnenin de ster hoog genoeg is opgelopen, zal er kernfusie ontstaan. Zo zal de ster enkele miljoenen tot miljarden jaren branden, tot er geen kernfusie meer mogelijk is in de kern. Uiteindelijk zal de ster instorten. Kleine sterren zullen witte dwergen vormen, en grote sterren zullen een zwart gat vormen. Let wel dat dit een sterk vereenvoudigde versie is van de levensloop van de ster, het is natuurlijk veel complexer dan dit. Maar wat we kunnen vaststellen is dat elk stadium van de ster een ander licht uitstraalt, bijgevolg de leeftijd bepaalt mede de kleur die op zijn beurt de magnitude bepaalt.

Sterren verouderen of evolueren dus naargelang hun massa. Binnenin de zwaardere sterren gebeurt de kernfusiereactie veel sneller dan bij de lichtere sterren. Dit valt te wijten aan de temperatuur die veel hoger oploopt in grotere sterren. Door dit fenomeen zullen zwaardere sterren meer energie produceren en daardoor ook feller en harder branden. We kunnen dus aannemen dat de lichtsterkte toeneemt met de massa. De kleinste sterren, rode dwergen, hebben een lichtsterkte van $1/100000$ van die van onze zon. Terwijl de grootste sterren, blauwe reuzen een lichtsterkte hebben die enkele honderdduizenden malen hoger is dan die van de zon.

2.5. Radiotelescopen

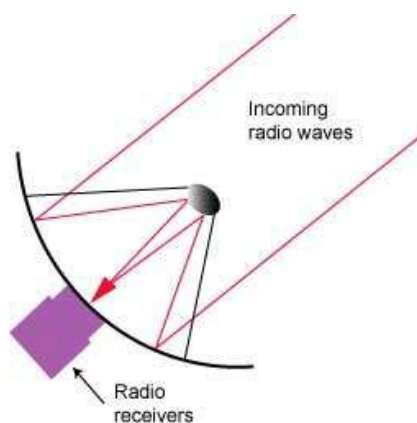
2.5.1. Inleiding

Zoals bij een optische kijkers gaan we proberen om de ruimte rondom ons te gaan bestuderen. Een eerste probleem waar we mee te maken krijgen is dat het menselijk oog niet alle stralen kunnen zien. Zoals we al gezien hebben kan het menselijk oog stralen opvangen met een golflengte tussen 380 nm en 780 nm. Zo is het mogelijk met een radiotelescoop deze stralen te gaan opvangen en zo meer te weten te komen over de eigenschappen van een hemellichaam. We kunnen bijvoorbeeld gaan bekijken welke temperatuur de zon heeft, welke stralen de zon uitstraalt en meer.

2.5.2. Geschiedenis

Aan het einde van de 19^{de} eeuw zijn de eerste radiostralen opgevangen door de beginjaren van de radio. Die stralen gaven een ruis in het signaal van de radio. Daardoor is men begonnen met het onderzoek van herkomst met als belangrijkste vermoeden: de zon. Dit onderzoek heeft lang stil gelegen omdat de detectietechnologieën onvoldoende waren. In 1932 heeft men, door gebruik van een antenne-array, de eerste vaststellingen gedaan omtrent die stralingen. Zo heeft men ondervonden dat deze niet van de zon waren maar van onweren (dichtbij en veraf) en een permanent gesis van een onbekende oorsprong. Het is zo dat de eerste radiotelescoop is ontwikkeld om verdere studies te kunnen verrichten omtrent de stralingen. De telescoop had een parabolische vorm om zo meer stralen te kunnen opvangen. Door deze uitvinding is ons melkwegstelsel in kaart gezet.

2.5.3. Werking van een radiotelescoop



Een radiotelescoop is een schotel die radiogolven uit de lucht gaat opvangen en doorsturen naar de ontvanger. Deze gaat de straling elektronisch omzetten zodat deze kunnen worden geanalyseerd en bewaard door een computer.

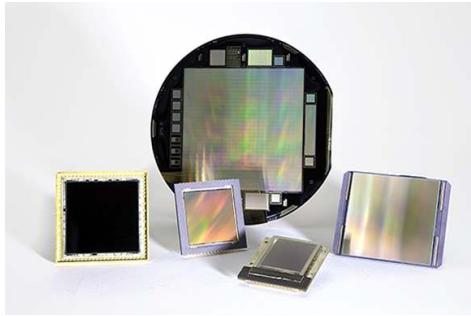
Om een goede radiotelescoop te bekomen moet deze aan volgende eigenschappen voldoen:

- De schotel moet een groot verzamelvlak hebben;
- De resolutie moet zo groot mogelijk zijn zodat de antenne hemellichamen kan onderscheiden die dicht bij elkaar staan.

Deze hoge resolutie is zeer belangrijk in de astronomie. Zo kan de radiotelescoop objecten die dicht bij elkaar staan veel beter uit elkaar houden. Ook wil men de diameter zo groot mogelijk maken. Om een goed resultaat te bekomen is het zo dat de diameter best vele maal groter moet zijn dan de op te vangen golflengtes van de stralen. Anders gezegd: hoe groter de golflengte van de op te vangen stralen, hoe groter de diameter moet zijn.

Om terug te keren naar de optische kijker is een diameter van 10 cm genoeg om 2 mensen, 1 meter uit elkaar verwijderd, te onderscheiden die op een afstand van 200 km staat. Een gewone radiotelescoop met diameter 30 meter (wat een gebruikelijke afmeting is voor zo'n schotel) daarentegen zal deze mensen pas gaan onderscheiden indien ze 60 meter uit elkaar staan. Om diezelfde resolutie van de optische kijker te bekomen, moet de parabool groter zijn dan 1 km. Dit is met de huidige technologie nog steeds onmogelijk te bouwen.

2.6. Wat is een CCD-chip?



Een CCD of een Charged-Coupled Device is een elektronische chip waar er informatie kan worden opgeslagen, de informatie wordt opgeslagen via beelden.

Men kan de beelden opslaan via tienduizenden beeldelementen die te vinden zijn op het oppervlak, ze worden ook wel pixels genoemd. Deze pixels zijn lichtgevoelig en worden in een heel klein rechthoekje of vierkantje geplaatst, deze plaats

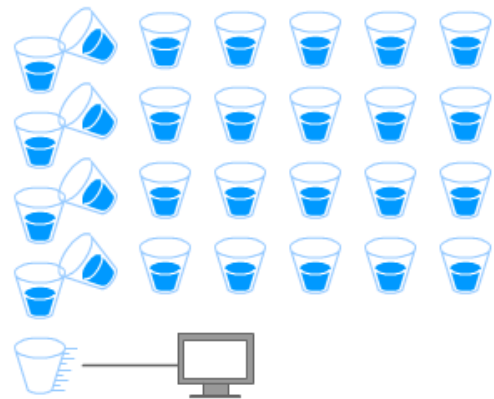
wordt ook wel een vierkante of rechthoekige matrix genoemd.

2.6.1. Werking van een CCD-chip

Men haalt de informatie uit het licht via een elektromagnetische straling om te zetten naar een elektrische lading.

Men kan de werking van een CCD ook vergelijken met een vierkantig of rechthoekig veld dat nogmaals verdeeld is in kleine vierkantjes, in elk vierkantje staat er een emmertje (1 emmertje = 1 pixel), elk emmertje kan worden opgevuld met een hoeveelheid licht, er kunnen een hoeveelheid fotonen worden opgeslagen in elk emmertje.

Op bepaalde tijdstippen worden de emmertjes op een soort van "transportband" geplaatst, daarna worden deze emmertjes met de fotonen in één grote emmer gegoten, deze emmer meet hoeveel fotonen er in die emmer zitten dit getal wordt dan doorgegeven aan een computer die deze getallen verder kan verwerken.



2.6.2. Bit-diepte van een CCD-chip

Het tellen van deze elektronen die op elke pixel van de CCD-chip vallen gebeurt met een bepaalde nauwkeurigheid.

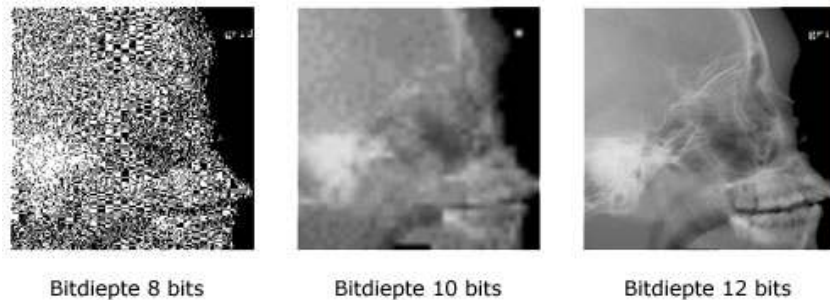
Deze nauwkeurigheid kan men op bepaalde manieren aanduiden. Sommige CCD-camera's zullen het licht of de elektronen die op een welbepaalde pixel valt voorstellen met een waarde tussen 0 en 255, terwijl andere CCD-camera's deze waarde voorstellen tussen 0 en 4095. Geavanceerde CCD-camera's kunnen zelfs tot 65536 mogelijk lichtwaardes weergeven. Men spreekt van een bepaalde bit-diepte van een CCD-chip, dit is het aantal bits waarin een pixel zijn kleurwaarde kan uitdrukken. We spreken over een 8-bit-, 12-bit-, en 16-bit- camera.

Bijvoorbeeld een 8-bits bitdiepte of kleurdiepte camera maakt 256 nuances mogelijk, dit is een vereiste voor een fotografische weergave.

Hoe hoger de bitdiepte hoe meer schakeringen van zwart naar wit men kan weergeven. In digitale kleurcamera's zal men per kleurkanaal een bit-diepte van 8, 12 of 16 bit hanteren.

Zo spreken we van een 24 bit-, 36 bit of 48-bit camera en een kleurdiepte van 8, 12 of 16. Logisch gezien is de bestandsgrootte van een foto met grotere bitwaarde groter in bestandsgrootte dan een foto met lagere bitwaarde, dus een 16-bit foto is groter in bytes dan een 8-bit foto, want men moet meer informatie weergeven hoeveel kleurwaardes er per pixel aanwezig zijn.

Ook logisch gezien is hoe hoger de bit diepte van een foto ook hoe mooier de foto is en hoe beter de kwaliteit is, want men kan meerdere kleuren weergeven in een foto. Een mooi voorbeeld hiervan is een echografie:



2.6.3. Belangrijke kwaliteitsfactor van een CCD-chip

Een belangrijke kwaliteitsfactor van een CCD-chip is de hoeveelheid ruis die een chip ondervindt.

Deze ruis is zeker overbodig want deze ruis verstoort het beeld en levert beelden of foto's van slechte kwaliteit.

Deze ruis ontstaat door verschillende oorzaken (ruis veroorzaakt door het halfgeleidermateriaal, ruis veroorzaakt door de frequentie van het elektrisch net,...). Een mooi voorbeeld van een ruis is de ruis die wordt veroorzaakt door warmte. Men kan dit waarnemen als men de lens van een camera afdekt, dus als we de CCD-chip afdekken.

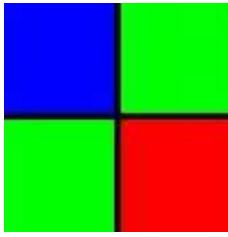
Maar op het beeld zien wij niet een zwart oppervlak maar een zwart oppervlak met hier en daar pixels die een bepaalde kleur weergeven.



Dit komt omdat er door de omgevingswarmte elektronen loskomen in het halfgeleidermateriaal en er ontstaat een soort stroom alhoewel het donker is.

We noemen deze stroom de donkere stroom. Leuk om te weten is dat een CCD-chip het minst ruis heeft als men deze chip gebruikt in een koude omgeving. Hoe kouder het is, hoe minder elektronen er vrijkomen en dus hoe minder ruis en storing er is. In de praktijk worden deze gekoeld voor professionele doeleinden, een voorbeeld hiervan is de astronomie.

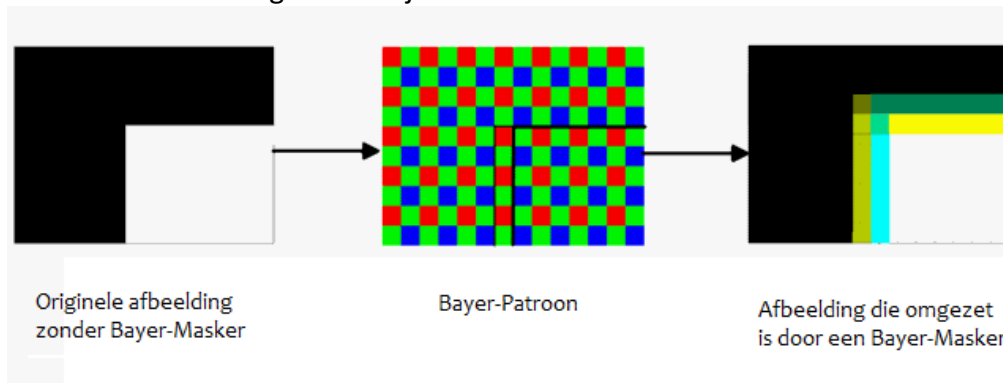
2.6.4. Bayer Masker



Normaal gezien kunnen CCD's geen kleuren herkennen. De oplossing die hiervoor bestaat is een masker dat men voor beeldelementen plaatst die wel gevoelig is, dat masker wordt het Bayer-Masker genoemd. De uitvinder hiervan is Dr. Bayer die zo'n 20 jaar bij Kodak werkte. Een Bayer-masker kan je het best bekijken op vierkanten van 2 op 2 pixels. In één zo'n vierkant (2x2) komen 2 groene, 1 blauwe en 1 rode masker voor.

2.6.5. Color Aliasing

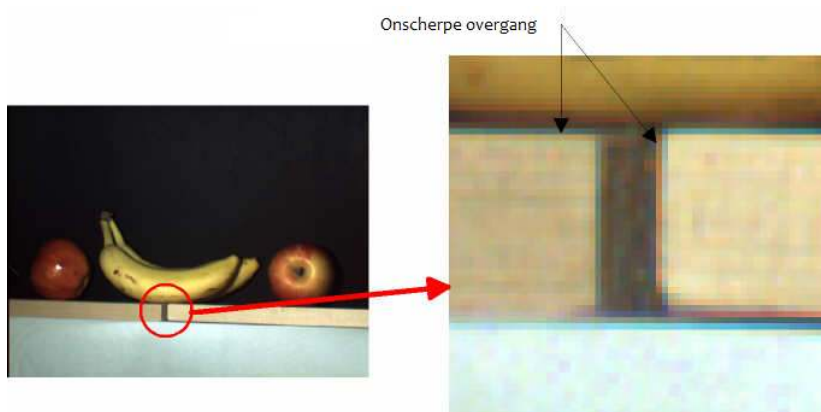
CCD's camera's die werken met een Bayer-masker hebben wel een probleem. Bijvoorbeeld: een beeld heeft een mooie en vloeiende overgang tussen zwart en wit, er is een directe overgang zonder onscherpe pixels. Maar omdat men hier een Bayer-Masker heeft toegevoegd is de overgang tussen het zwart en wit wat onscherper geworden en zien we een gekleurde onscherpe overgang ontstaan die normaal niet mag te zien zijn.



Dus kan men zeggen dat een kleurencamera die werkt met een Bayer-masker altijd wat onscherper is in de overgangen dan een monochrome camera. Deze monochrome camera heeft dan een CCD-chip die even groot is maar die zonder Bayer-masker werkt.

Oorzaak van deze onscherpe overgang is dus de Bayer-Masker.

Dit probleem wordt ook wel de color aliasing genoemd. Dit probleem kan worden verholpen door verschillende softwarepakketten (o.a. Adobe Photoshop), dit staat ook heel mooi uitgelegd op het internet als men zulke problemen heeft, zie voor meer info op <http://www.tedfelix.com/ColorAliasing>



Als men nu een beeld wil opnemen zonder onscherpe overgang met een Bayer-masker dan moet men 3 CCD-chips aansluiten in parallel en het beeld opsplitsen in de basiskleuren van het Bayer-Patroon, dit zijn groen, blauw en rood. Elke CCD-chip neemt dan elk 1 kleur op. Maar omdat het werken met 3 chips redelijk duur uitkomt wordt deze manier van werken niet of heel weinig toegepast. Enkel in de professionele fotografie wordt deze methode toegepast.

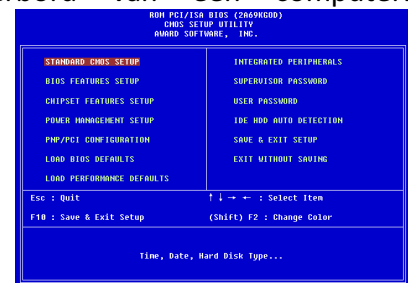
2.6.6. Vergelijking CMOS en een CCD-chip

De grootste concurrent van een CCD-chip is de CMOS. Het grootste voordeel van een CMOS is dat deze een veel lager stroomverbruik heeft in vergelijking met een CCD-chip. Ook is het principe van een CMOS anders dan van een CCD-chip.

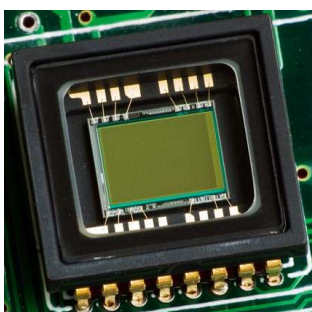
Bij een CCD-chip meet men een lading en bij een CMOS meet men de gemaakte stroom die doorheen de fotodiode loopt. Bij een beeld dat gegenereerd wordt door een CCD-chip moet er nog versterkt worden bv. ruisreductie of interpolatie. Dit wordt erna gedaan via een CMOS.

De meeste digitale camera's gebruiken vandaag de dag een CMOS-chip. Ook een toepassing van een CMOS is de BIOS van een computer. Een BIOS is de besturing van een computer die het moederbord regelt. De instellingen voor de BIOS (bijvoorbeeld hoe de computer moet opstarten) worden opgeslagen via van een CMOS.

Omdat CMOS weinig verbruikt kan een BIOS jaren lang gevoed worden door een kleine batterij die terug te vinden is op het moederbord van een computer.



2.6.7. Toepassingen van een CCD-chip



CCD's worden gebruikt in digitale camera's, de CCD bevindt zich achter de lens van de fotocamera, het licht dat de CCD ontvangt van de lens wordt omgezet in een elektrisch signaal, daarna wordt deze via een andere chip omgezet naar een digitaal signaal.

In de meeste digitale camera's gaat men voor de chat een filter plaatsen die bepaalde delen gaat blokkeren, een IR-blokkeerfilter genaamd.

Voor sommige toepassingen (bv. Ruimtevaart) is deze filter ongewenst.

Er bestaan sommige firma's die hierin gespecialiseerd zijn om deze filters te verwijderen (bv. de firma Hutech in de V.S.).

2.7. Bewegende beelden

2.7.1. Hoe stelt men een bewegend beeld tezamen?



Er bestaan niet enkel stilstaande beelden en foto's maar er bestaan ook al tientallen jaren bewegende beelden die worden gebruikt op TV, DVD, video en ook voor het bestuderen van de ruimte.

Een bewegend beeld zijn foto's die achter elkaar worden gezet en die daarna in een heel snel tempo worden gespeeld, de kijker heeft niet het gevoel dat hij naar een aantal verschillende beelden/foto's per seconden aan het kijken is, dit noemt men vandaag de dag frames/seconde, dit zijn dus het aantal frames die men per seconde door de beeldbuis stuurt.

Via verschillende elektronische componenten slaagt men erin om bewegende beelden op te slaan, de mediums hiervoor zijn vandaag de dag steeds maar populairder geworden. In het begin gebruikte men de magnetische band (video), analoog.

Nu is men meer filmmateriaal op DVD of Blue-Ray aan het plaatsen, digitaal.

Men ziet hier al dat ik het onderscheid maak tussen analoog en digitaal signaal.

Analoge mediums om film om op te slaan zijn meestal oude mediums, dit is meestal de cassette die we van vroeger kennen.

Digitale mediums om een film om op te slaan zijn meestal de nieuwere mediums zoals een DVD of een Blue-Ray Disc.

Het belangrijkste verschil tussen analoog en digitaal signaal is het verschil van het verwerken van het signaal, het digitale signaal stuurt zijn gegevens door met een stroom van "bits", dit is terug te vinden in de elektronica met de cijfers 0 en 1.

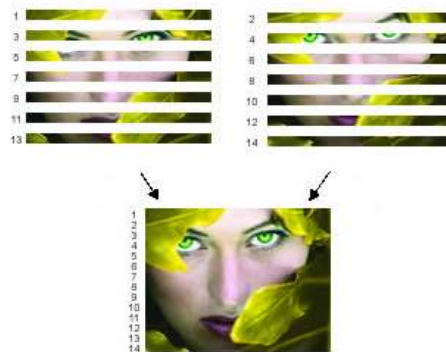
Bij het analoge signaal is het signaal glijdend of men kan het ook traploos noemen.

Dit is de gemakkelijke manier om uit te leggen wat een bewegend beeld werkelijk is.

Er bestaan verschillende manieren om van enkele beelden of foto's naar een bewegend beeld of video te gaan. Ik zal hier 2 verschillende technieken bespreken.



2.7.1.1. Interlaced opnametechniek – Progressive opnametechniek



Bij deze techniek worden 2 beelden of foto's na elkaar genomen.

Deze foto's worden in verticale stroken geknipt, deze worden daarna met elkaar gemixt en ze worden in elkaar gestoken.

Eerst komt een eerste strook van een eerste foto dan een tweede strook van de tweede foto enzovoort.

Al deze stroken en dus deze 2 beelden of foto's vormen samen 1 beeld van de filmopname, dit beeld wordt ook een frame genoemd.

Bij heel snel bewegende beelden zodat de frames/seconden heel hoog zijn zal men bij deze techniek van opnemen wel onscherpe beelden zien, de contouren van de beelden zullen wat onscherp worden.

De reden waarom men deze interlaced opnametechniek gebruikt is om flikkering van het beeld tegen te gaan als men naar een te traag beeld gaat dus naar een laag aantal frames/seconden, wanneer de frequentie van het beeld lager is dan 60 frames/seconden zal men met deze interlaced opnametechniek werken, als de frequentie hoger is dan 60 frames/seconde dan zal men niet meer met deze techniek werken.

Deze methode werd het meest toegepast bij oude TV toestellen.

Er bestaat ook een progressive opnametechniek.

Bij techniek zal het gehele beeld in één keer getekend worden.

Deze techniek heeft veel nauwkeuriger resultaten weer, het bewegende object wordt in één beweging afgescand en niet in stroken zoals in bovenste methode.

De lijnen van het beeld worden tegelijk ververst.

Bijvoorbeeld computers genereren beelden die "progressive" zijn.

De progressive opnametechniek heeft een grote verversingssnelheid (100 Hz of meer). Het beeld is dan rustiger en minder vermoeiend om naar te kijken dit komt omdat de frequentie van het beeld hoog is en hoe hoger de frequentie hoe beter het is voor de ogen om naar een bewegend beeld te kijken.

Vandaag de dag wordt deze methode het meest gebruikt bij TV toestellen.

Het voordeel van deze techniek is dat het een grote verticale resolutie kan weergeven (dus heel geschikt voor de HD beelden vandaag de dag van 720p of 1080p).

Het grote nadeel van deze techniek is dat snelle bewegingen die in het bewegende beeld staan soms schokkerig overkomen.

2.7.2. Beelden overplaatsen

Als men via een apparaat een film heeft opgenomen moet deze naar een scherm verstuurd worden zodat men kan zien wat men heeft opgenomen.

Men kan het vergelijken met een videorecorder of een DVD speler die men aansluit op een televisie toestel.



De bekendste kabel die al redelijk oud is de SCART kabel of de euroconnector, deze scart connector bestaat uit 21 pinnen die het analoge geluidssignaal en analoge beeldsignaal verstuurd naar bijvoorbeeld een televisietoestel.

Voordelen aan deze soort connector is dat men maar één kabel nodig heeft voor het versturen van geluid en van beeld, de kwaliteit van het scartbeeld is heel goed. Het is niet de beste kwaliteit die er vandaag de dag bestaat

maar toch brengt deze kabel het geluid en beeld heel mooi tot de beeldbuis.

Nadelen zijn dat SCART enkel stereogeluid kan doorsturen en niet het populaire 5.1. geluid. Ook een nadeel aan SCART is dat deze maar in één richting uitgevoerd zijn, hiermee wordt bedoeld dat het mogelijk is dat een videorecorder een beeld in hoge kwaliteit kan afspelen maar niet kan opnemen in hoge kwaliteit.

Ook bestaat er de RCA kabel, deze kabel die bestaat uit 3 uitgangen, 2 uitgangen bedoeld voor het geluid en één kabel voor het beeld.

Dit signaal is ook een analog signaal.

Er bestaan ook converterstukjes zodat met deze 3 kabels in een tussenstuk kan steken zodat deze overgaat in een SCART aansluiting.



De HDMI kabel is de kabel die de laatste jaren erg in trek aan het komen is.

Deze kabel wordt meer en meer gebruikt om verschillende toestellen aan te sluiten aan het televisietoestel zoals een digibox.

Het is een vervanger voor de SCART kabel die een betere kwaliteit van geluid en beeld verstuurt naar de beeldbuis.

Deze kabel verstuurt zijn informatie digitaal. Deze kabel bestaat uit 19 draden, de maximale bandbreedte van deze kabel bedraagt 14,9 Gbps.

Voordeel van deze kabel is dat deze veel betere kwaliteit kan leveren dan zijn voorganger de SCART kabel omdat deze geen analog maar een digitaal signaal uitzendt.

Daardoor is er veel minder ruis die kan ontstaan, want bij een analog signaal is dit wel soms het geval.

Nadeel van de HDMI kabel is dat deze geen teletekst signaal kan doorsturen voor een televisietoestel, de SCART kabel kan dit wel.

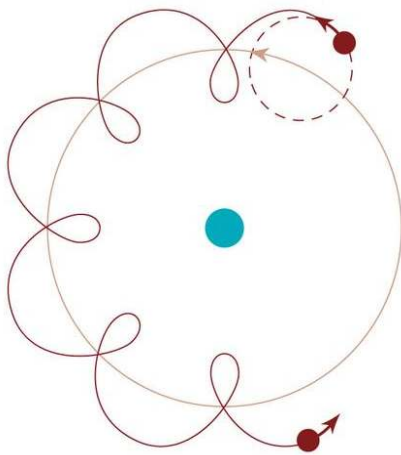
3. Het heelal - zonnestelsel

3.1. De Big Bang theorie

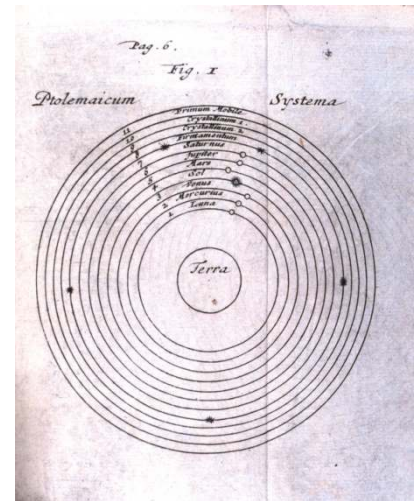
3.1.1. Inleiding: Waar komt alles vandaan?

3.1.1.1. De verschillende theorieën

In het begin dachten de mensen dat de aarde het middelpunt was van het heelal. Dit kwam omdat het leek alsof het heelal rond ons bewoog vanuit ons standpunt gezien. In de 4^{de} eeuw voor christus kwam de Griekse filosoof Aristoteles (384 v.C. – 322 v.C.) met deze interpretatie en liet de rest van de wereld zijn idee volgen. Het idee was dat de aarde in het midden van alles stond. De sterren, zon en planeten draaiden in mooie cirkelvormige banen rond de aarde.



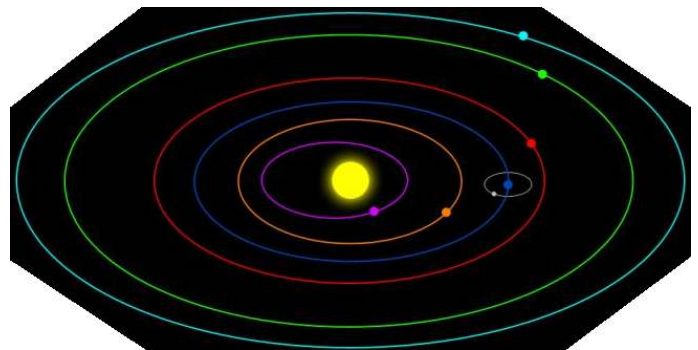
Figuur 2 : Aarde is het centrum van het Universum, planeten volgen epicirkels.



Figuur 1 : Aarde centraal in het Universum, planeten volgen perfecte cirkelbanen.

In de 1^{ste} eeuw kwam Claudius Ptolemaeus (87 – 150) met een verbetering aan het idee van Aristoteles. Hij vond door waarnemen dat de banen van de planeten rond de aarde niet mooie cirkelvormige banen waren. De planeten bewogen zich voort rond de aarde volgens epicirkels of hulpcircels.

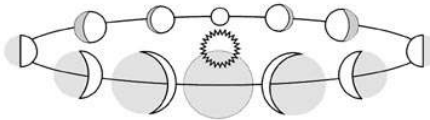
In de 15^{de} eeuw stak een idee, het heliocentrisme*, de kop boven water. Dit idee tartte de bevinden van de Kerk over het heelal. De Kerk bleef stug volhouden dat de aarde het midden van het heelal is, want zij geloofden dat God de mens en de wereld naar zijn beeld geschapen had en dat daarom alles rond de aarde moest draaien.



Figuur 3: Heliocentrisme, de zon staat centraal in plaats van de aarde.

De man die achter dit idee zat was Nicolaus Copernicus (1473-1543). Hij geloofde niet in de epicirkels en zocht daarom naar een oplossing. Hij vond een oplossing door de Zon in het midden van het zonnestelsel te zetten in plaats van de Aarde. Hij kwam ook op het idee

dat de aarde iedere 24 uur rond zijn as draait. Dus de hemel bewoog niet rond de aarde, maar de aarde bewoog zelf. En hierdoor was de waarneming van de epicirkels enkel een illusie. Hij dacht ook dat de planeten in perfecte cirkelvormige banen rond de zon bewoog. Maar niet iedereen was overtuigd van het heliocentrisme totdat Kepler (1571-1630) de mensen overtuigde. Kepler had veel informatie weten te verzamelen over ons zonnestelsel door jarenlang gegevens op te schrijven. Hij gebruikte zijn gegevens om aan te tonen dat de Zon wel in het midden moest staan want anders zouden zijn waarnemingen niet kloppen. Dus hij steunde Copernicus maar hij verbeterde hem ook. Hij zei dat de planeten zich niet rond de zon bewogen in perfecte cirkelbanen, maar meer in elliptische banen. Kepler kwam ook tot het besluit dat wanneer een planeet dicht bij de zon kwam hij sneller begon te bewegen in zijn baan. En wanneer de planeet verder van de zon was, dan vertraagde hij. Maar hij kon niet bewijzen waardoor dit kwam.



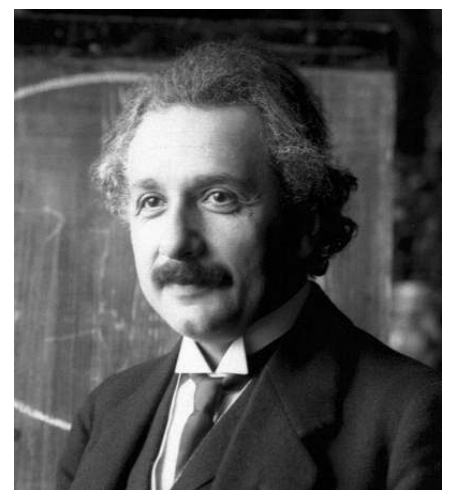
Figuur 4: Voorstelling van Venus die in fasen overgaat.

In de 17^{de} eeuw kwam Galileo Galilei (1564-1642) op het toneelstuk en hij bewees dat de zon in het midden moest. Dit deed hij met behulp van zijn telescoop. Hij zag dat Venus in fasen overging, gelijkaardig als de fasen van de maan, dus dit betekende dat Venus rond de zon moest draaien. Hij bewees dat Copernicus zijn idee correct was, en dat de Kerk verkeerd zat.

Galileo Galilei vond uit waarnemingen dat wanneer je 2 verschillende massa's liet vallen op de aarde ze een gelijke versnellingsfactor hebben, ongeacht hun massa. Maar Galileo wist zich geen raad met zijn bevindingen. Wie wel met de oplossing kwam voor dit probleem was Newton (1643-1727). De oplossing was zwaartekracht. De kracht die voorwerpen naar de aarde laat vallen was eigenlijk ook de kracht die ervoor zorgt dat de planeten rond de zon draaien. Zwaartekracht hield alles bijeen, alles werd beïnvloed door de zwaartekracht. Bijvoorbeeld de aarde trekt de maan aan, de maan trekt de oceanen aan en de zon trekt de aarde aan.

Na Newton kwam Albert Einstein (1879-1955) met nieuwe bevindingen over het heelal. Hij zag het universum liever zonder een begin of einde, omdat dit gemakkelijker was om zijn theorieën op te baseren. In 1905 publiceerde hij zijn relativiteitstheorie* die de link vormde tussen ruimte en tijd. Hij kwam met het begrip ruimtetijd*. In 1912 ontdekte Vesto Slipher (1875 – 1969) dat de meeste spiraalnevels zich van de aarde weg bewogen. Maar Slipher begreep echter niet wat dit wilde zeggen en hij wist ook niet dat die spiraalnevels eigenlijk sterrenstelsels waren. In 1915 vond Einstein de algemene relativiteitstheorie* uit, deze verbeterde de speciale relativiteitstheorie door de zwaartekracht te laten inwerken op de ruimtetijd.

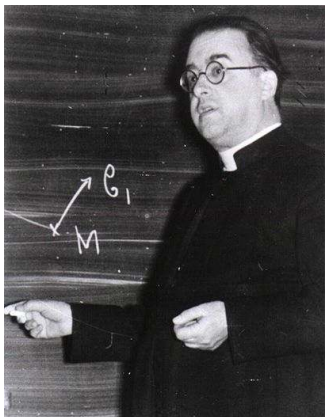
De Algemene relativiteitstheorie wordt bewezen wanneer Arthur Eddington (1882-1944) in 1919 foto's kon nemen van sterren die achter de zon stonden. Dit deed hij met behulp van een zonsverduistering. Hiermee bewees hij dat voorwerpen de ruimtetijd kunnen beïnvloeden en vervormen. 6 jaar later haalde de Russische kosmoloog en wiskundige Alexander Friedmann (1888 – 1925) de Friedmann-



Figuur 5: Albert Einstein, hij legde de basis voor de big bang theorie.

vergelijkingen uit de algemene relativiteitstheorie van Albert Einstein. Hieruit bleek dat het heelal uitdijt, terwijl dat iedereen toen geloofde in een statisch heelal. Helaas steunde Einstein op deze foute bewering.

Maar Einstein bleef bij zijn “denkbeeldig” universum. Jammer genoeg is deze incorrect want wanneer je massa introduceert in zijn universum, dan zou het heelal gewoon imploderen. Om dit te voorkomen heeft Einstein een tegengestelde kracht uitgevonden die even groot was als de zwaartekracht. Hierdoor zou zijn universum constant blijven, hij noemde deze constante de kosmologische constante. Helaas voor hem bestond die constante niet. Zijn eigen algemene relativiteitstheorie toonde aan dat het heelal uitzette in plaats van constant bleef. Omdat het heelal uitzette moest het ooit veel kleiner geweest zijn. Een dynamisch en uitzettende universum, dit was de bodem waarop de big bang theorie is gebouwd.



Figuur 6: George Lemaître, de 'uitvinder' van de Big Bang theorie

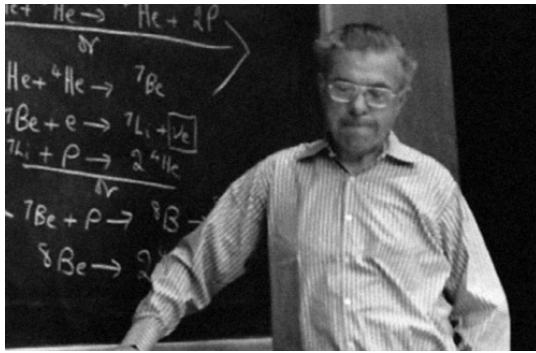
Dus Einstein legde de basis voor Lemaître (1894-1966) zijn theorie. Dit idee was dat het universum geboren moest zijn omdat het heelal tegenwoordig expandeert. Via dit idee bedacht hij dat het universum kleiner moest zijn gisteren dan vandaag. Dus moest het heelal vroeger wel immens klein geweest zijn. Bij de geboorte van het Universum kunnen we aannemen dat het heelal bevat was in een Oeratoom. Nu was er een tweestrijd tussen Einstein en Lemaître omdat Einstein geloofde in een constant universum en Lemaître in een uitbreidend universum. Beide theorieën waren nog niet bewezen, dus wist men niet wie fout of juist bezig was.

In 1925 zag Hubble (1889-1953) dat er meer was dan de Melkweg alleen, dus het universum moest veel groter zijn dan onze Melkweg. Hubble kon de plaats bepalen van de andere galaxiën door de schijnsterkte van een Melkweg. Hij kon dan de afstand berekenen door gebruik te maken van de 'standard candle'*. Dit is de meetstaaf waarmee men de plaats bepaalde van sterren door middel van de lichtsterkte van die ster. In 1929 kwam Hubble tot de conclusie dat de galaxiën van elkaar weg verplaatsten. Door deze ontdekking kan de theorie van Lemaître mogelijk zijn, maar de constant van Einstein kan zeker niet en bestond dus niet. En Hubble ging nog verder, hij probeerde de leeftijd van het universum te bepalen via wiskundige berekeningen en de gegevens die hij verzameld had. Deze gegevens was de snelheid waarmee de galaxiën van elkaar verwijderden. De uitkomst van zijn berekeningen zei dat het universum 2 miljard jaar oud moet zijn. Dit was incorrect omdat men toen al wist dat de Aarde ouder was dan 2 miljard jaar.



Figuur 7: Edwin Hubble

Nu kon de theorie van Lemaître gemeten worden, maar daarmee was het nog niet bewezen. Om dit te bewijzen moest men de achtergrond straling vinden die afkomstig is van de Big Bang, de zogenaamde kosmische straling. Omdat deze kosmische straling nog niet gevonden was en Hubble de leeftijd van het universum verkeerd had berekend, werd de Big Bang theorie nog niet als waarheid aangenomen. Dit liet toe dat er nog andere wetenschappers nieuwe theorieën mochten voorstellen.



Figuur 8: Fred Hoyle, de 'uitvinder' van de Steady State theorie

In 1950 kwam Fred Hoyle (1915-2001) met een nieuwe theorie, de Steady State theorie. Dit idee was gebaseerd op de elementen van het periodiek systeem en dat het heelal 'constant' was. De theorie zei dat in de kernen van zeer warme sterren 2 waterstofatomen met elkaar konden binden door de extreme hoge temperatuur en zo Helium maakten. En vanuit waterstof en helium werden er nog zwaardere elementen gefuseerd, dit fenomeen werd ook nucleosynthesis* genoemd.

Fred Hoyle verkondigde dat in het begin enkel waterstof bestond, en dat hieruit helium zou ontstaan zijn. En vanuit helium en waterstof zouden er andere zwaardere elementen ontstaan zijn in zware sterren. Dus Hoyle zei dat alle elementen na helium in feite "stardust" zijn. Maar hoe is waterstof dan gemaakt is de vraag die niet beantwoord werd. Om hier een antwoord op te geven zei Hoyle dat er altijd al waterstof had bestaan. De eerste sterren moesten dus uit waterstof en bijgevolg ook uit helium ontstaan zijn. Hij zei dat het universum in feite nooit begonnen was of nooit zal eindigen, dus is er sprake van een "Steady State". Dit wil zeggen dat het universum zoals het nu is er altijd zo heeft uitgezien, er altijd al geweest is, altijd dezelfde densiteit, grootte en temperatuur heeft. Deze "Steady State" theorie week af van de praktijk want toen wisten ze al dat het universum uitzette. Omdat het heelal uitzette en omdat Hoyle zei dat het universum al altijd bestaan had, zou het universum oneindig verdund moeten zijn. Maar Hoyle weerlegt dit argument door aan te nemen dat er ergens steeds meer stoffen werden aangemaakt in het universum. De meeste andere wetenschappers vonden dit onzin.

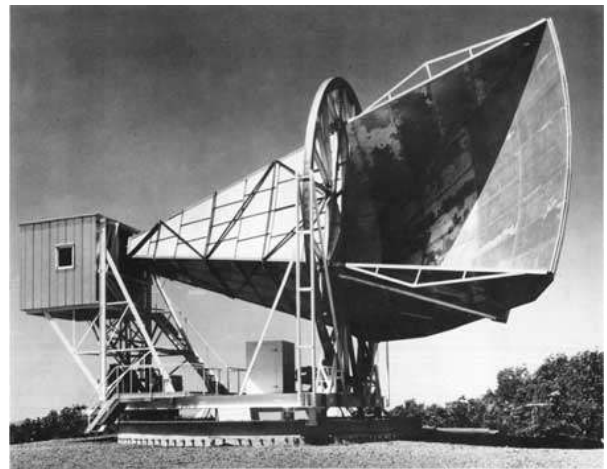
George Gamow (1904-1968), een bewonderaar van Lemaître, maakte bezwaar tegen de "Steady State" theorie. Gamow gebruikt de elementen, net zoals Hoyle doet om zijn theorie te funderen, om de Oerknal te ondersteunen. Hij zei dat de elementen zoals helium en waterstof in de eerste minuten na de big bang gecreëerd waren. Dit kon mogelijk zijn want in de eerste minuten na de Oerknal was de temperatuur zeer hoog, veel warmer dan in een sterkern. Maar deze hypothese kon hij niet bewijzen, hiervoor had hij zich moeten keren tot een student van hem, Ralph Alpher (1921-2007). Hij kwam tot het besluit dat als de stelling van Gamow inderdaad waar zou zijn, dan moest er ongeveer 10 keer meer waterstof zijn dan helium.

En dit kwam overeen met de waarnemingen. Maar Gamow en Alpher zaten met een nog onopgelost probleem. Namelijk als de Big Bang zo warm was in het begin, dan moest er een soort van echo over zijn van deze warmte. Deze echo was de kosmische straling, maar niemand kon deze straling meten in 1949.

Omdat de straling nog niet gevonden was en ook omdat de Big Bang theorie niet kan vertellen hoe alle andere elementen dan waterstof en helium ontstonden, werd er

getwijfeld aan deze theorie. Fred Hoyle mocht dan misschien een niet al te geloofwaardige theorie voorstellen, toch had hij veel succes bij de mensen omdat hij veel propaganda gebruikte. In 1960 was Hubble zijn verkeerde berekening van de leeftijd van het heelal aangepast en verbeterd geweest door middel van juistere data. Dit was een goed teken voor de Big Bang, maar toch leek het alsof het conflict in een gelijkspel zal eindigen. Maar 20 jaar, nadat Gamow had gezegd dat er soort van radiatie moest meetbaar zijn in het universum, werd deze “smoking gun” gevonden. Het was in 1965 dat men kon bewijzen dat de Big Bang de meest waarschijnlijke theorie was van de 2.

Maar hoe hadden ze het gevonden? Wel Lemaître en Gamow steunden op dezelfde theorie, maar konden deze niet bewijzen. Ook de studenten van Gamow konden geen echt bewijs vinden voor deze theorie. In Princeton kregen ze ook te horen van deze theorie en Robert Dicky wilde deze radiatie vinden, want hij geloofde ook in de Big Bang theorie. Hij had 2 jongere collega's de opdracht gegeven om een soort machine te maken die deze straling zou kunnen meten. Maar het was een tast in het donker die niets had opgeleverd. Maar per toeval kregen Bob Wilson en Arnold Penzias van dit experiment te horen. Wilson en Penzias werkten bij Bell Telephone Laboratories, dit was een bedrijf dat gespecialiseerd was in telecommunicatie satellieten. Zij hadden een enorme hoornantenne gemaakt voor het Project Echo, maar deze werkte niet zoals ze verwacht hadden. Ze hadden een voortdurend geluid op hun antenne, een soort van geruis. Ze hadden alles overwogen wat het probleem kon zijn van een vliegtuiglawaai tot duivenstront. Maar uiteindelijk moesten ze toegeven dat dit een constante storing was van overal uit de ruimte. Zij hadden dus toevallig de mysterieuze kosmische achtergrondstraling gevonden. Hiermee hebben ze de Steady State theorie een halt toegeroepen en Lemaître, die toen stervende was, een zeer belangrijke dienst bewezen. Maar de Steady State werd niet volledig afgeschreven, Hoyle zijn inzicht op nucleosynthese werd wel aangenomen en toegevoegd aan de big bang theorie. Want nucleosynthese kon bewijzen hoe alle andere elementen werden gemaakt buiten waterstof en helium.



Figuur 9 : hoornantenne van Penzias en Wilson

En zo is de theorie die nu kennen over het begin van het universum geëvolueerd. Nu bouwt men verder op de Big Bang theorie om meer te weten te komen over het heelal en is de meerderheid van de wereld overtuigd van deze theorie.

3.1.2. Ontstaan van de theorie

3.1.2.1. De beginselen

Alles is begonnen bij de relativiteitstheorie van Einstein!

Dit is een theorie van tijd en ruimte. Het geeft een volledig wiskundige beschrijving van het universum. De Relativiteit theorie, samen met de kwantummechanica* ,wordt beschouwd als de meest complete en meest juiste theorie die ooit uitgewerkt werd. Het geeft een wiskundige beschrijving van fenomenen zoals de constante snelheid van het licht, en de vorming van zwarte gaten. Einsteins bevindingen zeggen ons dat het universum aan het expanderen is. Door terug te gaan in de tijd zouden we dan kunnen zien dat de sterrenstelsels vroeger zeer dicht bij elkaar lagen. Als we nog verder gaan zien we dat de sterren zo dicht liggen dat ze elkaar raken, en vervolgens samensmelten in 1 grote vuurbal met een inwendige temperatuur van $15 \cdot 10^6 \text{K}$. Maar Einsteins berekeningen gaan nog verder dan dat. Als we nog verder terug gaan, komen we een punt tegen dat alle energie in het universum uit 1 oneindig klein punt komt. Dit zijn de bevindingen van Einstein.

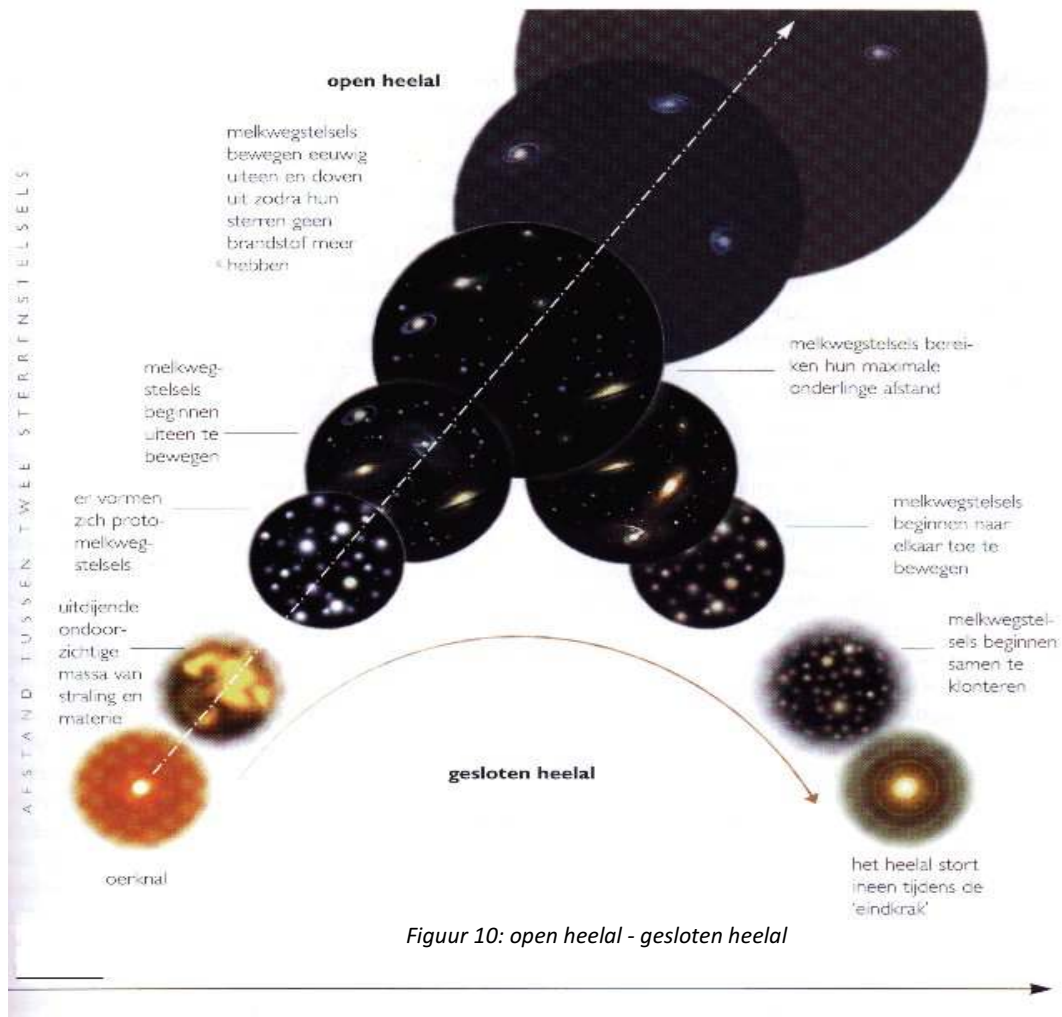
Men begon in het begin van de 20^{ste} eeuw met het meten van de spectra* van sterrenstelsels. Hierbij merkte men op dat:

Er slechts enkele dichtbijgelegen stelsels zijn, zoals de Andromedanevel, die een blauwverschuiving* hebben en dus naar ons toe bewegen.

Alle andere sterrenstelsels hadden een roodverschuiving en bewegen dus van ons weg.

De roodverschuiving neemt toe naarmate het stelsel verder weg gaat. Met de wet van Hubble kan de uitdijingsnelheid van sterrenstelsels berekend worden.

Einstein wist niet of het heelal aan het expanderen of concentreren was en uit de bovenstaande ondervindingen kan men bewijzen dat het heelal aan het expanderen is.



Figuur 10: open heelal - gesloten heelal

3.1.2.2. Van idee naar theorie

Wat is een theorie?

Een theorie is een idee of een hypothese die men kan bewijzen. Dus...

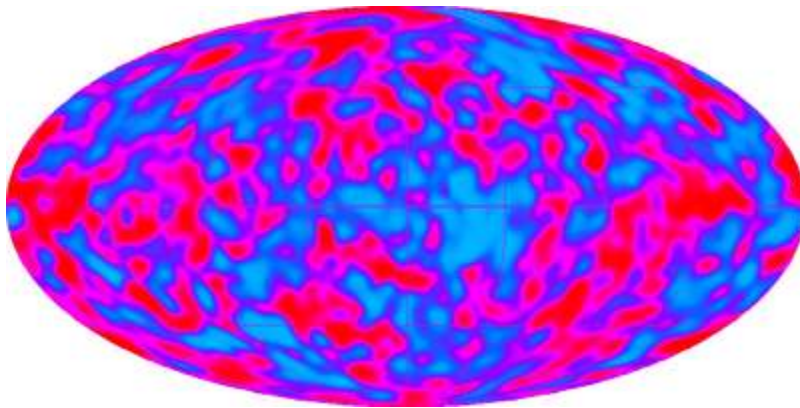
Wat zijn de voornaamste bewijsstukken die de Big Bang theorie ondersteunen?

Ten eerste zijn we er "redelijk zeker" van dat het universum een begin had.

Ten tweede lijken sterrenstelsels zich van ons weg te bewegen met snelheden die evenredig met hun afstand (aarde tot het sterrenstelsel). Dit wordt de "Wet van Hubble" genoemd, die vernoemd is naar Edwin Hubble (1889-1953) die dit fenomeen in 1929 ontdekte. Deze observatie ondersteunt de uitdijing van het universum en vertelt ons dat het universum ooit veel compacter was dan nu.

Op de derde plaats, als ons universum zeer, zeer heet was zoals de Oerknal suggereert, dan zouden we in staat moeten zijn om enige resten van deze hitte aan te treffen. In 1965 ontdekten radioastronomen Arnold Penzias en Robert Wilson een kosmische achtergrondstraling, met een warmte van 2,725 graden Kelvin

(of -454,765 graden Fahrenheit of -270,425 graden Celsius), die het waarneembare universum doordringt. Dit wordt verondersteld het restant te zijn waarnaar de wetenschappers op zoek waren.

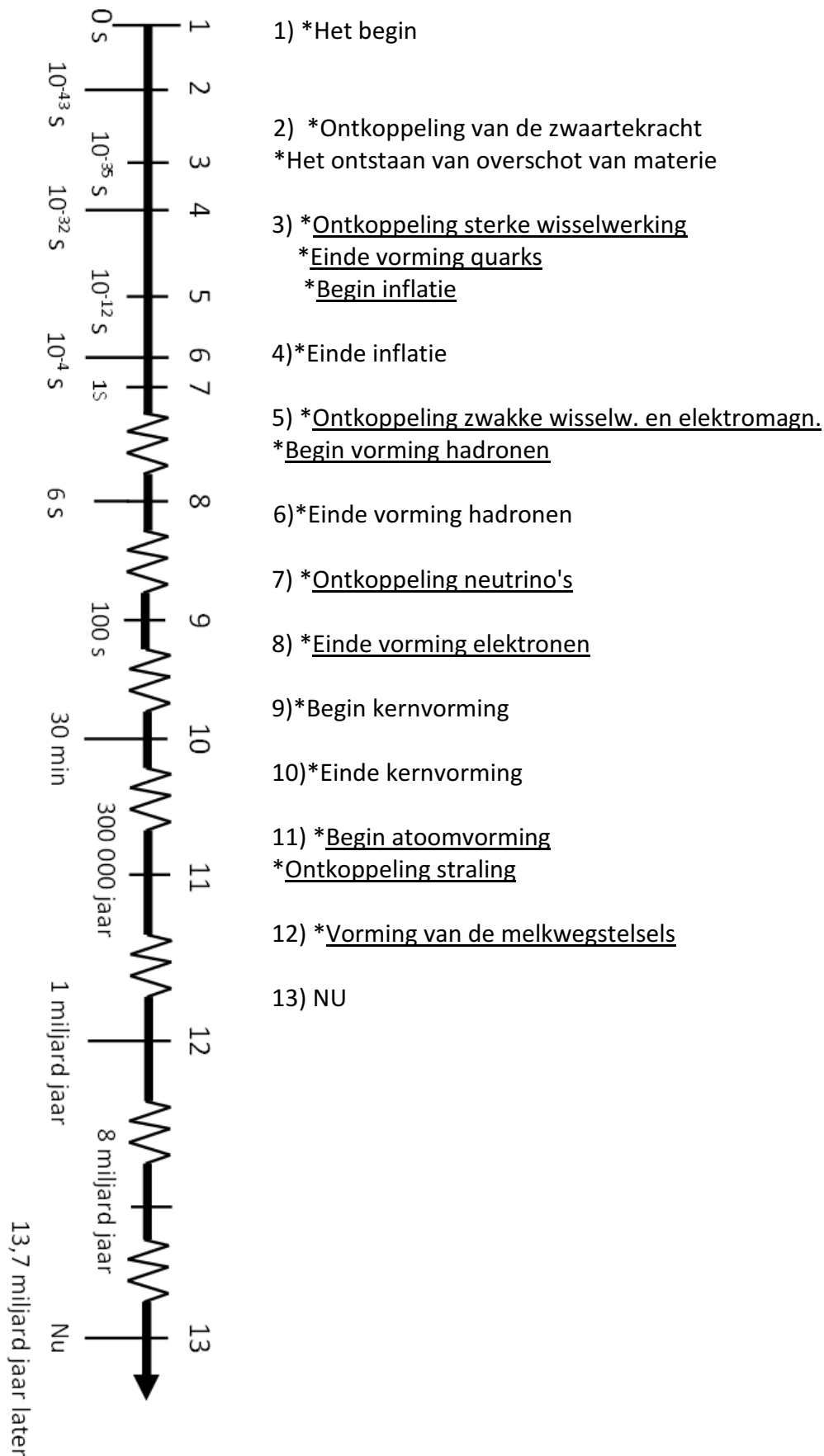


Figuur 11: kosmische straling

Tenslotte wordt de overvloed aan de "lichte elementen" met name waterstof en helium, die in het universum wordt aangetroffen, verondersteld het Oerknalmodel voor de oorsprong te ondersteunen.

3.1.3. Het verloop van de big bang

3.1.3.1. De tijdlijn



3.1.3.2. 0s tot 10^{-43} s: beginfase van de Big Bang

In de beginfase **ontstaan tijd en ruimte**. In deze fase ontstaan ook alle **bouwstenen** die het heelal nu bevat. We kunnen echter niet zeggen onder welke vorm die bouwstenen zich toen bevonden omdat de fysica nog niet ver genoeg gevormd is. Op dit moment is er ook nog geen sprake van natuurwetten en –krachten hoewel er ongetwijfeld **oernatuurwetten** zouden gelden rond een **oernatuurkracht**. Natuurlijk zou dit allemaal een bepaalde samenstelling moeten hebben maar met de huidige wetenschap kunnen we hier niets over zeggen.

Het prille heelal is al in **volle expansie** (De ruimte expandeerde met een factor 1050 in een zeer korte periode), en is daardoor aan het **afkoelen**. De komende stappen kunnen telkens gebeuren omdat het heelal ondertussen al voldoende is afgekoeld om die gebeurtenissen toe te laten.

3.1.3.3. 10^{-43} s tot 10^{-35} s: het GUT-tijdperk

Men vermoedt dat een eerste natuurkracht die we kennen, **de zwaartekracht**, na 10^{-43} s ontstaat uit de dan heersende **oernatuurkracht**. De andere natuurkrachten (elektromagnetische, zwakke wisselwerking en sterke wisselwerking) zijn nog verenigd in 1 **superkracht**. Wat de eigenschappen van die superkracht zijn, hoopt men te kunnen onderzoeken in het kader van de Great Unified Theory (GUT), een natuurkundige theorie die het verband tussen deze krachten wil onderzoeken.

In het heelal zijn ondertussen de bouwstenen van de materie en antimaterie (**quarks en leptonen**) en **straling** aanwezig, maar ze gaan steeds in elkaar over. Tijdens deze periode ontstaat wellicht een **licht overschot aan materie** tegenover antimaterie, dit zou volgens

Steven Weinberg de verhouding $\frac{300.000}{299.999}$ = (deeltjes/antideeltjes) geweest zijn Deze

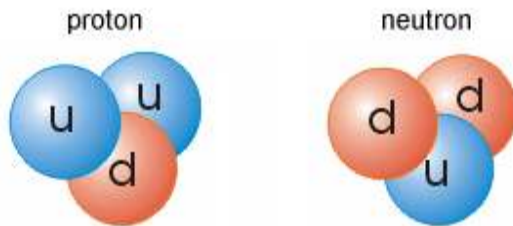
veronderstelling is nodig om te verklaren dat er nu materie aanwezig is in het heelal, en niet enkel straling. Er is echter nog geen fysisch proces gekend dat materie boven antimaterie verkiest, en dus aan de basis van dit verschijnsel zou kunnen liggen.

Extra info bij dit tijdperk:

Elementaire deeltjes

De theorie van de elementaire deeltjes beschrijft de bouwstenen van de materie en straling in het heelal. We geven een bondig overzicht van welke deze bouwstenen zijn:

Quarks: in theorie bestaan er 6 soorten quarks, en 6 soorten antiquarks. De ons omringende materie is echter slechts samengesteld uit 2 soorten quarks ("up" en "down"). Deze quarks klitten in verschillende configuraties samen om **hadronen** te vormen. De meest voorkomende hadronen zijn **protonen** en **neutronen**, die samen atoomkernen kunnen vormen.



Figuur 12: proton - neutron

Leptonen: ook hier hebben we 6 soorten leptonen, en 6 soorten anti-leptonen. Weer komen slechts twee soorten veelvuldig voor: het **elektron**, en het **neutrino**. Elektronen vormen samen met atoomkernen de atomen, en zorgen tevens voor de chemische binding in moleculen, en voor elektriciteit. Neutrino's zijn quasi massalozende deeltjes die in grote hoeveelheden aanwezig zijn, maar slechts uiterst zelden interageren met materie. Ze zijn daardoor bijna niet waar te nemen.

Bosonen: dit zijn de dragers van natuurkrachten, en er bestaat er eentje per natuurkracht. De meest gekende is het **foton**, dat voor elektromagnetische krachten instaat, en zich bijvoorbeeld

Materie en antimaterie, annihilatie en paarvorming

Van de quarks en leptonen bestaat telkens een **anti-deeltje**. Dit is een deeltje dat in alle opzichten gelijk is, behalve dat een reeks fysische grootheden (met name lading en quantumgetallen) voor het anti-deeltje tegengesteld zijn. Zo is bijvoorbeeld het **positron**, het anti-deeltje van het **elektron**, gelijkaardig aan het elektron, maar met een positieve elektrische lading in plaats van een negatieve.

Als een deeltje haar anti-deeltje tegenkomt, verdwijnen ze beiden volledig, en worden ze volledig omgezet in energie. Die energie gaat verder door het leven onder de vorm van twee fotonen, zeg maar een lichtflits. Dit proces noemen we **annihilatie**.

3.1.3.4. 10^{-35} s tot 10^{-32} s: het inflatie-tijdperk

Na 10^{-35} s gebeurt een gelijkaardig iets: de temperatuur van het heelal bedraagt 10^{28} K, en de **sterke wisselwerking** (een korte afstandskracht die bijvoorbeeld protonen samenhoudt) maakt zich los uit bovengenoemde superkracht, met de eigenschappen die we nu kennen.

Vanaf nu kunnen er geen nieuwe quark-antiquark paren meer ontstaan. Verdwijnen gaat wel: als een quark een antiquark tegenkomt, annihileren* ze tot een foton*.

Men veronderstelt momenteel dat er zich rond deze periode een drastische verandering voordoet: **inflatie**. In een luttele 10^{-32} s zou het heelal vergroten met een factor 10^{25} à 10^{50} ! Deze merkwaardige stap in de evolutie van het heelal is nodig om de waargenomen **vlakheid en homogeniteit van het heelal te verklaren**. Inflatie maakt dat het heelal veel

groter wordt dan het waarneembare heelal (zie kaderstuk). Delen van het heelal die tot dan toe in contact en evenwicht waren, worden voor eeuwig van elkaar gescheiden.

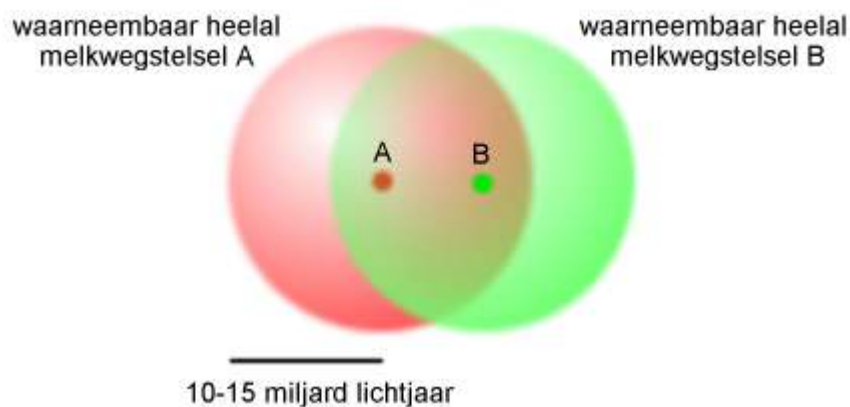
De aanleiding voor inflatie wordt gezocht in een "faseovergang" die het heelal ondergaan zou hebben ten gevolge van de ont koppeling van de sterke wisselwerking.

Extra Info:

Het waarneembare heelal

*Opdat we iets in ons heelal zouden kunnen waarnemen, moeten we er elektromagnetische straling, zeg maar licht, van kunnen ontvangen. Het licht heeft echter een eindige snelheid: een kleine 300 000 km/s. Om een object dat op 1 000 lichtjaar ($9,5 \times 10^{15}$ km) staat te zien, moeten we dus 1 000 jaar wachten op het licht. Als we vandaag naar dat object kijken, zien we het dus zoals het 1 000 jaar geleden was. Als we ver in het heelal kijken, kijken we dus ook in het **verleden**.*

*Het heelal is 13,7 miljard jaar oud. Licht kan dus nooit langer dan 13,7 miljard jaar onderweg zijn, en we kunnen dus ook nooit verder kijken dan 13,7 miljard lichtjaar. De bol met een straal van 13,7 miljard lichtjaar rond onze aarde, noemen we het **waarneembare heelal**. Dat is voor ons "het heelal", maar het echte heelal is veel groter dan dat. Iemand in een ver verwijderd melkwegstelsel heeft trouwens een ietwat verschillend "waarneembaar heelal".*



Figuur 13 : uitleg waarneembaar heelal

Als we miljarden lichtjaar ver kijken, zien we objecten zoals ze er slechts enkele miljarden jaar na de Big Bang uitzagen. Op die manier kunnen we dus rechtstreeks waarnemen hoe het heelal er vroeger uitzag!

*De grens van het waarneembare heelal noemen we de **waarnemingshorizon**. De kosmische achtergrondstraling is rechtstreeks afkomstig van de waarnemingshorizon, en is dus een rechtstreekse waarneming van een schil uit het heelal van 300 000 jaar oud!*

3.1.3.5. 10^{-10} s tot 10^{-4} s: het hadronen-tijdperk

Na 10^{-10} s is het koel genoeg voor de **zwakke wisselwerking** (de kracht verantwoordelijk voor radioactief verval) en de **elektromagnetische kracht** (die elektriciteit, magnetisme en elektromagnetische straling -zoals licht- beheerst) om zich te ontkoppelen, en vanaf dan gelden de natuurwetten zoals wij ze nu kennen. **Vanaf dit punt is de Big Bang geen speculatie meer, maar wetenschap!**

De quarks hebben niet meer voldoende energie om onafhankelijk door het leven te gaan, en beginnen samen te klitten. Hierbij ontstaan **hadronen**.

3.1.3.6. 10^{-4} s tot 6s: het leptonen-tijdperk

10^{-4} s na de Big Bang worden geen nieuwe hadronen meer gevormd, en van de bestaande hadronen gaat het grootste deel op in straling, doordat ze botsen met hun antideeltje. Een grote hoeveelheid **fotonen** wordt het heelal ingestuurd. Op het einde van dit proces blijven hoofdzakelijk nog **protonen** en **neutronen** over, materie dus, en dit dankzij het materie-overschot opgebouwd in het GUT-tijdperk. Elektronen en positronen kunnen voorlopig nog wel vlot blijven ontstaan uit paarvorming, en uiteraard annihilieren als ze elkaar tegenkomen.

Vanaf zowat 1 seconde na de Big Bang nog maar amper wisselwerking van de neutrino's* met de materie in het heelal, en ze gaan dus een onafhankelijk leven leiden. Dit is het moment van **neutrino-ontkoppeling**. Mochten we instrumenten hebben om de neutrino-achtergrondstraling waar te nemen, dan zouden we dus rechtstreeks informatie inwinnen over het heelal wanneer het 1 seconde oud was!

Kort hierna is het heelal ook al te koel om paarvorming toe te laten voor elektronen en positronen: er treedt nu enkel nog annihilatie op, wat het heelal vult met nog maar eens een lading **fotonen**. De positronen verdwijnen, en enkel **elektronen** blijven achter, eens te meer dankzij het materie-overschot.

Door de grote hoeveelheid annihilaties, bevat het heelal slechts 1 hadron per 1,7 miljard fotonen.

3.1.3.7. 100s tot 30 minuten: vorming van atoomkernen

Als protonen en neutronen tot nog toe wilden samenklitten, werden ze niet veel later weer uit elkaar gedreven door een hoogenergetisch foton. 100s na de Big Bang wordt deze laatste echter zeldzaam, en proton-neutron paren (of **deuterium-kernen***) die ontstaan, kunnen blijven bestaan.

Hoewel er oorspronkelijk zowat evenveel protonen als neutronen zijn aangemaakt, is het aantal neutronen ondertussen sterk gedaald door het radioactief verval, dat een neutron spontaan doet ontaarden in een proton, een elektron en een neutrino. Uiteindelijk zal hierdoor niet elk proton een neutron vinden om mee te binden, en zullen veel protonen alleen achterblijven. Alleenstaande protonen zijn **waterstof-kernen**.

Uit het samenklitten van protonen en deuterium-kernen ontstaan verder nog andere lichte atoomkernen: **helium-3, helium-4, tritium, lithium, ...**

Na 30 minuten wordt de verhouding tussen deze elementen in het heelal voorgoed vastgevroren, doordat het heelal teveel is afgekoeld om het samenklitten van kernen toe te laten. Uiteindelijk zit 75% van de massa zit in waterstofkernen, 24% in heliumkernen, terwijl de andere soorten kernen slechts 1% van de massa vertegenwoordigen.

3.1.3.8. 30 minuten tot 300 000 jaar: vorming van atomen, ontkoppeling van straling en materie

Gedurende 300.000 jaar blijft het heelal een soep van atoomkernen, elektronen en fotonen, die continu met elkaar botsen en energie uitwisselen. Hierdoor is het heelal ondoorzichtig: een foton kan niet vooruit gaan zonder om de haverklap te botsen, en hierdoor van haar baan af te wijken, of zelfs te worden geabsorbeerd. Atomen leven dus ook niet lang, als een elektron zich aan een kern bindt, wordt het even later gegarandeerd losgeslagen door een voorbijkomend foton.

Na 300 000 jaar is de temperatuur gezakt tot om en bij de 3000 K, en fotonen hebben vanaf nu niet meer voldoende energie om elektronen los te slaan van atoomkernen: de eerste **atomen** kunnen ontstaan, en blijven bestaan.

Een gevolg hiervan is dat fotonen nu ook niet meer voortdurend worden geabsorbeerd, waardoor ze lange tijd rechtdoor kunnen reizen. Het heelal wordt **transparant**, straling en materie zijn ontkoppeld. De fotonen die we nu waarnemen als de kosmische achtergrondstraling, zijn de fotonen die op dit ogenblik vrijkwamen.

3.1.3.9. 300 000 tot 1 miljard jaar: vorming van sterren en sterrenstelsels

Men vermoedt dat de kleine schommelingen, die zichtbaar zijn in de kosmische achtergrondstraling, wijzen op dichtheidsverschillen in het prille heelal. Eens de fotonendruk op de materie na 300 000 jaar verdween, kon gravitatie deze onregelmatigheden versterken, en de massa in het heelal doen samenklonteren tot kleinere, compactere gaswolken. Na 1 miljard jaar zijn hieruit de **eerste sterrenstelsels** ontstaan.

3.1.3.10. De uitdijng van het heelal

Natuurlijk geeft de Big Bang theorie zelf ook een schatting voor de leeftijd van het heelal, via de uitdijngsnelheid (constante van Hubble). Als we weten hoe het heelal uitdijngt, en hoe de uitdijngsnelheid evolueert, kan de leeftijd van het heelal teruggerekend worden. Volgens deze methode ligt de leeftijd van het heelal ergens tussen 8 en 13 miljard jaar. Deze schatting is wel nog afhankelijk van de kromming van het heelal. De waarde die men nu neemt als wetenschappelijk correct is 13,7 miljard jaar.

3.1.4. Weetjes

Dit is wat de experts zeggen over de oorsprong van het universum:

NASA: *“Het universum werd ergens tussen 10 miljard en 20 miljard jaar geleden gevormd uit een kosmische explosie die materie in alle richtingen uitwierp.”*

Universiteit van Berkeley: *“De Oerknal-theorie stelt dat ergens in het verre verleden er helemaal niets was. Een proces dat bekend staat als vacuümfluctuatie creëerde wat astrofysici een singulariteit noemen. Vanuit die singulariteit, die ongeveer zo groot was als een dubbeltje, werd het universum geboren.”*

Universiteit van Michigan: *“Ongeveer 15 miljard jaar geleden startte een gigantische explosie de uitbreiding van het universum. Deze explosie staat bekend als de Oerknal. Op dit punt binnen deze gebeurtenis werd alle materiaal en energie door een enkele stip omvat. Wat er voor deze gebeurtenis bestond is compleet onbekend en het onderwerp van pure speculatie. Deze gebeurtenis was niet zozeer een conventionele explosie maar veeleer een gebeurtenis die de hele ruimte vulde met alle deeltjes van het embryonale universum die zich snel uit elkaar bewogen.”*

PBS (de publieke omroep): *Er was een “initiële explosie” van een oer-atoom dat alle materie in het universum bevatte.*

Amerikaanse Associatie ter bevordering van de Wetenschap: *“In de laatste vijftig jaar is een grote hoeveelheid bewijs verzameld ter ondersteuning van de “consensus-theorie” van de evolutie van het universum. Deze theorie houdt in dat een “oerknal” in een oogwenk een gigantische zwelling van het universum deed ontstaan, gevolgd door een geleidelijke uitzetting die tot op vandaag doorgaat en die nu aan het versnellen is.”*

Wist je dat Project Echo een project was van de NASA of National Aeronautics and Space Administration? Het was een passief communicatie satelliet project.

Wist je dat tijdens een radioshow in 1949 Fred Hoyle de naam Big Bang gaf aan zijn concurrerende theorie? Hoyle was echter geen voorstander van de theorie en is dit ook nooit geworden.

En wist je dat Penzias en Wilson de Nobelprijs voor de Natuurkunde in 1978 deelden? Dit vanwege hun ontdekking van de kosmische achtergrondstraling.

3.2. Sterevolutie

3.2.1. Inleiding

Een ster ontstaat wanneer een wolk van gas, die men moleculaire gaswolken noemt, door zijn eigen zwaartekracht in elkaar stort en uiteindelijk een geheel vormt. Dit proces komt in gang als er zich bijvoorbeeld een schokgolf voordoet. Er kunnen echter ook twee of meerdere sterren ontstaan uit dergelijk proces. De eerste reeks sterren zijn T-tauri sterren, ze zijn lichtsterker, groter en koeler dan de sterren uit de hoofdreeks. Deze sterren worden omringd door een ring van stof, waaruit een planetenstelsel kan ontstaan.

De T-tauri ster wordt geleidelijk aan kleiner en warmer, tot de kern 10 miljoen graden Kelvin bereikt. Dan behoort deze ster tot de hoofdreeks. De verandering van een moleculaire gaswolk tot een hoofdreeks ster duurt zo'n 35 miljoen jaar.

3.2.2. Levensloop

Als er een ster 'sterft' komen grote hoeveelheden materie en gas vrij.

Deze interstellaire nevel vormt de basis van nieuwe sterren. Door gravitatiekrachten komen de deeltjes steeds dichter bij elkaar en beginnen rond een centrum te draaien. Er ontstaat een enorme platte schijf van materie en gas met in het midden een grote concentratie aan deeltjes. Door de enorme krachten waarmee dit gepaard gaat, vindt in het centrum uiteindelijk de eerste kernfusie van waterstof tot helium plaats. Dit betekent de geboorte van een nieuwe ster. Op het zelfde moment gaat de materie rondom de kern in kringen samen klonteren tot planeten. Voor ons zonnestelsel is dit ongeveer 4,6 miljard jaar geleden gebeurd.

In de volgende fase putten sterren hun energie vooral uit fusie van waterstof tot helium in de kern van de ster. Het grootste deel van hun bestaan blijven de sterren in deze fase dit noemt men de hoofdreeks. De ster warmt op en wordt steeds groter en geleter. Zowat 4/5den van de sterren in het heelal bevinden zich in deze situatie. Een ster blijft in deze fase tot alle waterstofatomen omgezet zijn in helium.

Bij grotere sterren, vanaf 2,4 keer de massa van de zon, ontstaat in de volgende fase een nieuwe bron van energie: in de kern wordt helium gefusioneerd tot koolstof. Massieve sterren groeien zo uit tot een blauwe reus, die steeds roder wordt. Op het eind van zijn bestaan kunnen koolstofkernen nog omgezet worden tot zuurstofkernen en ontstaat er een superreus. Bij kleinere sterren blijft de kern inactief (onze zon is hiervan een voorbeeld). Enkel in de omringende zone rond de kern start waterstoffusie. De ster zal helderder en groter worden, en er zal een rode reus ontstaan.

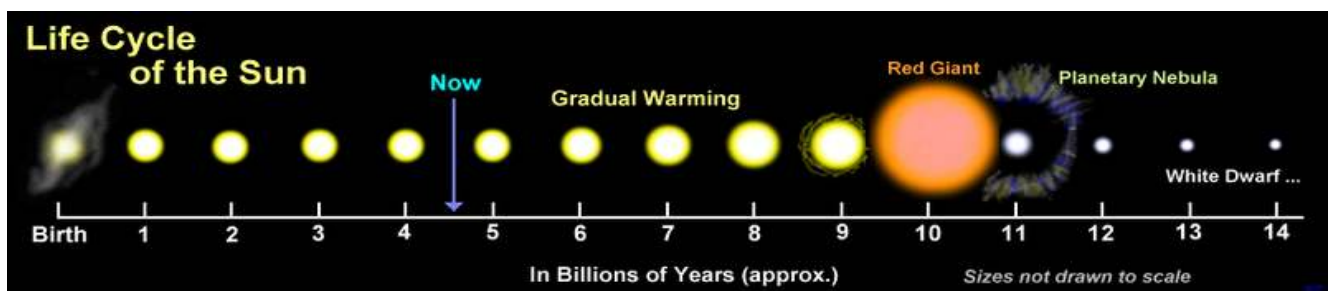
De ster zal vervolgens in een onstabiel stadium waarin ze afwisselend kleiner en groter zal worden en ook de lichtsterkte zal ritmisch veranderen. Men noemt dit een pulserende ster.

De pulserende ster is echter zeer instabiel. De kern van de zon zal instorten en het zal nog warmer worden. Een golf van energie zal de buitenste lagen van de ster de ruimte in slingeren. En rond de kern zal een lichtgevend nevel hangen. Een planetaire nevel.

Bij kleinere sterren met een massa van vanaf 1,4 keer die van de zon, komt de kern op die manier bloot te liggen, deze sterren noemt men witte dwergen. Ze hebben slechts de grote van onze aarde maar hebben een zeer dichte kern.

Veel grotere sterren storten nog verder in elkaar en worden een neutronenster of een pulsar. De grootste sterren met een massa groter dan 3 keer die van de zon storten volledig in en vormen een zwart gat. De materie is zodanig sterk geconcentreerd in een zwart gat dat zelfs het licht niet meer kan ontsnappen.

3.2.3. Soorten sterren



Figuur 14 : levensloop van een ster

3.2.3.1. Bruine dwergen

Als de gasbol slechts een tiende van de massa van de zon heeft, zal deze samentrekken. Waardoor de temperatuur zal oplopen, en waterstof omgevormd wordt tot deuterium. Dit alles levert slechts weinig energie en de gasbol zal verder samentrekken. De temperatuur zal nooit hoog genoeg zijn voor fusie tot helium. Maar een bruine dwerg zal geleidelijk gaan afkoelen en krimpen tot de omvang van een planeet. Het enige resterende is een inerte bol gas of wat men noemt een zwarte dwerg.

3.2.3.2. Rode dwergen

Deze sterren bereiken wel een temperatuur en druk in de kern die fusie tot helium toelaat (tussen 5 en 10 miljoen graden). Ze verstoken langzaam hun waterstof, en kunnen vele malen ouder worden dan onze zon. Eens de waterstof op is, krimpt de ster ineen. Ze zal nooit de temperatuur bereiken om helium om te zetten in koolstof, en blijft uiteindelijk weer als zwarte dwerg achter.

3.2.3.3. Witte dwergen

Een witte dwerg is een ster die aan het einde van haar levenscyclus is gekomen. In de witte dwerg vinden dus geen kernreacties meer plaats. De massa van de kern moet kleiner dan 1,4 zonnemassa's zijn, want anders eindigt de ster als een neutronenster, een quarkster of een zwart gat..

3.2.3.4. Zwarte dwergen

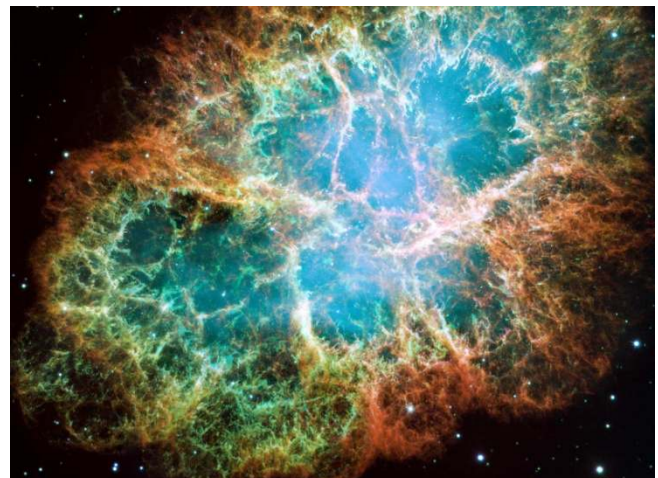
Een zwarte dwerg ontstaat wanneer een witte dwerg zodanig afkoelt dat er geen licht of warmte meer wordt uitgezonden. In de praktijk bestaan dergelijke sterren nog niet omdat het te lang duurt voor een witte dwerg een zwarte zou worden. Dus aan de hand van de koelste witte dwerg zou men de minimum leeftijd van het heelal kunnen afleiden.

3.2.3.5. Sterren als de zon

Deze soort wordt ook weleens gele dwergen genoemd, ook al zijn ze toch wel redelijk groot. Deze hebben ongeveer de zelfde levensloop als rode dwergen, tot dat de waterstof op is gebruikt. Daarna beginnen ze samen te trekken en de buitenkant van de ster wordt hierbij weggeblazen. In het geval van onze zon zal de buitenkant van de zon tot voorbij de baan van Venus komen. Als de temperatuur dan oploopt tot 100 miljoen graden, ontsteekt het helium en veroorzaakt een sterke flits. Als de helium in de kern dan omgezet is tot koolstof begint de kern terug samen te trekken. En uiteindelijk blijft de koolstof als een witte klop achter, een witte dwerg.

3.2.3.6. Reuzensterren

Als het helium in de kern van de ster op is, kunnen er ook sterren ontstaan die veel groter zijn dan de zon. Dit gebeurt als de temperatuur is opgelopen tot 700 miljoen graden. Mocht dit gebeuren met onze zon dan zal de buitenkant van de zon hierbij opzwellen tot voorbij de baan van Saturnus. Dit zal blijven doorgaan tot er ijzer gevormd wordt, op dit moment stopt het. Nu zal de kern terug samentrekken. De energie die hierbij vrijkomt is zo groot dat de ster gewoon explodeert. Wij zien dit als een supernova, wat slechts één keer om de honderd jaar te zien is. Wat resteert is een compacte bol van neutronen, een neutronenster. Deze bol heeft een enorme dichtheid. De massa van deze ster is hierbij samengedrukt tot een diameter van 20 km. Het kan echter nog erger, de zwaarste sterren blijven samentrekken tot één enkel punt, een zwart gat.



Figuur 15 : explosie van een reuzenster, een supernova

Omdat er zoveel massa geconcentreerd is, wordt de zwaartekracht zo groot dat zelfs licht niet meer kan loskomen. Niet alle sterren voldoen helemaal aan deze algemene principes. Veel dubbelsterren beïnvloeden elkaars ontwikkeling, zodat hier nog vreemdere dingen kunnen gebeuren. Dit is echter stof voor een ander onderdeel.

3.2.4. Weetjes

Wist je dat:

Een zwart gat slechts zeer weinig voorkomt in het heelal en dus zeer zeldzaam is.

Proxima Centauri de dichtst bijzijnde ster (op de zon na) is op 4,3 lichtjaar.

Terwijl het licht 8 minuten en 19 seconden nodig heeft om van de zon op aarde te komen, doet het duizenden jaren om van de kern naar het oppervlak te komen.

Het licht van een ster die reeds lang uitgedoofd is, nog steeds op weg is naar de aarde en dus eeuwen later kan aankomen. Dus we zien de ster wel, maar het kan zijn dat hij al lang uitgedoofd is.

3.3. Oorsprong van de chemische elementen

3.3.1. Een ster van de eerste generatie

Een eerste generatiester bestaat enkel maar uit lichte elementen, dit zijn elementen met een laag atoomnummer, hoofdzakelijk waterstof en helium. Deze elementen vormen een gaswolk die door zwaartekracht in volume kleiner wordt. Hierdoor komen de elementen dichter bij elkaar te liggen. Doordat deze elementen dichter bij elkaar komen te zitten warmt de gaswolk op en beginnen chemische reacties plaats te vinden (kernfusie). Door dit hele gebeuren ontstaat deze ster, die nu niet alleen uit waterstof en helium bestaat maar ook uit zwaardere elementen. Deze zwaardere elementen zijn alle elementen die een lager of gelijk atoomnummer hebben als ijzer. Alle reacties gebeuren echter in de kern van de ster, dit komt omdat kernfusies een bepaalde temperatuur nodig hebben om te kunnen gebeuren. Deze temperatuur komt slechts in 2 milieus voor:

- In het beginstadium van het Heelal; De Big Bang
- Of in de kernen van sterren.

3.3.2. Een ster van de tweede of meerdere generatie

Hoe een ster van tweede generatie ontstaat is in feite zeer simpel. Wanneer een ster van de eerste generatie een supernova (zie stercyclus) is, dan begint deze ster zware elementen uit waterstof en helium te vormen, zoals ijzer. Wanneer deze supernova explodeert, wordt er terug een gaswolk gevormd die nu naast waterstof en helium ook al zwaardere elementen bevat. Na verloop van tijd gaat deze gaswolk opnieuw samenklitten tot een ster, deze ster wordt een ster van de 2^{de} generatie genoemd. Naarmate deze 2^{de} generatie ster ouder wordt en een supernova vormt, dan gaat deze ster opnieuw nog meer zwaardere elementen maken. En gaat dan terug exploderen en daarna zal het sterstof opnieuw een gaswolk vormen die nog zwaardere elementen bevat. Die gaswolk resulteert dan in een ster van de 3^{de} generatie. Nu bevat deze ster genoeg zware elementen om planeten te vormen die later rond deze ster zullen draaien. Dit proces van samenklitten, exploderen en terug samenklitten gaat zo door tot in het oneindige.

3.3.3. Hoe worden al onze elementen gemaakt.

3.3.3.1. Inleiding.

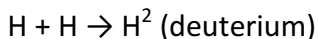
De protonen en neutronen in atoomkernen blijven bij elkaar door een aantrekkende kracht, de sterke kernkracht genoemd. Een bijzondere eigenschap van deze kracht is dat hij uitsluitend werkt over buitengewoon kleine afstanden (ong. 10^{-15} meter). Deze afstand komt overeen met de afmeting van een kern. Nog een andere belangrijke kracht speelt een rol: de elektrostatische afstoting tussen positief geladen protonen en negatief geladen elektronen, of de elektromagnetische kracht. Dus om 2 elementen te fuseren tot een zwaarder element hoeven we ze slechts dicht genoeg bij elkaar te brengen en dan doet de kernkracht de rest. Maar aangezien de afstoting een veel groter bereik heeft dan de kernkracht werkt deze zeer hard tegen en veroorzaakt een energiebarrière: de Coulombbarrière. Volgens de klassieke natuurkunde zouden twee kernen voldoende energie moeten hebben om deze barrière te overwinnen en vervolgens een kernfusie te starten. Maar de kwantumfysica komt met een belangrijk punt. Volgens deze theorie kunnen onvoorstelbaar kleine deeltjes door energiebarrières gaan die volgens de klassieke natuurkunde ondoordringbaar zijn.

Dit proces of het tunnелеffect is zeer belangrijk in veel radioactieve vervalprocessen. Het is ook onmisbaar in fusiereacties die zwaardere atomen voortbrengen. Maar de deeltjes hebben veel energie nodig om deze tunnel te kunnen doorkruisen, deze energie kunnen we gemakkelijk halen uit warmte. Dus er is een hoge temperatuur nodig om ervoor te zorgen dat zoveel mogelijk deeltjes door deze imaginaire tunnel kunnen. Dit is waarom de meeste atomen worden geproduceerd door sterkern en tijdens de eerste ogenblikken van het universum na de Big Bang.

3.3.3.2. Generatie sterren

Nadat de stofwolken die ontstaan zijn door de big bang samengeklit zijn en sterren hebben gevormd, bestaan de kernen enkel uit waterstof (H) en helium (He). In de kern van zo'n ster heerst een zo danig hoge druk en temperatuur dat er kernfusie mogelijk is. Kernfusie houdt in dat 2 atomen die niet vanzelf binden, onder invloed van de temperatuur en drukken zodanig samengeperst worden dat ze 1 atoom vormen.

Voorbeeld:

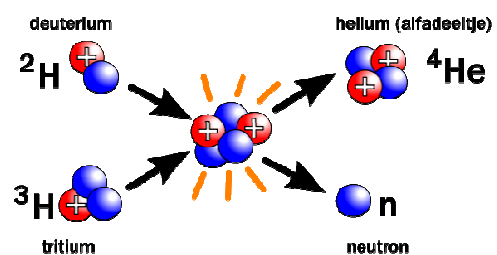


Vervolgens:



De Y is een foton. Hieruit kan men dus besluiten dat bij een kernfusie energie vrijkomt die de ster stabiel houdt en de warme temperatuur van de ster onderhoudt.

Fusiereactie deuterium - tritium



Figuur 16: Fusiereactie Deuterium - tritium

Volgens de Big Bang theorie ontstonden de eerste elementen, dus waterstof en (een klein percentage) helium, vlak na de oerknal. Uit deze 2 elementen konden de eerste sterren gevormd worden. Het blijft giswerk maar men denkt dat de andere elementen pas gevormd waren door de eerste generatie sterren. Deze ster zette in zijn kern waterstof om in helium. Door de energie die opgewekt wordt door de kernfusie van waterstofatomen zal de ster niet imploderen (als een ster implodeert vormt dit een zwart gat). Dit zal niet gebeuren omdat deze energie de zwaartekracht zal tegenwerken en zo zal de ster in evenwicht blijven. Het is echter zo dat wanneer de ster op zijn einde loopt het aantal waterstofatoom bijna opraakt. Dan zal in helium verder gaan fuseren tot zwaardere elementen in plaats van waterstof. Door deze reacties wordt de ster extreem instabiel. Hierdoor wordt een stuk van de zwaardere atomen de ruimte ingeschoten. Dit proces van vorming en uitstoting gaat steeds verder tot het element ijzer wordt gevormd. Dan zal de ster opgeven, want het fuseren van ijzer atomen kost energie in plaats dat het energie levert. Dus de ster heeft geen energie meer over die de zwaartekracht compenseert. Nu zal de zwaartekracht overheersten en wordt de ster ineengedrukt tot een zwarte dwerg. Dan zal de ster uiteindelijk imploderen en instorten, waardoor al deze elementen de ruimte zullen invliegen. Wanneer er uit het sterstof een nieuwe ster ontstaat gaat dit proces gewoon verder.

3.3.3.3. De mens

Het is echter een feit dat we niet alle atomen die we vandaag de dag kennen hebben gekregen van de natuur. Er zijn wel degelijk atomen die zichzelf moeten produceren.

Alle elementen die men tot nu toe kent heeft men in een tabel gezet, namelijk: De tabel van Mendeljev.

Tabel Van Mendeljev

The Periodic Table of Elements

Atomic Number = Number of Protons = Number of Electrons
 Chemical Symbol
 Chemical Name
 Atomic Weight = Number of Protons + Number of Neutrons

NON-METALS

METALS

KEY

- ☐ = Solid at room temperature
- ☐ = Liquid at room temperature
- ☐ = Gas at room temperature
- ☐ = Radioactive
- ☐ = Artificially Made

The atomic weights listed on this Table of Elements have been rounded to the nearest whole number. As a result, this chart usually displays the mass number of a specific isotope for each element. An element's complete, unrounded atomic weight can be found on the IUPAC Element web site: <http://education.jlab.org/elementtable/>

Last revised on June 12, 2004

Figuur 17: Tabel van Mendeljev

Alle atomen met een hoger atoomnummer dan Uranium, dus 92, zijn door de mens gecreëerd. Dit omdat deze elementen niet aanwezig zijn op de aarde, dit wil zeggen dat ze nooit of vrijwel zeldzaam in de natuur voorkomen zonder tussenkomst van de mens.

Dit is de lijst van alle elementen die gemaakt worden door de mens:

Symbool	Naam	Toepassingen
Np	neptunium	Neutronendetector
Pu	plutonium	Nucleaire batterij (ruimtevaart) en kernreactorbrandstof
Am	americium	Kristalonderzoek, rookdetector, glasdiktemeting en neutronenbron
Cm	curium	Lichtgevende tabletjes en warmtebron in nucleaire batterijen
Bk	berkelium	Geen gekende industriële toepassingen
Cf	californium	Sterke neutronenbron
Es	einsteinium	Geen gekende industriële toepassingen
Fm	fermium	Geen gekende industriële toepassingen
Md	mendelevium	Geen gekende industriële toepassingen
No	nobelium	Geen gekende industriële toepassingen
Lr	lawrencium	Geen gekende industriële toepassingen
Rf	rutherfordium	Geen gekende industriële toepassingen
Db	dubnium	Geen gekende industriële toepassingen
Sg	seaborgium	Geen gekende industriële toepassingen
Bh	bohrium	Geen gekende industriële toepassingen
Hs	hassium	Geen gekende industriële toepassingen
Mt	meitnerium	Geen gekende industriële toepassingen
Ds	darmstadtium	Geen gekende industriële toepassingen
Rg	röntgenium	Geen gekende industriële toepassingen
Cn (Uub)	copernicium (Ununbium)	Geen gekende industriële toepassingen
Uut	ununtrium	Geen gekende industriële toepassingen
Uuq	ununquadium	Geen gekende industriële toepassingen
uup	ununpentium	Geen gekende industriële toepassingen
Uuh	ununhexium	Geen gekende industriële toepassingen
Uus	ununseptium	Geen gekende industriële toepassingen
Uuo	ununoctium	Geen gekende industriële toepassingen

Bij chemische binding worden enkel de elektronen gebruikt, niet de kern. De kern wordt niet beïnvloed bij chemische binding. Dus door middel chemische bindingen kan men geen ander element verkrijgen. Dit kan wel door een herschikking van de deeltjes waaruit de kern is gemaakt. Men kan soms, door radioactief verval, zware elementen doen splitsen in lichtere elementen. Dit komt omdat je via radioactief verval de kernen zich kunnen splitsen waardoor er lichtere kernen ontstaan. Men kan ook zware elementen maken. Dit kan door de kernen van lichte atomen laten samensmelten, dit noemt men kernfusie. Door deze fusie ontstaan er zwaardere atomen. Wat wel noodzakelijk is voor de laatste methode is energie. Dit proces heeft veel energie nodig om de kernen zo dicht mogelijk bij elkaar te laten komen totdat ze versmelten. Dit kan bijvoorbeeld in een atoomversneller. Natuurlijk zijn er nog andere mogelijkheden dan een versneller. Namelijk door chemische reacties kan men ook fuseren, deze vereist weinig energie en gebeurt sneller bij hogere temperaturen. Die reactie werd gebruikt in het eerste stadium van het heelal omdat er dan een temperatuur was van meer dan 10.000.000 Kelvin, zodat het samensmelten van kernen mogelijk was.

3.4. Onze zon

De zon is een relatief kleine ster. Ze is zo'n 5 miljard geleden ontstaan uit het samentrekken van een gasvormige nevel. De zon is de bekendste ster uit het heelal tussen de miljarden andere. Zo goed als alle informatie is afkomstig van de Soho ruimtesonde die zich in een baan rond de zon bevindt.

De Aarde bevindt zich op 150 miljoen kilometer van onze de zon. Men gebruikt die afstand om een nieuwe eenheid in te voeren AE (of lichtjaren), waarvoor men de afstand van aarde tot de zon 1 AE bedraagt. De diameter van de zon is ongeveer 1,4 miljoen kilometer. Als je weet dat de diameter van de aardbol 12756 km is dan is de zon ongeveer 110 maal groter. Binnenin de zon gebeurt er kernfusie van waterstof deeltjes tot helium. Een deel van de massa wordt omgezet in energie onder de vorm van allerlei stralen.

De zon heeft ongeveer 27 dagen nodig om rond haar as te draaien. Doordat ze differentiële rotatie* vertoont, draait ze in 25 dagen rond haar as ter hoogte van de evenaar, en in 36 dagen aan de polen.

3.4.1. De kern

In de kern heerst er een temperatuur van 15 miljoen °C, maar het duurt wel een 170 000 jaar voor de energie zich naar het oppervlak heeft gebracht. De kern strekt zich ongeveer uit tot een vierde van de straal van de zon. Met een grote van zo'n 400 000 km diameter. Per seconde wordt hier ongeveer 700 miljoen ton waterstof omgezet in 695 miljoen ton helium.

De volgende kernreacties vinden plaats in het midden van de zon;

- twee protonen vormen deuterium
- een proton en een deuterium vormen He-3
- twee He-3 vormen He-4.

85% van de energie wordt op deze manier gevormd. De overige 15% wordt op de volgende manier gevormd;

- He-3 en He-4 vormen beryllium-7,
- Beryllium-7 en een elektron maakt lithium-7
- Lithium-7 plus een proton vormt twee He-4

Bij deze laatste 15% zet men massa om in energie, dit gebeurt volgens de formule van Einstein: $E = mc^2$.

3.4.2. Fotosfeer of zonneoppervlak

De fotosfeer is eigenlijk maar een dunne laag, maar al het zichtbaar licht komt vooral van deze laag. Er heerst een temperatuur van 6000°C

Op de fotosfeer kunnen er zich zonnevlekken voordoen; dit zijn donkere vlekken met een lagere temperatuur. Het aantal zonnevlekken groeit elf jaar. Om dan vervolgens terug af te nemen gedurende een periode van 8 jaar. Deze vlekken ontstaan door magnetische activiteit van de zon en doordat de rotatie snelheid van de zon niet overal dezelfde is, verschuiven deze magnetische velden.

Ook is er het verschijnsel granulatie. Dit zijn de toppen van de convectiestromen die voorkomen in de convectiezone. Een granule is een duizendtal kilometers breed in omtrek.

3.4.3. De Chromosfeer

De chromosfeer is de 8000 km dikke laag rond de zon. Hier kan de temperatuur oplopen tot 12 000 °C. Ze is echter alleen zichtbaar bij natuurlijke of kunstmatige zonsverduistering. Doorheen de fotosfeer en de chromosfeer krijgen we vaak enorme uitbarstingen en ontploffingen; men noemt ze protuberansen en zonnevlammen. Bij deze zonnevlammen worden slierten zonnematerie de ruimte in geslingerd. Die gasslieren vallen vervolgens gedeeltelijk terug op de zon. De activiteit van de zonnewinden gaat samen met het aantal zonnevlekken.

De zonnewind wordt veroorzaakt door de zonnevlammen die een grote hoeveelheid geladen deeltjes de ruimte in slingeren. Die deeltjes duwen de komeetstaarten wegduwen, zodat deze van de zon weg wijzen. Deze deeltjes worden door het magnetisch veld van de aarde afgebogen en gaan veilig langs de aarde voorbij.

Als een magnetische structuur door vervormingkrachten instabiel wordt, dan doen er zich ontploffingen voor. Hierbij ontstaan er kernreacties en loopt de temperatuur soms op tot 40 miljoen °C. Dit verschijnsel noemt men flare. Deze flare zorgen voor zeer grote protuberansen of zonnevlammen.

3.4.4. De Corona

Dit is de buitenste gordel van de zon. Men kan de Corona makkelijk herkennen door de witte gloed, veroorzaakt door deeltjes die loskomen van de zon. De Corona is te zien bij kunstmatige of natuurlijke zonsverduistering. De temperatuur hier kan oplopen tot wel 2 000 000°C

De corona is niet gelijkmatig verdeeld omheen de zon. Hij verandert afhankelijk van de zonnecyclus. Ook komen er vaak plaatsen voor waar er geen corona is. Deze coronale gaten zijn gebieden waar de magnetische veldlijnen van de zon rechtstreeks de ruimte intrekken. Deze gaten versterken de zonnewind doordat ze ervoor zorgen dat de deeltjes rechtstreeks de ruimte worden in geslingerd.

3.4.5. Observatie van de zon

Omdat men moeilijk de zon kan waarnemen van op aarde, werden al enkele grote projecten gerealiseerd om vanuit een ruimtestation de zon beter te observeren.

Skylab

Dit is het eerste Amerikaanse ruimtestation. Het werd voor allerlei experimenten gebruikt, maar het belangrijkste was het observeren van de zon.

Doordat de golflengten sterk verschillend waren was het mogelijk om nieuwe ontdekkingen te doen zo vond men het verschijnsel coronale gaten op skylab

Ulysses

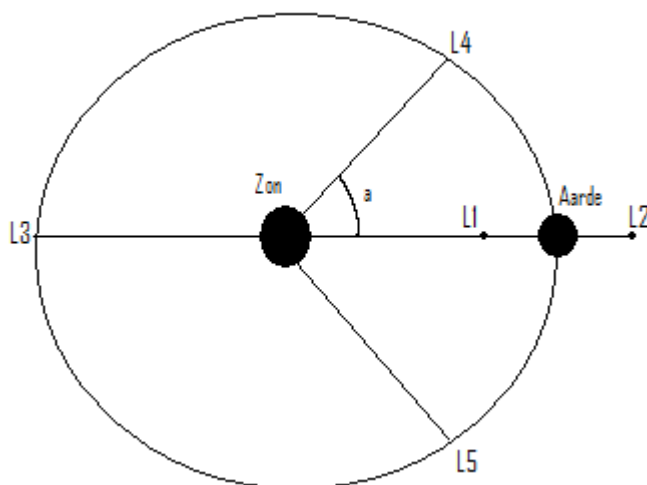
Dit is een sonde die door ESA en NASA gelanceerd werd in 1990. Haar doel was om in een polaire baan (boven de Noord en Zuidpool van de zon) te vliegen.

Soho

SOHO staat voor SOLar and Heliospheric observatory (zon- en heliosfeer observatorium). Ze werd in 1995 gelanceerd. De sonde bevindt zich op 1,5 miljoen kilometer van de aarde in het Lagrangepunt L1. Op de website van het SOHO kun je beelden en metingen zien die de satelliet uitvoert.

3.4.6. Lagrange punten

Een Lagrange punt (genoemd naar de Italiaanse wiskundige Joseph-Louis Lagrange) is een plaats waar een satelliet zonder eigen aandrijving een vaste relatieve positie zou kunnen behouden. Dit komt doordat de twee hemellichamen hier op een zelfde zwaartepunt draaien. Zo'n twee lichamen hebben 5 Lagrange punten, waarvan er zich 3 op de verbindinglijn tussen de twee lichamen bevinden.



L1 bevindt zich 1,5 miljoen kilometer op de afstand aarde- zon. Dit is een honderdste van de totale afstand van de aarde tot de zon namelijk 150 miljoen kilometer.

L2 bevindt zich op het verlengde van de afstand aarde- zon ook op 1,5 miljoen kilometer. Een satelliet op deze plaats heeft altijd de zon, aarde en de maan achter zich.

L3 ligt 150 miljoen kilometer achter de zon juist iets buiten de baan van de aarde omheen de zon. Satellieten op deze plaats zouden echter niet kunnen communiceren, omdat de zon in de weg ligt. Maar men zou op de Trojanen L4 of L5 een tweede satelliet kunnen plaatsen om via deze weg een signaal te kunnen sturen.

L4 en L5 liggen onder een hoek van 60° in bovenstaande figuur aangegeven door de hoek a. Deze laatste worden ook wel Trojanen punten genoemd (dit komt van Homerus's Ilias, Troye). De Trojanen zouden ideaal zijn om ruimtekolonies te stichten.

3.4.7. Weetjes

Wist je dat:

De zonnwind in staat is het radioverkeer op de aarde te storen, de deeltjes van de zonnwind zorgen ook voor het poollicht aan de polen.

Er een verband is tussen de 11 jarige cyclus van de zon en de drogere en vochtigere periodes op aarde. Men kan die gevolgen opmerken bij de jaarringen van bomen.

3.5. Planeten

Een Planeet is een hemellichaam die voldoet aan enkele voorwaarden:

- Het bevindt zich in een baan rond een ster.
- Heeft genoeg massa om een hydrostatisch evenwicht te bekomen.
- Heeft de omgeving van haar baan schoongeveegd van andere objecten.

Deze voorwaarden werden aangenomen in een IAU-conferentie (Internationale Astronomische unie) in 2006.

3.5.1. Ontstaan

Hoewel wetenschappers het niet allemaal eens zijn over het ontstaan van planeten, de meest aangenomen theorie zegt dat planeten zijn ontstaan uit protoplanetaire schijven. Dit zijn schijven van puin en stof die in het midden samenklonteren tot een ster, de rest van de schijf klontert samen tot vele protoplaneten. Deze botsen tegen elkaar en vormen zo planeten.

3.5.2. Soorten planeten

Planeten kunnen worden opgedeeld in drie soorten:

3.5.2.1. Terrestrische planeten

Ook wel aardse planeten genoemd. Hun oppervlak bestaat voornamelijk uit vaste stoffen. Deze planeten zijn meestal dicht bij hun ster te vinden, door de warmte van de ster verdampten alle vluchtige stoffen meteen bij het ontstaan van de planeet. Terrestrische planeten bestaan uit een ijzeren kern, een mantel en een korst. Het oppervlak van deze planeten is meestal ruw, rotsachtig en bedekt met talloze inslagkraters.

In ons zonnestelsel zijn er vier terrestrische* planeten: Mercurius, Venus, Aarde en Mars.

3.5.2.2. Gasreuzen

Ook wel Joviaanse planeten genoemd. Deze planeten bestaan voornamelijk uit gassen. Dit komt omdat ze zich verder van de zon bevinden waardoor gassen meer kans hadden om te condenseren. Gasreuzen bestaan uit een kleine kern die bestaat uit steen en ijs, een grote mantel van metallisch waterstof en een laag moleculair waterstof. Gasreuzen hebben een sterk magnetisch veld (dit komt door de metallische waterstof) en een zeer tumultueuze atmosfeer, een storm op een gasreus kan wel honderden jaren duren en duizenden kilometers groot zijn.

In ons zonnestelsel zijn er twee gasreuzen: Jupiter en Saturnus.

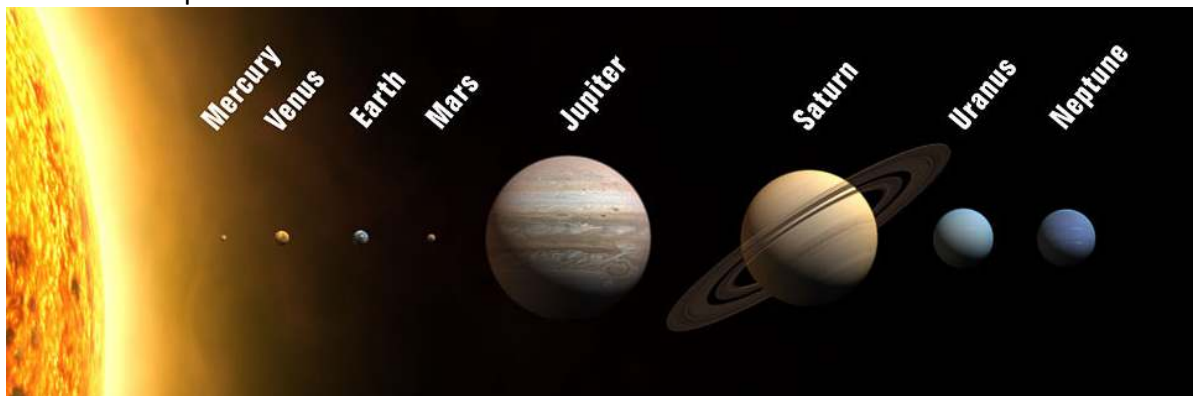
3.5.2.3. Ijsreuzen

Een ijsreus is een relatief nieuwe planeetsoort. Deze zijn groter dan aardse planeten maar kleiner dan gasreuzen. Ijsreuzen bestaan uit een kern van steen en ijs, een mantel van water, ammoniak en methaanijs en een buitenste laag van waterstof, helium en methaangas.

In ons zonnestelsel zijn er twee ijsreuzen: Uranus en Neptunus.

3.5.3. Planeten in ons zonnestelsel

Ons zonnestelsel telt acht Planeten: Mercurius, Venus, Aarde, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus.



(Foto: NASA)

3.5.3.1. Gegevens

In onderstaande tabel staan de acht planeten van ons zonnestelsel met enkele belangrijke gegevens vergeleken tegenover de Aarde:

naam	diameter	massa	Afstand tot zon	orbitale periode	rotatie periode	benaamde manen	ringen	atmosfeer
Mercurius	0,382	0,06	0,39	0,24	58,64	0	nee	minimaal
Venus	0,949	0,82	0,72	0,62	-243,02	0	nee	CO ₂ , N ₂
Aarde	1	1	1	1	1	1	nee	N ₂ , O ₂
Mars	0,532	0,11	1,52	1,88	1,03	2	nee	CO ₂ , N ₂
Jupiter	11,209	317,8	5,20	11,86	0,41	49	ja	H ₂ , He
Saturnus	9,449	95,2	9,54	29,46	0,43	52	ja	H ₂ , He
Uranus	4,007	14,6	19,22	84,01	-0,72	27	ja	H ₂ , He
Neptunus	3,883	17,2	30,06	164,8	0,67	13	ja	H ₂ , He

(Tabel overgenomen van: <http://en.wikipedia.org/wiki/Planet>)

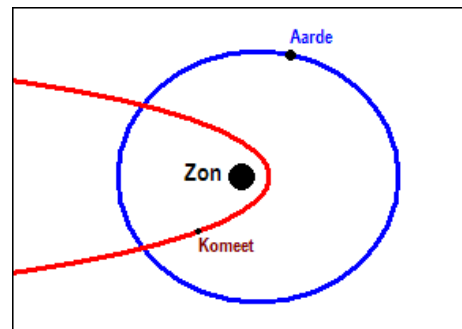
3.5.4. Exoplaneten

Exoplaneten zijn planeten die rond een andere ster draaien dan de zon. De eerste exoplaneten werden ontdekt in het jaar 1991 door Aleksander Wolszczan en Dale Frail.

3.6. Kometen, Meteoren en Planetoïden

3.6.1. Kometen

Een komeet is een klein hemellichaam die voornamelijk bestaat uit ijs, gas en stof. Kometen draaien rond de zon in een zeer elliptische baan, daarom duurt het vaak vele jaren tot ze haar baan heeft doorlopen. Kometen zijn omgeven door een gaswolk en hebben een of meerdere staarten die miljoenen kilometers lang kunnen zijn.



3.6.1.1. Samenstelling

De **kern** of **nucleus** van een komeet bestaat voornamelijk uit ijs, gas en stof en is meestal 1 tot 10 km in diameter (komeet Halley is 8 bij 16 km groot en is een van de grootste die we kennen). Wanneer een komeet dicht bij de zon komt, begint het ijs op het oppervlak te sublimeren, hierdoor kunnen er uitbarstingen op het oppervlak ontstaan.

De kern is omgeven door de **Coma**, dit is een gaswolk die ontstaat door de verdamping van de kern wanneer deze dicht bij de zon komt.

Een komeet heeft vaak twee **staarten**, een **Plasmastaart** en een **Stofstaart**. De plasmastaart bestaat uit ionen, vooral H_2O^+ , OH^+ , CO^+ , CO_2^+ , CH^+ en N_2^+ . De plasmastaart wijst altijd weg van de zon, ongeacht de richting waarin de komeet zich beweegt. Dit komt omdat de zonnwind ze wegblaast. De stofstaart bestaat uit stofdeeltjes die door de verdampende gassen aan het oppervlak, de ruimte in gekatapulteerd worden. De stofstaart wijst ook weg van de zon maar zal meer afbuigen omdat de deeltjes zwaarder zijn dan de ionen in de plasmastaart en zullen dus volgens **Kepler**, een gebogen baan volgen.

De stofstaart is meestal 1 tot 10 miljoen kilometer lang, de plasmastaart kan wel 100 miljoen kilometer lang zijn.

Kometen kunnen ook uit elkaar vallen, net zoals komeet **Shoemaker-Levy 9** net voor haar botsing met Jupiter.

3.6.1.2. Herkomst

Door de baan van een komeet te bestuderen kan men achterhalen waar ze vandaan komen. Kometen met een lange omlooptijd zijn hoogstwaarschijnlijk afkomstig uit de **oortwolk**, terwijl kometen met een korte omlooptijd wel uit de **Kuipergordel** moeten komen.

3.6.1.3. De oortwolk

Kometen hebben een baan met een extreem grote excentriciteit. In 1950 leidde de Nederlandse astronoom **Jan Hendrik Oort (1900 – 1992)** hieruit af dat kometen met een lange periode wel moeten afkomstig zijn uit een grote wolk die zich zo'n 10000 AE (of 1500000 km) ver van de zon bevindt. Het bestaan van deze wolk is tot nu toe nog niet bewezen.

3.6.1.4. De kuipergordel

De Nederlands-Amerikaanse Astronoom Gerard Kuiper (1905 – 1973) wees er in 1951 op dat er zich kometen zouden moeten bevinden in de buitenste planetaire gebieden. Hij suggereerde het bestaan van een gordel kometen net buiten de banen van de planeten, op zo'n 30-100 AE (of 4500 – 15000 km) afstand van de zon. Kometen met een relatief korte omlooptijd komen hiervandaan.

3.6.2. Meteoren, Meteorieten en Meteoroiden

Meteoroiden zijn stukjes steen of ijs die door de ruimte zweven. Meteoroiden zijn kleiner dan planetoïden maar groter dan interplanetair stof. Een **meteoor** is het lichtspoor dat men ziet wanneer een meteoroïde in de atmosfeer terecht komt. Als een meteoor de aarde heeft geraakt, noemen we het een **meteoriet**.

3.6.3. Planetoïden

Een **planetoïde**, ook wel **asteroïde** genoemd, is een lichaam die zich net als een planeet in een baan rond de zon bevindt. Ondertussen zijn er al zo'n 300000 bekend waarvan de grootste wel zo'n 1000 km groot zijn.

3.6.4. Karakteristieken

Planetoïden worden vaak beschreven als aardappelvormige steenklompen. Het oppervlak van deze ruimtelichamen is bedekt met inslagkraters en lijken sterk op de kern van een komeet. Wanneer een planetoïde genoeg massa heeft om geheel bolvormig te worden, noemen we deze een **dwergplaneet**.

Het overgrote deel planetoïden bestaat uit silicaten, andere bestaan uit ijzer en nikkel.

3.7. Banen van planeten

3.7.1. Inleiding

Dat de planeten van ons zonnestelsel rond de Zon draaien werd geïntroduceerd door Nicholas Copernicus. In dit hoofdstuk bekijken we deze banen van de planeten uit ons zonnestelsel eens in detail. Vanaf de 17^{de} eeuw formuleerde Johannes Kepler de beweging van planeten in zijn wetten van Kepler. Die op zijn beurt nog eens bevestigd werden door Isaac Newton, af te leiden uit de wetten van de gravitatie.

3.7.2. Soorten banen rond de Aarde

Rond de Aarde draait één natuurlijke satelliet, en een groot aantal kunstsatellieten. De vorm van de banen die ze maken varieert van vrijwel cirkelvormig tot ellipsvormig. Deze kunnen we in volgende opdelen:

3.7.2.1. Lage banen (Low Earth Orbit – LEO)

Dit zijn de banen die satellieten volgen tussen de 350 en 1400 km boven het aardoppervlak, lager dan deze hoogtes is het niet mogelijk om een baan te volgen. Deze banen worden vooral gebruikt door communicatie en wetenschappelijke satellieten waarmee onderzoek wordt verricht. Het voordeel van deze banen zijn de lage kostprijs om satellieten te plaatsen in deze banen. De gemiddelde snelheid van de satellieten in deze banen is ongeveer 8km/s, voor een satelliet duurt het dan ong. 90 minuten om één baan rond te aarde te maken.

3.7.2.2. Middelhoge cirkelvormige banen (Intermeridiate Circular Orbit – ICO of Medium Earth Orbit – MEO)

Dit zijn de banen die satellieten volgen tussen de 1400 en de 36000 km boven het aardoppervlak. De banen worden vooral gebruikt door GPS satellieten, deze zijn zo georganiseerd dat vanaf elke plaats op de aarde minstens 3 GPS satellieten boven de horizon staan.

3.7.2.3. Geostationaire banen (Geostationary Orbit – GSO)

Deze positie van baan is recht boven de evenaar op een hoogte van 36 786 km. Dit zijn heel precieze banen omdat de satellieten precies meedraaien met de aarde, m.a.w. de satellieten hebben dezelfde rotatiefrequentie als de aarde. Haar omlooptijd is dus 23u en 56 min.

Deze baan wordt ook vaak genoemd als de Clark Belt, dit komt door de ontdekking van deze baan door de Britse sciencefiction-schrijver Arthur C. Clark.

Alle satellieten die zich op deze baan bevinden worden onderworpen aan de gravitatiekracht van de Aarde die exact gelijk is aan deze van de middelpuntvliedende kracht voortkomend uit de snelheid van de satelliet, om zich in deze baan te houden.

3.7.2.4. Afleiding van de geostationaire hoogte

In iedere cirkelvormige baan voorziet de gravitatiekracht de centripetale versnelling van een bepaalde massa (satelliet), m.a.w. :

$$F_g = F_c$$

met c = centripetaal, g = zwaartekracht

Dan zegt de wet van Newton:

$$m \cdot g = m \cdot a_c$$

We kunnen de centripetale versnelling schrijven als:

$$|a_c| = \omega^2 \cdot r$$

met :

- ω : hoeksnelheid

- r : de straal, gemeten vanaf het middelpunt van de Aarde tot het middelpunt van de massa;

Gravitatiekracht kunnen we schrijven als:

$$|g| = \frac{G \cdot m_{aarde}}{r^2}$$

met :

$$- m_{aarde} = 5,9736 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$- G = 6,67428 \pm 0,00067 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

We werken nu de formules verder uit:

$$m \cdot \omega^2 \cdot r = \frac{G \cdot m_{Aarde}}{r^2} \cdot m$$

$$r^3 = \frac{G \cdot m_{Aarde}}{\omega^2}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{G \cdot m_{Aarde}}{\omega^2}}$$

Het product $G \cdot m_{Aarde}$ schrijft men veelal als de geocentrische gravitatieconstante

$$\mu_{Aarde} = 398600,4418 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}:$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\omega^2}}$$

met :

$$-\omega = \frac{2 \cdot \pi}{86164,09054} = 7,2921 \cdot 10^{-5} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

(een siderische dag die de volledige omlooptijd beschrijft duurt 86164,09054 seconden)

$$\begin{aligned} h &= \sqrt[3]{\frac{\mu_{Aarde}}{\omega_{Aarde}^2}} - r_{Aarde} \text{ [km]} \\ &= \sqrt[3]{\frac{398600,4418}{(7,2921 \cdot 10^{-5})^2}} - 6,378 \\ &= 35786 \text{ km} \end{aligned}$$

3.7.2.5. Geosynchrone banen (Geosynchronous Orbit – GEO)

Dit zijn banen die ook dezelfde omlooptijd heeft als de Aarde, maar ze bevinden zich niet altijd boven dezelfde plek, i.t.t. geostationaire banen, wel op dezelfde hoogte. Ze bevinden zich niet boven de evenaar en meestal ook niet in cirkelvormige banen. Een geostationaire baan is een speciale geosynchrone baan. Geostationair is dus altijd geosynchroon maar niet omgekeerd.

3.7.2.6. Circulaire banen

Dit zijn banen die niet in het vlak van de evenaar liggen. De hoogte van deze banen is 35785 km. Een satelliet die zich in deze baan bevindt zal zich altijd in achtjes rond een bepaalde lengtegraad bewegen.

3.7.3. Elliptische banen

De snelheid van de satelliet in een elliptische baan verandert steeds. Volgens de perkenwet van Kepler zal die maximaal zijn in het perigeum (laagste punt boven de aarde) en minimaal in het apogeum (hoogste punt boven de aarde). Apogeum en perigeum kunnen heel verschillend zijn maar hebben steeds een dusdanige relatie dat de omlooptijd van de satelliet 24 uur is. Als de baan in het vlak van de evenaar ligt zal vanaf een punt op de aarde gezien, de satelliet een oost - west beweging maken. Als de vlakken van baan en evenaar niet samenvallen zal vanaf de aarde gezien de satelliet een cirkel- ellips- of achtvormige beweging maken.

3.7.3.1. Geostationaire overdrachtsbanen (Geostationary transfer Orbit – GOT)

Om satellieten in een geostationaire baan te brengen worden ze eerst in een LEO gebracht. Vanuit de LEO wordt de baan elliptischer gemaakt waarbij het laagste punt (perigeum) gelijk blijft aan de LEO en het hoogste punt (apogeum) gelijk wordt gemaakt aan de hoogte van een GSO (35785 km). Dit wordt de geostationaire overdrachtbaan of Hohmann transferbaan genoemd. Vanuit deze tijdelijke toestand wordt de baan langzaam uitgerekt tot een zuiver geostationaire baan.

3.7.3.2. Polaire banen (Polar Orbit – PO)

Een polaire baan staat haaks op de evenaar (inclinatie van ongeveer 90°). Als de baan niet geosynchroon is, zal zo'n satelliet elke locatie op aarde kunnen observeren. Hiervan wordt vooral gebruikgemaakt door (militaire) spionagesatellieten en satellieten die worden gebruikt bij onderzoek naar het milieu. Een bekende satelliet in Zon-synchrone polaire baan was de LandSat 7 die zich gemiddeld 700 km boven het aardoppervlak bevindt. Ook de Nederlandse astronomische satellieten ANS en IRAS bewogen in een polaire baan. Polaire banen die sterk elliptisch zijn worden ook wel *Molniya* banen genoemd (inclinatie

van ongeveer $63,5^\circ$), naar het Russische woord voor *bliksem*. Rusland heeft vanwege de noordelijke ligging van het land veel satellieten in een polaire baan gebracht.

3.7.4. Baan planeten zonnestelsel ten opzichte van de Zon

3.7.4.1. Mercurius

Uit de wetten van Kepler weten we dat de planeten van ons zonnestelsel rond de Zon draaien in een ellipsvormige baan. Hierop is Mercurius een uitzondering, het volgt een rozetbeweging, hier kunnen we terugvallen op de algemene relativiteitstheorie van Albert Einstein, die zegt dat een voorwerp onder invloed is van een zwaar voorwerp in zijn buurt in dit geval de zon, het zorgt voor de verandering van de goniometrie van de ruimte. De rozet maar beschrijft nog altijd de baan met de grootste excentriciteit ($e=0,21$).

Op minder dan 4 dagen van het perihelium van de baan van Mercurius, is het zo dat de rotatiesnelheid van Mercurius in zijn baan groter is dan die van zijn eigen rotatiesnelheid waardoor het soms wel eens dat de zon opkomt en terug ondergaat en daarna direct terug weer opkomt en weer ondergaat.

Het vlak waarin de baan die Mercurius volgt, ligt 7° gekanteld t.o.v. het vlak waarin de Aarde draait. En daarbij heeft Mercurius het kleinste verschil in graden tussen zijn baanvlak en zijn bijna loodrechte (planeetas), dit bedraagt slechts $0,027^\circ$.

Er treedt precessie op van het perihelium, dat 42,98 boogseconden vooruit loopt per eeuw. Een volledige rozet duurt dus 12 miljoen omwentelingen, terug te verklaren door de relativiteitstheorie.

3.7.4.2. Precessie

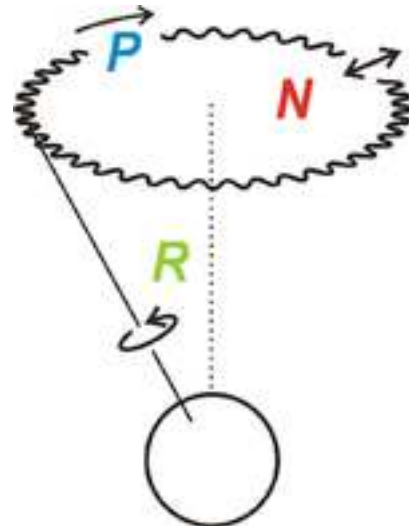
Precessie is de beweging die de draaias van een roterend voorwerp maakt onder invloed van een uitwendige kracht. Zonder zo'n uitwendige kracht wijst de as steeds in dezelfde richting, en zou de Aarde bijvoorbeeld ook niet rond zijn as draaien en er geen verschil zijn in seizoenen.

De wet van behoud van impuls zegt:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \cdot \vec{F} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

met :

– $\vec{\tau}$ = het uitgeoefende moment



3.7.4.3. Venus

Venus beschrijft een baan die bijna cirkelvormig is, doordat zijn excentriciteit vrijwel redelijk klein is ($e= 0,007$). Venus draait in 243 dagen rond haar as, dit wel zeggen dat zij van alle planeten van ons zonnestelsel het traagst rond de zon draait.

Venus draait retrograad rond zijn as, dat wil zeggen dat ze i.t.t. alle andere planeten met de klok meedraait rond haar as. De Zon komt op Venus dus op in het Westen.

3.7.4.4. Aarde

De Aarde beschrijft een ellipsvormige beweging om de Zon met een excentriciteit van 0,0167. Het draait om z'n eigen as in 23 dagen, 56 minuten en 4,091 seconden. Om één maal rond de Zon te draaien heeft de Aarde zo'n 365,25636 dagen nodig.

De omtreksnelheid van de Aarde op deze baan bedraagt zo'n 29,783 km/s.

Op de baan rond de Zon die de Aarde volgt kunnen we 2 speciale momenten onderscheiden, het perihelium en het aphelium. Dit zijn de momenten waar de aarde respectievelijk het dichtst en het verst van de zon staat.

Door dat verschil in afstand wordt tijdens het perihelium veel meer warmte-energie van de Zon ontvangen dan tijdens het aphelium, wel zo'n 106,9%. Maar dit wordt grotendeels opgeheven door de energie-absorptie van de oceanen.

De hoek tussen de as van de Aarde en de baan die het volgt, noemen we de gloopingshoek of de inclinatie, bij de Aarde bedraagt die $23,4^\circ$. Dit zorgt er dus voor dat de Aarde “kantelt” tot het op zijn maximum is op een keerskring en dan tegengesteld kantelt naar de andere keerskring, het uiteindelijke effect ervan is de 4 seizoenen op de Aarde.

3.7.4.5. Mars

Mars is vierde planeet vergeleken met zon. Deze ligt op een afstand van 228 miljoen km van de zon. Mars heeft een diameter van 6786 km.

Minder dan de helft (29%) van aarde maar doordat op mars geen zeeën zijn is het land oppervlak even groot als dat van onze planeet.

Mars heeft 24 uur 37 min nodig om rond zijn as te draaien. Mars doet er 687 dagen over om zij omloopbaan te doorlopen, de baan die hij beschrijft is vrijwel cirkelvormig.

3.7.4.6. Jupiter

Jupiter is de vijfde planeet ten opzichte van de zon. Deze ligt op een afstand van 778 miljoen km van de zon. Met een diameter van 142 600 km is hij de grootste planeet in ons zonnestelsel.

De baan die Jupiter volgt is tevens ook vrijwel cirkelvormig.

Jupiter doet er 11,84 jaar over om zij omloopbaan te doorlopen. Jupiter heeft 16 manen de vier grootste en belangrijkste zijn : Europa, Io, Callisto en Gaymedes. Jupiter is ook de zwaarste hij weegt bijna evenveel als alle planeten samen.

3.7.4.7. Saturnus

Saturnus ligt op 1427 miljoen km van de zon verwijderd. Hij heeft een diameter van 120 200 km en is de tweede grootste planeet.

Saturnus doet er 29,46 jaar over om deze omloopbaan te doorlopen. Een dag duurt 10 uur en 14 minuten.

3.7.4.8. Uranus

Uranus is de zevende planeet. Hij ligt 2869 miljoen km van de zon af. Hij heeft een diameter van 51 800 km .

De baan die Uranus volgt is tevens terug vrijwel cirkelvormig.

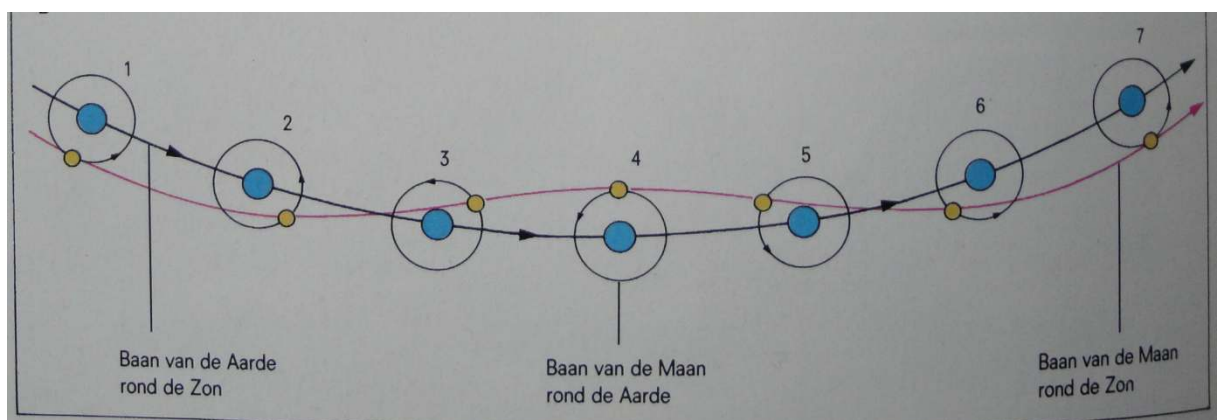
Uranus doet er 84 jaar over om deze omloopbaan te doorlopen. Een dag duurt er 20 uur. Uranus heeft 10 zeer dunne ringen die voornamelijk uit stof bestaan. Hij heeft 15 manen waarvan Titania de grootste is.

3.7.4.9. Neptunus

Neptunus is de achtste planeet. Hij ligt zo'n 4497 miljoen km van de zon vandaan en heeft een diameter van 49 500 km.

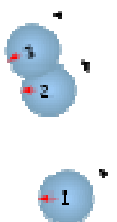
Hij doet er 164,8 jaar over om deze omloopbaan te doorlopen. Een dag duurt er 21 uur. Neptunus heeft 2 manen. Triton is de grootste met een diameter van 2720 km. De wolken in de atmosfeer van Neptunus razen met een snelheid van 1440 km/h voort.

3.7.5. Baan Maan ten opzichte van de Aarde



De Maan draait in een ellipsvormige baan rond de Aarde waardoor er terug 2 speciale momenten bestaan, het perigeo (Maan dichtst bij de Aarde) en het apogeo (Maan verst van de Aarde).

De rotatie van de Maan is synchroon met die van de Aarde waardoor wij op Aarde altijd dezelfde kant van de Maan zien, deze noemen astronomen de lichte kant. De donkere kant van de Maan kan enkel gefotografeerd worden vanuit een verdere baan dan de Aarde, zoals de Loenik 3 in 1959 deed. Die bepaalde synchrone rotatie is ontstaan door de getijdenkracht, gravitatie vervormt de Maan die zijn snelheid afremt tot er synchrone rotatie komt.



Tenslotte onderscheiden we zoals uitgebeeld op de afbeelding hiernaast, een synodische en een siderische maand.

Een synodische maand/lunatie is de tijd tussen 2 nieuwe manen, m.a.w. tussen 1 en 3 op de afbeelding. Het is de tijd ervoor nodig om de maan terug op haar zelfde stand te krijgen t.o.v. de Aarde.

Een syderische maand/lunatie is de tijd ervoor nodig om de maan terug op haar zelfde stand te krijgen t.o.v de Zon, m.a.w. tussen 1 en 2. Meer hierover in het hoofdstuk van het Antikythera Mechanisme.

3.7.5.1. Totale energie van een voorwerp op een cirkelbaan

We vertrekken vanuit de Gravitatiewet van Newton:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad \text{speciaal: } g = \frac{G \cdot m_1}{r^2} = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

met :

G = constante van Cavendish

m = massa

r = gem. straal van de massa waarrond de andere massa beweegt op een cirkelbaan

Verder weten we dat er geldt voor de potentiële energie:

$$\text{Algemeen: } E_p = \int F \cdot dh = \int m \cdot g \cdot dh = m \cdot g \cdot h$$

$$\text{Speciaal: } E_p = \int G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \cdot dr = G \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \int \frac{dr}{r^2} = -G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r} + C$$

Ook kunnen we de middelpuntvliedende kracht schrijven als:

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

nu is $F_c = F$

$$\frac{m_2 \cdot v^2}{r} = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$\frac{m_2 \cdot v^2}{2} = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{2 \cdot r}$$

Uiteindelijk kunnen we de totale energie schrijven als:

$$\Delta E = \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$E = \frac{m_2 \cdot v^2}{2} - \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r} = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{2r} - \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r}$$

$$E = -\frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r}$$

Dit is de totale energie van een voorwerp op een cirkelbaan.

Als we nu eens voor een voorwerp rond de Aarde gaan kijken, dan geldt:

$$E = -\frac{g}{r} \cdot m_{\text{voorwerp}}$$

3.8. Eclipsen

3.8.1. Inleiding

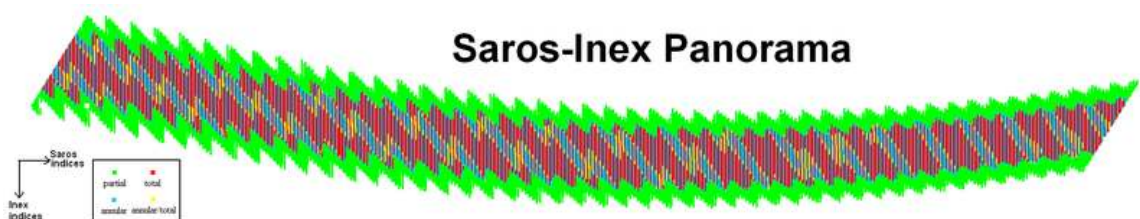
Sinds de oudheid al, worden maan en zonneverduisteringen beschouwd als zowel tekens van ontzag als vrees of van schoonheid en verbazing. Het is daarom begrijpelijk dat de astronomen onophoudelijk hebben gezocht naar methodes om hun voorkomen en omstandigheden te voorspellen.

Lang voordat theorieën over de relatieve bewegingen van de Zon en de Maan een hoger stadium van ontwikkeling bereikt hadden dat de omstandigheden van een zons- of maansverduistering via principes zouden kunnen worden opgelost, merkten astronomen op dat de verduisteringen met semi-regelmatige intervallen voorkwamen. De vroegste van zulke periodes die moeten worden aangewend zijn het semester (5 of 6 maanmaanden) en het maanjaar geweest, waarna later waarschijnlijk een hexon-periode (35 maanmaanden), een hepton-periode (41 maanmaanden) en een octon-periode (47 maanmaanden) gekomen zijn.

Hoewel talrijke verduisteringscycli van variërende lengten kunnen worden geconstrueerd door basiscycli zoals Saros en Inex op verschillende manieren (zie verduisteringsfamilies) te combineren, is er geen bewijsmateriaal dat de oude astronomen er zich bewust van waren van om het even welke verduisteringscycli langer dan een Saros-cyclus (18,0 jaar), de cyclus van Metone (19,0 jaar), de cyclus van Callippus (76,0 jaar), de Exeligmos-cyclus (54,1 jaar) en de Babylonische periode (441,3 jaar).

Maya-astrologen zouden al gerekend hebben met een hepton-periode, een octon-periode, een tritos-periode (10,9 jaar), een thix-periode (25,6 jaar) en de 3-voudige tritos-periode (32,7 jaar). De tritos-periode en 3-voudige tritos-periode werden ook gebruikt door Chinese astronomen om eclipsen te voorspellen.

Vele van de langere perioden om eclipsen te bestuderen en te voorspellen zijn onderzocht door George van den Bergh (Oss, 25 april 1890 – Oegstgeest, 3 oktober 1966), een Nederlands politicus die in de periode rond de 1^{ste} wereldoorlog uitvinder en astronoom was. Zo stelde hij voor om de Euro-klok in te voeren, wat daarna gebeurde in 1940. Met deze perioden bedacht hij eenvoudige "recepten", die samen met Theodor Von Oppolzer's verduisteringslijsten moeten worden gebruikt, om de omstandigheden van de zons- en maansverduisteringen te voorspellen die vóór of na de periode voorkomen die door Von Oppolzer's lijsten worden overspannen.



Van den Bergh ontdekte ook dat de zons- en maansverduisteringen die door Von Oppolzer worden weergegeven in een groot saros-linx panorama waaruit talrijke interrelaties tussen verduisteringsfamilies kunnen worden afgeleid.

3.8.2. Soorten eclipsen

Wat is nu eigenlijk een eclips?

Een eclips is de bedekking van een ster door een hemellichaam, meestal spreken we van een zons- of maansverduistering omdat die de meest bekende voor ons zijn.

Als een ander hemellichaam zoals een ster of een planeet bedekt wordt door de maan of een ander hemellichaam spreekt men meestal van een occultatie of bedekking.

3.8.3. Zonsverduistering

De zonsverduistering is een voor de mensen een direct waarneembaar astronomisch fenomeen, waarbij het zonlicht overdag de aarde niet bereikt omdat de maan het zonlicht tegenhoudt. In feite is de naam "zonsverduistering" niet volledig correct want eigenlijk is het de aarde die verduisterd wordt. Bij een zonsverduistering hebben astronomen een uitstekende kans om de corona te bestuderen.

Er zijn 4 waarneembare soorten zonsverduisteringen:

3.8.3.1. Een gehele of totale zonsverduistering

De zon is volledig in zijn zicht onttrokken doordat de Maan op één lijn staat met de Zon en de Aarde. Bij deze soort zonsverduistering is de corona het duidelijkst zichtbaar.



3.8.3.2. Ringvormige of annulaire zonsverduistering

De zon en maan staan (bijna) op één lijn met elkaar maar de zon wordt niet volledig bedekt door de maan waardoor er een ringvormige lichtgevende rand rond de maan is.



Annulair is afkomstig van annulus, een wiskundig begrip:

$$y_r = \sqrt{r^2 - x^2}, \quad y_R = \sqrt{R^2 - x^2}$$

$$A = A_R - A_r$$

$$A = 4 \cdot \int_0^R \sqrt{R^2 - x^2} \cdot dx - 4 \cdot \int_0^r \sqrt{r^2 - x^2} \cdot dx$$

$$\text{stel } x = R \cdot \sin(t) \quad \text{en} \quad x = r \cdot \sin(t)$$

$$dx = R \cdot \cos(t) \cdot dt \quad dx = r \cdot \cos(t) \cdot dt$$

$$\text{als } x = 0, t = 0 \quad \text{als } x = 0, t = 0$$

$$\text{als } x = R, t = \frac{\pi}{2} \quad \text{als } x = r, t = \frac{\pi}{2}$$

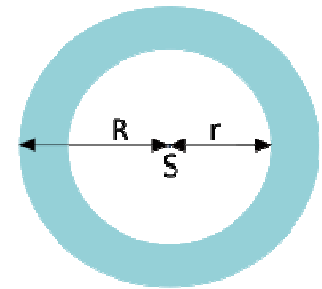
$$A = 4R^2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^2(t) \cdot dt - 4r^2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^2(t) \cdot dt$$

$$A = 4 \cdot (R^2 - r^2) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1 + \cos(2t)}{2} \cdot dt$$

$$A = 4 \cdot (R^2 - r^2) \left(\frac{1}{2} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} dt + \frac{1}{4} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos(2t) \cdot d2t \right)$$

$$A = 4 \cdot (R^2 - r^2) \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\sin(\pi)}{4} \right)$$

$$A = \pi \cdot (R^2 - r^2)$$



In de complexe analyse is een annulus* ($S; r, R$) in het complexe vlak een open verzameling gedefinieerd door :

$$r < |z - S| < R$$

Als $r=0$, dan noemt men de open verzameling de geperforeerde schijf van straal R rond punt S

3.8.3.3. Gedeeltelijke zonsverduistering

De zon is gedeeltelijk door de maan verduisterd, het is alsof de maan een hap lijkt te nemen uit de zon.



Figuur 18: gedeeltelijke zonsverduistering

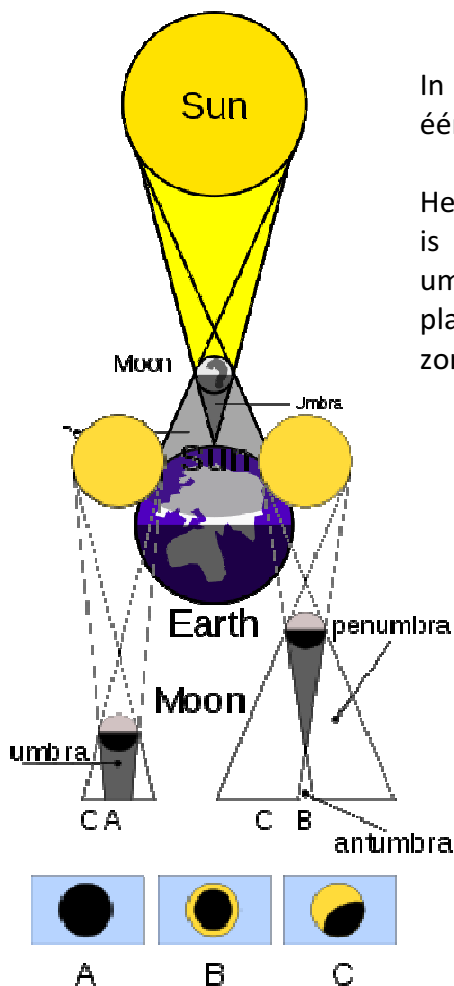
3.8.3.4. Hybride zonsverduistering

Een hybride zonsverduistering is de zonsverduistering tussen een totale en een ringvormige zonsverduistering. Het kan zijn dat de hybride zonsverduistering op een bepaalde plaats op Aarde als een totale verduistering gezien wordt, terwijl op een totaal andere plaats als een ringvormige, en dat op hetzelfde moment. Deze zonsverduisteringen zijn eerder zeldzaam in hun voorkomen.

3.8.3.5. Centrale en niet centrale zonsverduisteringen

Een zonsverduistering wordt centraal genoemd vanaf er meer dan de helft van de kernschaduwkegel over de Aarde scheert

3.8.3.6. Hoe gaat het nu in zijn werk ?



In de afbeelding zien we hoe de maan, Aarde en zon op één lijn staan.

Het donkergrijze stuk wordt de umbra genoemd (umbra is latijn voor schaduw), de plaatsen op aarde waar de umbra overheen gaat is de zonsverduistering volledig. De plaatsen waar er penumbra is, is er een gedeeltelijke zonsverduistering.

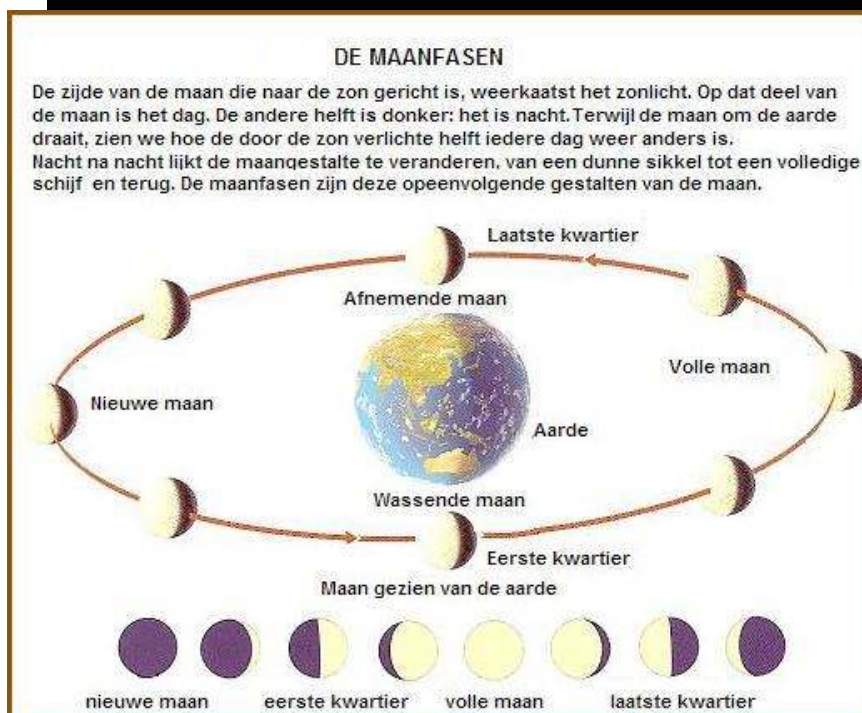
Men kan ook hebben dat de maan op zijn elliptische baan ver van de Aarde staat, waardoor er antumbra ontstaat (zie tekening).

3.8.4. Maanverduistering

Een volledige maansverduistering doet zich voor wanneer de Aarde, de Zon en de Maan op één lijn staan, met de Aarde in het midden. Normaal straalt de zon licht uit die de Maan weerkaatst naar de Aarde, maar aangezien de Aarde in de weg staat kan dit niet gebeuren. Een maansverduistering komt veel frequenter voor dan een zonsverduistering aangezien de Maan iedere $27+1/4$ dagen een toer rond de Aarde heeft afgelegd. De opeenvolging van nieuwe maan naar volle maan noemt men de maanfasen.



Figuur 19: voorbeelden maanfasen



Figuur 20: verschillende maanfasen

Onder de maanfasen onderscheidt men ook het eerste kwartier en het laatste kwartier, te zien op onderstaande afbeelding.

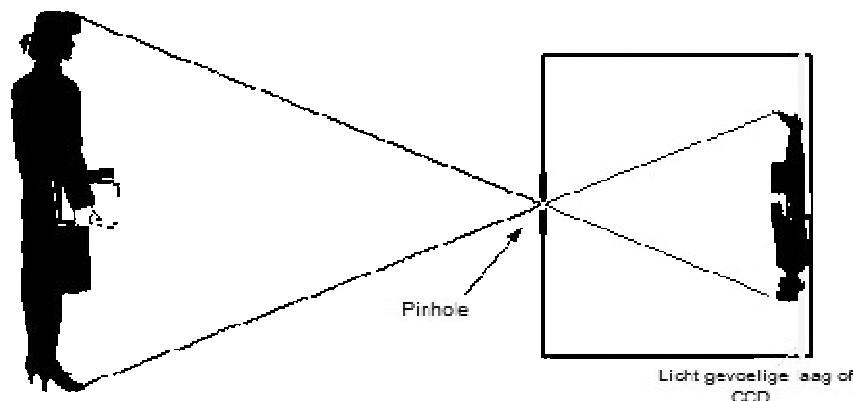
3.8.5. Hoe fotografeert men nu eclipsen ?

3.8.5.1. Inleiding

Om een zoneclips te fotograferen heb je lenzen nodig die geen lenzen zijn. Het zijn camera's met kleine gaatjes waardoor men fotografeert.

Die bepaalde lenzen noemen we "pinhole-camera's of pinhole-lenzen".

In een gesloten (licht dichte) doos is op de achterkant een lichtgevoelige film aangebracht. In de voorkant van de doos is een klein gaatje. Het beeld van een voorwerp wordt door het gaatje op de lichtgevoelige laag geprojecteerd.

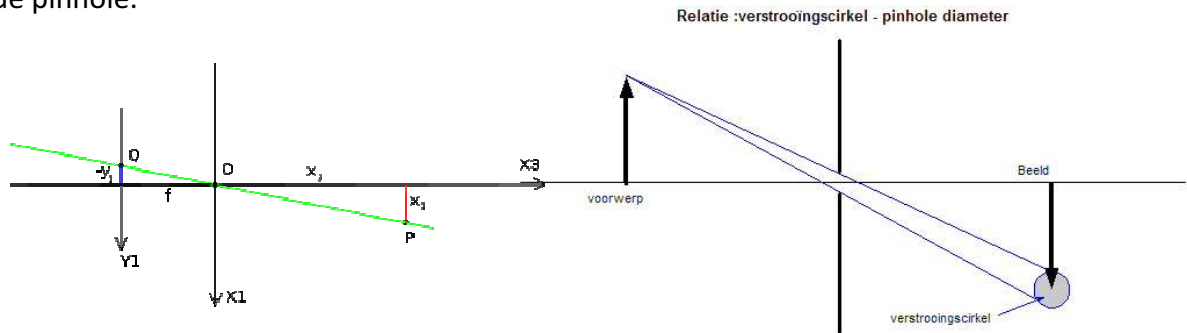


Figuur 21: Pinhole

Omdat er geen lens aanwezig is, is in principe alles scherp en is de DOF¹ oneindig. Er hoeft dus niet scherpgesteld te worden. Bij pinhole fotografie treedt er ook geen vervorming op, zoals bij lenzen het geval is. Deze techniek geeft dan ook heel specifieke foto's, in plaats van een lichtgevoelige film kan ook de CCD² van een digitale reflex camera gebruikt worden.

3.8.5.2. Beeld scherpste

Niettemin de oneindige DOF is de scherpste van het beeld het grootste probleem bij pinhole fotografie, de beeldscherpste wordt in hoofdzaak bepaald door de constructie van de pinhole.



Figuur 22 : Beeld scherpste

Met:

$$\frac{-y_1}{f} = \frac{x_1}{x_3} \quad (\text{gelijkvormige driehoeken})$$

zodat $y_1 = -\frac{f}{x_3} \cdot x_1 = k_{pinhole} \cdot x_1$

→ Is de pinhole te groot dan wordt de verstrooiing te groot, waardoor verlies aan scherpste.

→ Is het gaatje echter te klein dan tredt diffractie (breking) van het licht op, en daardoor is er scherpsteverlies. De optimale pinhole diameter kan men berekenen, (zie verder), deze hangt af van de afstand van de pinhole tot de gevoelige laag of CCD (brandpuntafstand). Voor een voldoende scherp beeld moet de pinhole diameter kleiner of gelijk zijn aan 1/100 ste van de afstand tussen de pinhole en de gevoelige laag. Voor "normale toepassingen" is de pinhole diameter meestal 0.2-0.4 mm.

→ Ook de dikte van het plaatje waarin het pinhole gaatje is gemaakt is belangrijk, het moet zo dun mogelijk zijn om diffractie zoveel mogelijk te vermijden.

3.8.5.3. Berekening van de pinhole diameter.

Algemeen neemt men voor de berekening van de optimale pinhole diameter de volgende formule:

$$d = 1,9 \cdot \sqrt{\lambda \cdot f} \quad \text{Met: } d = \text{diameter [m]}$$

f= brandpuntsafstand [m] (afstand pinhole tot sensor)
 λ = golflengte van het licht [m] (550 nm voor geel licht)

Deze is voor het eerst aangehaald door Jozef Petzval en verder uitgewerkt tot hetgene hierboven door Lord Rayleigh.

Voorbeeld: Veronderstel : we boren in het body-deksel van een Nikon D70 gaatje van diameter 4mm, achter dit gaatje plaatsen we een dun metalen plaatje met een pinhole erin. Wat is de optimale diameter van de pinhole?

We gebruiken de formule:

$$d = 1,9 \cdot \sqrt{\lambda \cdot f}$$

f: de brandpuntsafstand voor een Nikon D70-pinhole combinatie is dit 47mm

$$d = 1,9 \cdot \sqrt{47 \cdot 10^{-3} \cdot 550 \cdot 10^{-9}} = 305 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,305 \text{ mm}$$

De optimale diameter voor een Nikon D70 waarvan de pinhole in het body deksel is gemonteerd is dus 0,305mm De optimale diameter wordt groter indien de afstand pinhole tot sensor vergroot.

3.8.5.4. Berekening diafragma – belichtingstijd

Algemeen is geweten dat de formule voor het berekenen van een diafragma is:

$$F = \frac{f}{d}$$

met:

F= diafragma []

f= brandpuntsafstand [m]

d= diameter [m]

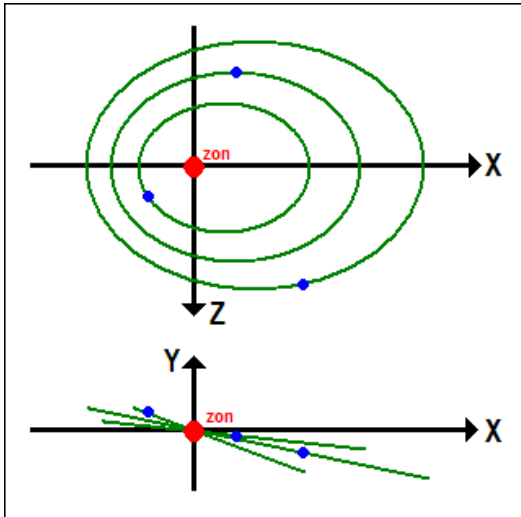
in het voorbeeld is dit nu : $F = \frac{47 \cdot 10^{-3}}{0,305 \cdot 10^{-3}} = 154,1$

Hier nog even de opeenvolgende diafragmastappen die telkens een verdubbeling van de belichting betekenen: 1-1.4-2.0-2.8-4.0-5.6-8-11-16-22-32-45-64-90-128-181-256-312-512.

3.9. 3D project: ons zonnestelsel

3.9.1. Opstellen vergelijking elliptische beweging in de ruimte

Planeten bewegen zich op een elliptische baan met de zon als brandpunt van deze ellips. Deze banen staan ook onder een hoek t.o.v. elkaar. Om dit te integreren in het 3D project is het nodig om een vergelijking op te stellen voor de positie van de planeet in functie van de hoek waaronder die zich bevind.



3.9.2. Formule van de ellips

Uit de wiskunde kennen we de parametervergelijking van de ellips:

$$\begin{cases} x = a \cdot \cos(\alpha) \\ y = b \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

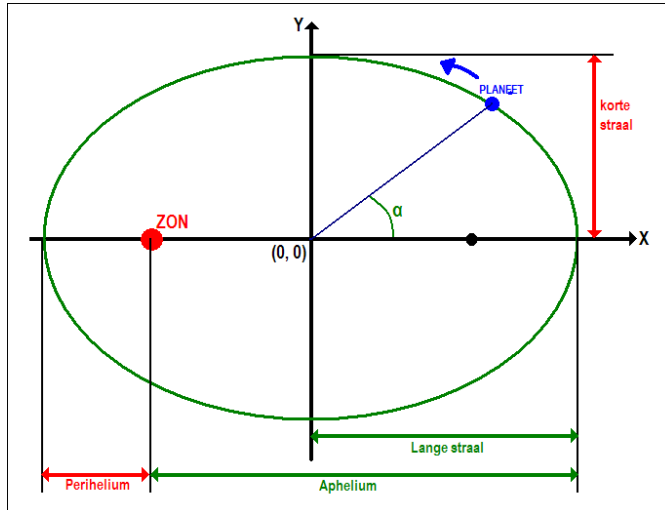
Met a = lange straal

b = korte straal

α = hoek

3.9.3. Ontleden van de elliptische baan

Om verder te bouwen op deze vergelijking moeten we eerst de elliptische baan beter begrijpen:



ZON: de zon is een van de brandpunten van de ellips.

PLANEET: de planeet bevindt zich op het punt (x, y) .

α : De hoek waaronder de planeet zich bevindt, de planeet zal 360° doorlopen per 'jaar'.

Perihelium: de kortste afstand tussen de zon en de planeet, P in de vergelijking.

Aphelium: de langste afstand tussen de zon en de planeet, A in de vergelijking.

Korte straal: b in onze vergelijking.

Lange straal: a in onze vergelijking.

3.9.4. Aanpassen van de vergelijking

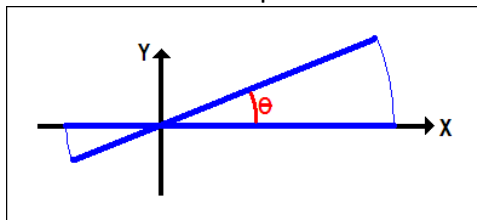
In de ruimte gebruiken we een (x, y, z) assenstelsel, hierin ligt de ellips in het (x, z) vlak. We passen de vergelijking aan, rekening houdend dat de z -as negatief is.

$$\begin{cases} x = a \cdot \cos(\alpha) \\ z = -b \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

Nu verschuiven we het assenstelsel zodat de zon zich in het nulpunt bevindt. Hiervoor moeten we de afstand tussen het brandpunt en het nulpunt bij de x -coördinaat optellen. Deze afstand noemen we tijdelijk K .

$$\begin{cases} x = K + a \cdot \cos(\alpha) \\ z = -b \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

Nu zullen we de ellips kantelen met een hoek θ .



We passen de vergelijking aan met behulp van de vergelijking van de cirkel, dus:

$$\begin{cases} x = (K + a \cdot \cos(\alpha)) \cdot \cos(\theta) \\ y = (K + a \cdot \cos(\alpha)) \cdot \sin(\theta) \\ z = -b \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

3.10. woordenlijst

*Algemene relativiteitstheorie

Dit is een theorie die voorgesteld werd door Albert Einstein in 1915 en baseert zich op 1 postulaat:

waarnemers die zich in rust en in een gelijkmatig zwaartekrachtsveld bevinden gelijkwaardig zijn met andere waarnemers die een constante (uniforme) versnelling ondervinden.

*Annihileren = Vernietigen/totale omzetting van materie in straling.

*Annulus = Dit is een ringvormige structuur (kraag)

*Convectie = is de stroming van een gas of vloeistof. Deze stromingen worden veroorzaakt door druk-, temperatuur- of dichtheidverschillen.

*Deuterium-kernen = een kern met een neutron en een proton i.p.v. enkel een proton.

*Differentiële rotatie = Dit is een verschijnsel die voorkomt bij grote gasachtige objecten zoals bijvoorbeeld de zon. Dit is wanneer het gas aan de polen trager roteert dan het gas aan de evenaar.

*epicycls zijn hulpcirkels, bedoeld om de schijnbare bewegingen van de planeten aan het uitspansel te kunnen verklaren. Deze hulpcirkels zijn bedacht door Claudius Ptolemaeus. In zijn tijd ging men ervan uit dat de aarde in het middelpunt van het zonnestelsel stond, en dat de zon, maan en planeten eromheen draaiden.



Fotoserie van Mars met tussenpozen van een week, genomen van eind juli 2005 (rechts) tot februari 2006. De lusbeweging wordt veroorzaakt door de beweging van de aarde.

*Foton = Deeltje van elektromagnetische straling.

*Hadronen = Verzamelnaam voor protonen, antiprotonen, neutronen, antineutronen,...

*De heliocentrische theorie of heliocentrisme gaat ervan uit dat de zon het middelpunt van het universum is, waar alles om heen draait, of het middelpunt van het zonnestelsel, waar de planeten omheen draaien.

*Inertiaalstelsel: Dit is (in de natuurkunde) een coördinatenstelsel waarin dat voorwerpen waar geen kracht op werkt stilstaan of een eenparige rechtlijnige beweging maken

*Kernfusie = Is het samensmelten van de kernen van verschillende atomen waarbij een ander of zwaarder element wordt gevormd.

*Kwanta = De kleinste natuurlijke eenheid die in onze kosmos voorkomt

Kwantummechanica = een natuurkundige theorie die het gedrag van materie en energie met interacties van kwanta op zeer kleine afstandsschalen bepaalt.

***Neutrino** = een neutraal partikel zonder elektrische lading in een atoom dat zelden reageert met normale materie.

***Nucleosynthese**: Dit is het opbouwen van kernen van zwaardere atomen uit lichtere kernen.

***Postulaten**: dit is een niet bewezen maar algemeen aanvaarde stelling.

* Ruimte-tijd

Ruimte-tijd is afkomstig uit de theoretische fysica (gevonden door Albert Einstein) en beschrijft de 4 dimensies van ons universum in 1 model.

3 dimensies in ruimte (lengte, breedte, hoogte)

1 dimensie in tijd (duur)

***SOHO ruimtesonde** = staat voor SOLar and Heliospheric observatory (zon- en heliosfeer observatorium) de sonde bevindt zich op 1,5 miljoen kilometer van de aarde op de richting aarde- zon.

*Speciale relativiteitstheorie

Dit is een theorie die ontwikkeld is door Albert Einstein en zich baseert op 2 postulaten:

De wetten van de natuurkunde (inclusief die van de elektrodynamica) zijn dezelfde voor waarnemers in inertiaalstelsels die eenparig ten opzichte van elkaar bewegen.

De lichtsnelheid in vacuüm is een universele constante, oftewel: waarnemers in inertiaalstelsels meten voor de lichtsnelheid in vacuüm altijd 299.792.458 m/s, onafhankelijk van hun onderlinge (relatieve) beweging.

***Spectra** = kleurenreeks die ontstaat bij ontleding van licht.

de 'standard candle'. Dit is een meetstaaf waarmee men de plaats bepaald van sterren door middel van de lichtsterkte van die ster.

***Supernova** = is het verschijnsel waarbij een ster explodeert, hierbij komt een enorme hoeveelheid licht vrij.

***Terrestrische** = Dit is een synoniem voor aards. De aardse planeten zijn planeten waar het oppervlak is opgebouwd uit vaste stoffen.

***T-Tauri sterren** = dit zijn onregelmatige veranderlijke sterren die zich in een vrij jong stadium van evolutie bevinden.

4. Principes van de raketbeweging

4.1. Bewegingsvergelijking

Als we heel algemeen gaan kijken naar de bewegingsvergelijking gaat die als volgt

$$v = \Delta s / \Delta t = ds / dt$$

Hierbij spelen de snelheid, de afgelegde weg en de doorlopen tijd een grote rol. Deze formule is van toepassing op alle soorten bewegingen. Maar welke bewegingen bestaan er nu werkelijk allemaal, dit gaan we in dit hoofdstuk verder bespreken.

4.1.1. Rechthoekige beweging

Een punt of lichaam beschrijft een eenparig rechthoekige beweging als ze gebeurt op een rechte lijn, volgens de zelfde zin waarbij het punt of lichaam in gelijke tijden hoe klein ook gelijke afstanden aflegt.

Dat betekent dat voor deze beweging de vergelijking geldt:

$$v = \Delta s / \Delta t = ds / dt \text{ uitgedrukt in meter per seconde}$$

4.1.2. Rechthoekige veranderlijke beweging

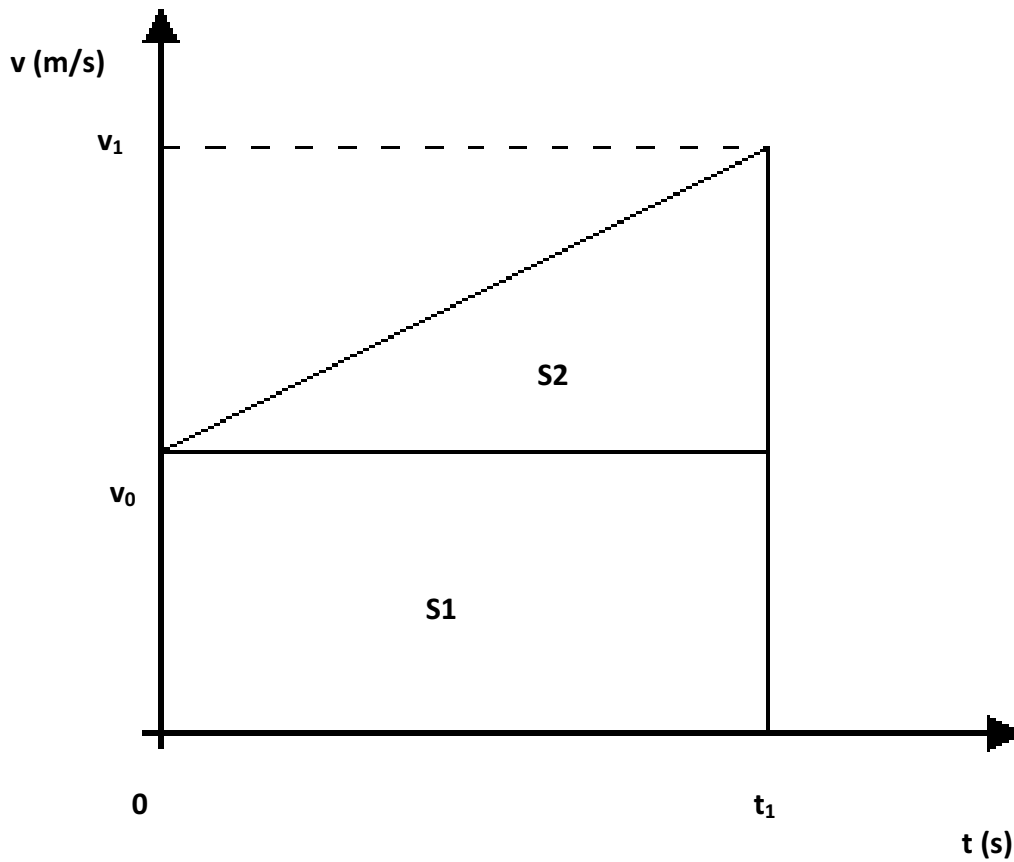
Een punt of lichaam beschrijft een eenparig veranderlijke rechthoekige beweging als ze gebeurt op een rechte lijn, en waarbij het punt of lichaam in gelijke tijden hoe klein ook met een gelijke snelheids toe - of afname beweegt.

Dat betekent dat voor de versnelling de vergelijking geldt:

$$a = \Delta v / \Delta t = dv / dt \text{ uitgedrukt in meter per seconde in het kwadraat}$$

Toepassingen op de rechthoekige veranderlijke beweging zijn de vrije val en de verticale worp. De richting van deze bewegingen zijn verticaal, met als gevolg dat de versnelling a gelijk is aan de aardversnelling g ($= 9,81 \text{ m} / \text{s}^2$)

De afgelegde weg kunnen we berekenen aan de hand van volgende grafiek:



$$S_{\text{tot}} = S_1 + S_2 = v_0 \cdot t_1 + (v_1 - v_0) \cdot t_1 / 2$$

Deze berekening heeft betrekking tot de eenparige versnelde beweging, je kunt dit nu ook toepassen om de afgelegde weg van een eenparig vertraagde beweging te berekenen. Bij de eenparig vertraagde beweging zou v_0 groter zijn dan v_1 met als gevolg dat men een dalende grafiek bekommt.

4.1.3. Cirkelvormige beweging

4.1.3.1. Omtreksnelheid

Een punt of lichaam beschrijft een eenparige cirkelvormige beweging als dat punt of lichaam beweegt op een cirkelbaan, en in gelijke tijden hoe klein ook gelijke booglengtes aflegt.

Dat betekent voor deze beweging heel algemeen dat de vergelijking geldt:

$$v = \Delta s / \Delta t = ds / dt$$

met s is gelijk aan de cirkel omtrek dus: $s = 2 \cdot \pi \cdot r$
en

met t is gelijk aan de periode T

en

met $1 / T$ is gelijk aan de frequentie f

Wat maakt dat de vergelijking als volgt luidt:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot r / T \text{ of } v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f \text{ uitgedrukt in meter per seconde}$$

Deze bewegingsvergelijking heeft betrekking tot de omtreksnelheid maar men kan een cirkelbeweging ook op een andere manier beschrijven namelijk als de hoeksnelheid

4.1.3.2. Hoeksnelheid

Een punt of lichaam beschrijft een eenparige cirkelvormige beweging als dat punt of lichaam in gelijke tijden hoe klein ook gelijke middelpuntshoeken doorloopt.

Dat betekent voor deze beweging dat de vergelijking geldt:

$$\omega = \Delta \theta / \Delta t = d\theta / dt$$

met θ is gelijk aan de $2 \cdot \pi$
en

met t is gelijk aan de periode T

en

met $1 / T$ is gelijk aan de frequentie f

Wat maakt dat de vergelijking als volgt luidt:

$$\omega = 2 \cdot \pi / T \text{ of } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f \text{ uitgedrukt in radialen per s}$$

We hebben nu twee soorten snelheden gezien de hoek en de omtreksnelheid waartussen er een verband bestaat, namelijk $v = \omega \cdot r$

4.1.4. Cirkelvormige veranderlijke beweging

4.1.4.1. Omtrekversnelling

Een punt of lichaam beschrijft een eenparige veranderlijke cirkelvormige beweging als dat punt of lichaam beweegt op een cirkelbaan, en in gelijke tijden hoe klein ook met gelijke omtreksnelheid toe of afneemt.

Dat betekent dat voor de omtrekversnelling de vergelijking geldt:

$$a = \Delta v / \Delta t = dv / dt$$

met v is gelijk aan $2\pi \cdot r / T$
en
met t is gelijk aan T

Wat maakt dat de vergelijking als volgt luidt:

$$a = 2\pi \cdot r / T^2 \text{ uitgedrukt in meter per seconde in het kwadraat}$$

4.1.4.2. Hoekversnelling

Een punt of lichaam beschrijft een eenparige veranderlijke cirkelvormige beweging als dat punt of lichaam in gelijke tijden hoe klein ook met gelijke hoeksnelheid toe of afneemt.

Dat betekent dat voor de hoekversnelling de vergelijking geldt:

$$a = \Delta \omega / \Delta t = d\omega / dt$$

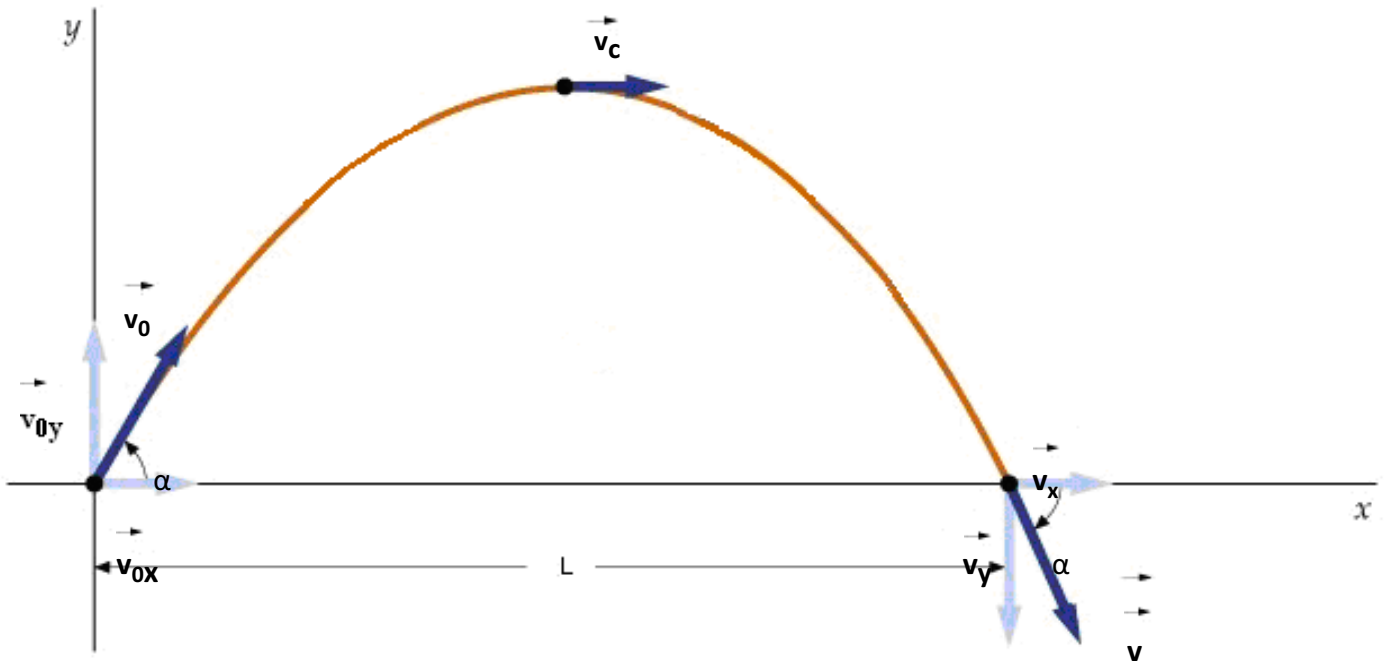
met ω is gelijk aan $2\pi / T$
en
met t is gelijk aan T

Wat maakt dat de vergelijking als volgt luidt:

$$a = 2\pi / T^2 \text{ uitgedrukt in radialen per seconde in het kwadraat}$$

4.1.5. Schuine worp

De schuine worp is in feite een samenstelling tussen een verticale en een horizontale rechtlijnige veranderlijke beweging.



Algemeen

X - component

Y - component

$$S_x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t$$

$$S_y = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{at^2}{2}$$

$$v_x = v_0 \cdot \cos \alpha$$

$$v_y = v_0 \cdot \sin \alpha - at$$

$$a_x = 0$$

$$a_y = -a$$

Aangezien deze schuine worp plaatsvindt op aarde mag men voor a de aardversnelling g ($=9,81 \text{ m/s}^2$) gebruiken.

Bijzonder

Bij de schuine worp zijn er drie belangrijke toestanden, namelijk de begintoestand, eindtoestand en het culminatiepunt, die zich bevindt op het hoogste punt.

a) begintoestand (v_0) en eindtoestand (v)

Als we kijken naar de tekening dan zien we dat het punt of lichaam in de begin - en eindtoestand geen hoogte heeft dus $y = 0$. Als je dit weet kun je nu de tijd berekenen aan

de hand van de volgende formule: $S_y = 0 = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{at^2}{2}$. Aan de hand van de tijd kun je nu alle overige waarden berekenen.

b) culminatiepunt (v_c)

Als we kijken naar de tekening kunnen we concluderen dat het punt of lichaam geen snelheid heeft in de y-richting ($v_y = 0$), het punt of lichaam is dus gewichtloos op dat moment. Dit wetende kunnen we vervolgens opnieuw de tijd berekenen gebruikmakend van de volgende formule: $v_y = 0 = v_0 \cdot \sin \alpha - at$. Ten slotte kunnen we aan de hand van de tijd alle overige waarden berekenen.

Ten slotte kunnen we nog de baanvergelijking construeren door y in functie van x te stellen.

We krijgen daarna volgende formule:

$$y = x \cdot \tan \alpha - \frac{g}{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2$$

We kunnen nu enkele toepassingen uit de doeken doen aan de hand van de schuine worp.

4.1.5.1. De veiligheidsparabool

Bij deze stelling nemen we aan dat het gravitatieveld van de aarde homogeen is. We houden eveneens geen rekening met de aardrotatie of luchtweerstand.

X-as

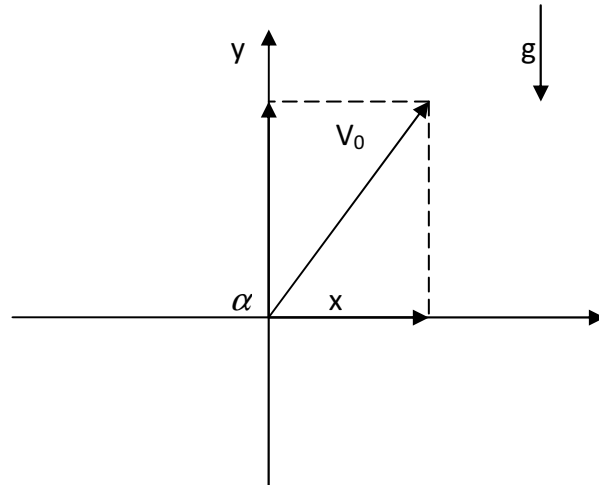
$$S_x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t$$

$$v_x = v_0 \cdot \cos \alpha$$

Y-as

$$S_y = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

$$v_y = v_0 \cdot \sin \alpha - gt$$



In elk punt van de baan is:

$$v_0^2 = v_x^2 + v_y^2$$

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x}$$

a) S_{xworp} maximum

$$S_x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \quad (1)$$

$$S_y = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \quad (2)$$

Bij deze toestand waar S_x maximum is is $S_y = 0$

$$\text{Dus } S_y = 0 = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

Nu kunnen we uit deze tweedegraadsvergelijking t bepalen

$$t \cdot (v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - gt) = 0$$

We bekommen 2 oplossingen

$$t_1 = 0 \text{ en } t_2 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \quad (3)$$

De eerste oplossing is de tijd bij het beginpunt en de tweede oplossing is de tijd bij het eindpunt

(3) in (1)

$$\text{Dus dan bekomen we dat } S_{x\text{worp}} = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$$

$S_{x\text{worp}}$ is dus maximum bij $\alpha = 45^\circ$ want dan is $\sin 90^\circ = 1$

Hieruit kunnen we ook afleiden dat voor bijvoorbeeld $\sin 2\alpha = 0,5$ geldt dat $\alpha = 15^\circ$ of 75°

b) $S_{y\text{worp}}$ maximum

$$v_x = v_0 \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$v_y = v_0 \cdot \sin \alpha - \frac{gt}{2} \quad (2)$$

Bij het culminatiepunt is $v_y = 0$ dus nu kunnen we t afleiden uit vergelijking (2)

$$t = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g} \quad (6)$$

(6) in (2)

$$\text{Dus dan bekomen we dat } S_{y\text{worp}} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}$$

$S_{y\text{worp}}$ is maximum bij $\alpha = 90^\circ$ want dan is $\sin 90^\circ = 1$

c) Baanvergelijking veiligheidsparabool

Om de baanvergelijking van de veiligheidsparabool te bekomen moet we S_y in functie van S_x stellen

$$S_x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \quad (1)$$

$$S_y = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \quad (2)$$

Uit vergelijking (1) leiden we af dat $t = \frac{S_x}{v_0 \cos \alpha}$ (3)

Vervolgens stoppen we vergelijking (3) in (2)

$$S_y = \frac{-g \cdot S_x^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} + \tan \alpha \cdot S_x$$

$$0 = \frac{-g \cdot S_x^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} + \tan \alpha \cdot S_x - S_y$$

We weten dat $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$, als we dat nu integreren in de vergelijking bekomen we

$$0 = \frac{-g \cdot S_x^2 \cdot (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} + \tan \alpha \cdot S_x - S_y$$

$$0 = \frac{-g \cdot S_x^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} - \frac{g \cdot S_x^2 \cdot \cos^2 \alpha}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} + \tan \alpha \cdot S_x - S_y$$

Indien we nu beide leden delen door $-\frac{g \cdot S_x^2}{2v_0^2}$ en na enkele vereenvoudigingen bekomen we

$$0 = \tan^2 \alpha + 1 - \frac{2v_0^2}{g \cdot S_x^2} \cdot \tan \alpha \cdot S_x + \frac{2v_0^2}{g \cdot S_x^2} S_y$$

We kunnen deze vergelijking vervolgens plaatsen in de vorm $ax^2 + bx + c = 0$

$$0 = \tan^2 \alpha - \frac{2v_0^2}{g \cdot S_x} \tan \alpha + \frac{2v_0^2}{g \cdot S_x^2} S_y + 1$$

Vervolgens berekenen we de discriminant indien $D = 0$ dan vallen de hoge en lage baan samen en bekomen we de baan van de veiligheidsparabool ($b^2 - 4ac = 0$)

$$\left(-\frac{2v_0^2}{g \cdot S_x}\right)^2 - 4\left(1 + \frac{2v_0^2}{g \cdot S_x^2} S_y\right) = 0$$
$$-\frac{4v_0^4}{g^2 \cdot S_x^2} - 4 - \frac{8v_0^2}{g \cdot S_x^2} S_y = 0$$

Indien we nu beide leden vermenigvuldigen met $\frac{g^2 S_x^2}{4}$ bekomen we volgende vierdegraadsvergelijking

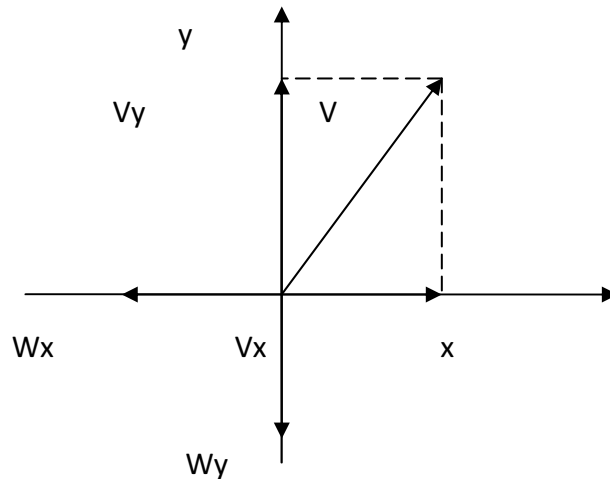
$$v_0^4 - g^2 S_x^2 - 2v_0^2 g \cdot S_y = 0$$

Dit is de vergelijking van de omhullende parabool of de veiligheidsparabool

4.1.5.2. Schuine worp met luchtweerstand

Theoretisch correct gezien kan men een gebied onderscheiden waarbij de snelheid evenredig is met de weerstand. Dit geldt voor lage snelheden, maar voor hogere snelheden geldt dat de weerstand evenredig is met het kwadraat van de snelheid. In deze stelling zullen we aannemen dat de weerstand W van de lucht evenredig met de snelheid hoe groot de snelheid ook is.

$$W = \beta \cdot v = \beta \frac{ds}{dt}$$



Een schuine worp kan nu ontbonden worden in een richting volgens de x en de y-as. Aan deze beide krachten werkt een tegengestelde weerstandskracht.

$$W_x = \beta \cdot v_x = \beta \cdot v \cos \alpha = \beta \frac{dx}{dt}$$

$$W_y = \beta \cdot v_y = \beta \cdot v \sin \alpha = \beta \frac{dy}{dt}$$

We zullen nu proberen de werkelijke snelheden en afstanden via de x en y-richting te achterhalen, dus de snelheid en afstand rekening houdend met de luchtweerstand.

a) X-as

uit $\Sigma F = m \cdot a$ zullen we alles afleiden

$$m \cdot a = -\beta \frac{dx}{dt}$$

We weten dat de dubbele afgeleide van de snelheid gelijk is aan de versnelling en dan bekommen we

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -\beta \frac{dx}{dt}$$

We zullen $-\frac{\beta}{m}$ gelijkstellen aan de constante k

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{\beta}{m} \cdot \frac{dx}{dt} = k \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{d\left(\frac{dx}{dt}\right)}{dt} = k \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{d\left(\frac{dx}{dt}\right)}{\frac{dx}{dt}} = k dt$$

Vervolgens nemen we van beide leden de integraal

$$\int \frac{d\left(\frac{dx}{dt}\right)}{\frac{dx}{dt}} = \int k dt$$

We bekommen een integraal van de vorm $\int \frac{dz}{z}$

$$\ln \frac{dx}{dt} = kt + C_1$$

We kunnen nu de constante C_1 berekenen door $t = 0$ en we weten ook dat $\frac{dx}{dt} = v \cos \alpha$

$$\text{Dus } C_1 = \ln(v \cos \alpha)$$

Vervolgens vullen we C_1 terug in de vergelijking in en bekommen we

$$\ln \frac{dx}{dt} = kt + \ln(v \cos \alpha)$$

Nu werken we de logaritmes als volgt weg

$$e^{\ln \frac{dx}{dt}} = e^{\ln(v \cos \alpha) + kt} = e^{\ln(v \cos \alpha)} \cdot e^{kt} \quad \text{Met } -\frac{\beta}{m} = k$$

Na vereenvoudiging bekommen we de werkelijke snelheid v_x in de x-richting

$$\frac{dx}{dt} = v \cos \alpha \cdot e^{\frac{-\beta}{m} t} = v_x$$

Hieruit kunnen we nu S_x bepalen door te integreren

$$S_x = -\frac{\beta}{m} v \cos \alpha \cdot e^{-\frac{\beta}{m} t} + C_2$$

We kunnen nu de constante C_2 berekenen door $t = 0$ en $x = 0$ en dan bekomen we dat

$$C_2 = \frac{\beta}{m} v \cos \alpha$$

Vervolgens vullen we C_2 terug in de vergelijking in en bekomen we dat

$$S_x = -\frac{\beta}{m} v \cos \alpha \cdot e^{-\frac{\beta}{m} t} + \frac{\beta}{m} v \cos \alpha = \frac{\beta}{m} v \cos \alpha \left(1 - e^{-\frac{\beta}{m} t} \right)$$

Dit is nu de werkelijke afstand S_x die werd afgelegd in de x-richting

b) Y-as

uit $\Sigma F = m \cdot a$ zullen we alles afleiden

$$m \cdot a = -\beta \frac{dy}{dt} - m \cdot g$$

We weten dat de dubbele afgeleide van de snelheid gelijk is aan de versnelling, we houden ook rekening met de aantrekkingskracht van de aarde en dan bekomen we

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{\beta}{m} \cdot \frac{dy}{dt} + g = 0$$

We zullen $-\frac{\beta}{m}$ gelijkstellen aan de constante k

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + k \cdot \left(\frac{dy}{dt} - \frac{g}{k} \right) = 0$$

Vervolgens Stellen we $\frac{dy}{dt} - \frac{g}{k} = u$ en als we nu de afgeleide nemen van beide leden en

delen door dt bekomen we $\frac{d\left(\frac{dy}{dt}\right)}{dt} = \frac{d\left(u + \frac{g}{k}\right)}{dt}$. Als we dit verder uitwerken kunnen we

aantonen dat $\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{du}{dt}$. Indien we deze informatie invullen in de vergelijking bekomen we

$$\frac{du}{dt} - ku = 0$$

$$\frac{du}{dt} = ku$$

$$\frac{du}{u} = k dt$$

Als we nu van beide leden de integraal nemen

$$\int \frac{du}{u} = \int k dt$$

$$\ln u = kt + C_3$$

Als we nu u terug gelijkstellen aan $\frac{dy}{dt} - \frac{g}{k}$

$$\ln\left(\frac{dy}{dt} - \frac{g}{k}\right) = kt + C_3$$

we werken de logaritmen als volgt weg

$$e^{\ln\left(\frac{dy}{dt} - \frac{g}{k}\right)} = e^{kt+C_3}$$

$$\frac{dy}{dt} - \frac{g}{k} = e^{kt+C_3}$$

We kunnen nu de constante C_3 berekenen door $t = 0$ en we weten ook dat $\frac{dy}{dt} = v \sin \alpha$

$$\text{Dus } v \sin \alpha - \frac{g}{k} = e^{C_3} \quad \text{en } C_3 = \ln\left(v \sin \alpha - \frac{g}{k}\right)$$

Vervolgens vullen we C_3 terug in de vergelijking in

$$\frac{dy}{dt} = \frac{g}{k} + e^{kt+C_3}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{g}{k} + e^{kt} \cdot e^{C_3}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{g}{k} + e^{kt} \cdot \left(v \sin \alpha - \frac{g}{k}\right)$$

We weten dat $-\frac{\beta}{m} = k$ dus dan bekomen we

$$\frac{dy}{dt} = e^{-\frac{\beta}{m}t} \left(v \sin \alpha + \frac{gm}{\beta}\right) - \frac{gm}{\beta} = v_y$$

Dit is dus de werkelijke snelheid v_y in de y-richting
Hieruit kunnen we nu S_y bepalen door te integreren

$$S_y = -\frac{m}{\beta} \left(v \sin \alpha + \frac{gm}{\beta} \right) e^{-\frac{\beta}{m}t} - \frac{gmt}{\beta} + C_4$$

We kunnen nu C_4 berekenen door $t = 0$ en $y = 0$

$$\text{Dus } C_4 = \frac{m}{\beta} \left(v \sin \alpha + \frac{gm}{\beta} \right)$$

Vervolgens vullen we C_4 terug in de vergelijking in

$$S_y = -\frac{m}{\beta} \left(v \sin \alpha + \frac{gm}{\beta} \right) e^{-\frac{\beta}{m}t} - \frac{gmt}{\beta} + \frac{m}{\beta} \left(v \sin \alpha + \frac{gm}{\beta} \right)$$

$$S_y = \frac{m}{\beta} \left(v \sin \alpha + \frac{gm}{\beta} \right) \left(1 - e^{-\frac{\beta}{m}t} \right) - \frac{gmt}{\beta}$$

$$S_y = \frac{m^2}{\beta^2} \left(\frac{\beta}{m} v \sin \alpha + g \right) \left(1 - e^{-\frac{\beta}{m}t} \right) - \frac{gmt}{\beta}$$

Na enkele vereenvoudigingen bekommen we de werkelijke afstand S_y die werd afgelegd in de y -richting

c) Opstellen van de baanvergelijking

Om de baanvergelijking te bekommen moet we S_y in functie van S_x stellen

$$S_x = \frac{\beta}{m} v \cos \alpha \left(1 - e^{-\frac{\beta}{m}t} \right) \quad (1)$$

$$S_y = \frac{m^2}{\beta^2} \left(\frac{\beta}{m} v \sin \alpha + g \right) \left(1 - e^{-\frac{\beta}{m}t} \right) - \frac{gmt}{\beta} \quad (2)$$

$$\text{Uit vergelijking (1) leiden we af dat } t = -\frac{m}{\beta} \cdot \ln \left(1 - \frac{\beta \cdot x}{m v \cdot \cos \alpha} \right) \quad (3)$$

Vervolgens stoppen we vergelijking (3) in (2) en bekommen we

$$S_y = \frac{m^2}{\beta^2} \left(\frac{\beta}{m} v \sin \alpha + g \right) \left(\frac{\beta \cdot x}{m v \cdot \cos \alpha} \right) + \frac{g m^2}{\beta^2} \cdot \ln \left(1 - \frac{\beta \cdot x}{m v \cdot \cos \alpha} \right)$$

$$S_y = \frac{m}{\beta} \left(\frac{\beta}{m} v \sin \alpha + g \right) \left(\frac{x}{v \cdot \cos \alpha} \right) + \frac{g m^2}{\beta^2} \cdot \ln \left(1 - \frac{\beta \cdot x}{m v \cdot \cos \alpha} \right)$$

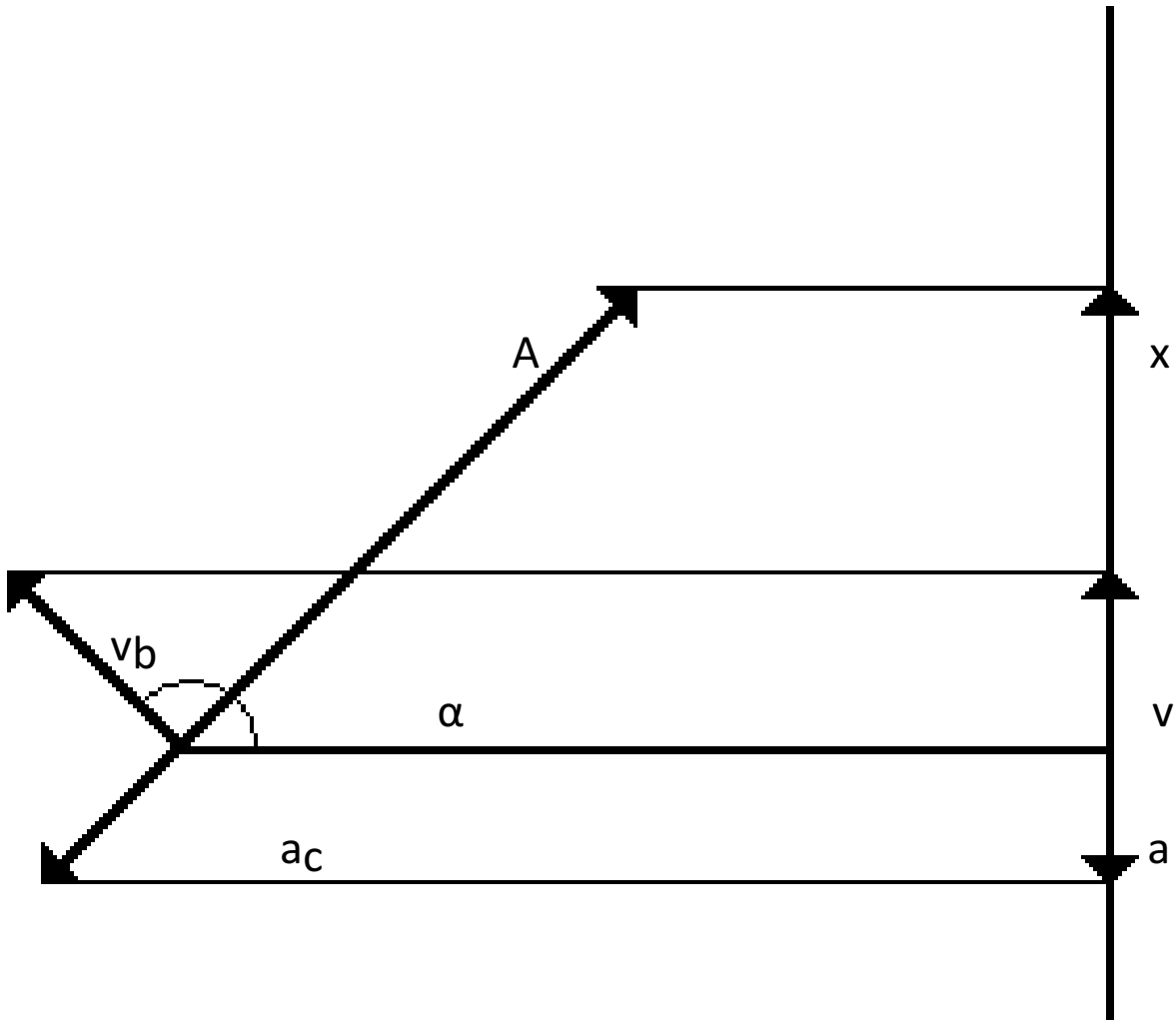
$$S_y = \frac{x}{v \cos \alpha} \left(v \sin \alpha + \frac{m g}{\beta} \right) + \frac{g m^2}{\beta^2} \cdot \ln \left(1 - \frac{\beta \cdot x}{m v \cdot \cos \alpha} \right)$$

Na enkele vereenvoudigingen bekomen we een vergelijking waarbij S_y in functie van S_x staat en dit is de baanvergelijking

4.1.6. Harmonische beweging of sinusoidale trilling

Een punt of lichaam beschrijft een harmonische beweging als het punt of lichaam trilt, veroorzaakt door de loodrechte projectie op een rechte van een punt of lichaam, dat een cirkelvormige beweging uitvoert.

Dat betekent dat voor deze beweging geldt:



Voor de uitwijking

$$x = A \cdot \sin \alpha = A \cdot \sin \omega t \text{ uitgedrukt in m}$$

en voor de snelheid

$$v = v_b \cdot \cos \alpha \text{ met } v_b = \omega \cdot A \cdot \cos \omega t \text{ uitgedrukt in m / s}$$

en voor de versnelling

$$a = -a_c \cdot \sin \omega t \text{ met } a_c = \frac{v_b^2}{A} = \omega^2 \cdot A \text{ uitgedrukt in m / s}^2$$

4.2. De aantrekkingswet van Newton

4.2.1. Wie was Isaac Newton?

Isaac Newton leefde van 4 januari 1643 tot 31 maart 1727 en was een van de leidende figuren in de wetenschappelijke revolutie van die tijd. Hij was een Engelse geleerde, en wordt de grondlegger van de mechanica genoemd omwille doordat hij de zwaartekracht en de drie wetten van Newton heeft beschreven. Die drie wetten zijn gekend als:

De eerste wet van Newton: de wet van de traagheid:

Een voorwerp waarop geen kracht inwerkt blijft in rust of beweegt rechtlijnig voort met een constante snelheid.

De tweede wet van Newton: kracht verandert de beweging :

De wijziging van de beweging is evenredig met de resulterende kracht en volgt de richting waarin de kracht werkt.

De derde wet van Newton: actie = (-) reactie:

Als een voorwerp A een kracht uitoefent op een voorwerp B dan zal A een kracht ondervinden die tegengesteld is aan de uitgeoefende kracht.

Naast het strikt theoretische experimenteerde hij ook zeer vaak, dat in tegenstelling tot Albert Einstein. Als wiskundige zette hij zichzelf op de kaart door medeontdekker te zijn van differentiaalrekening en integraalrekening, wat bijna niet weg te denken is in de moderne wiskunde. Wij zullen het vooral hebben over de aantrekkingswet van Newton.

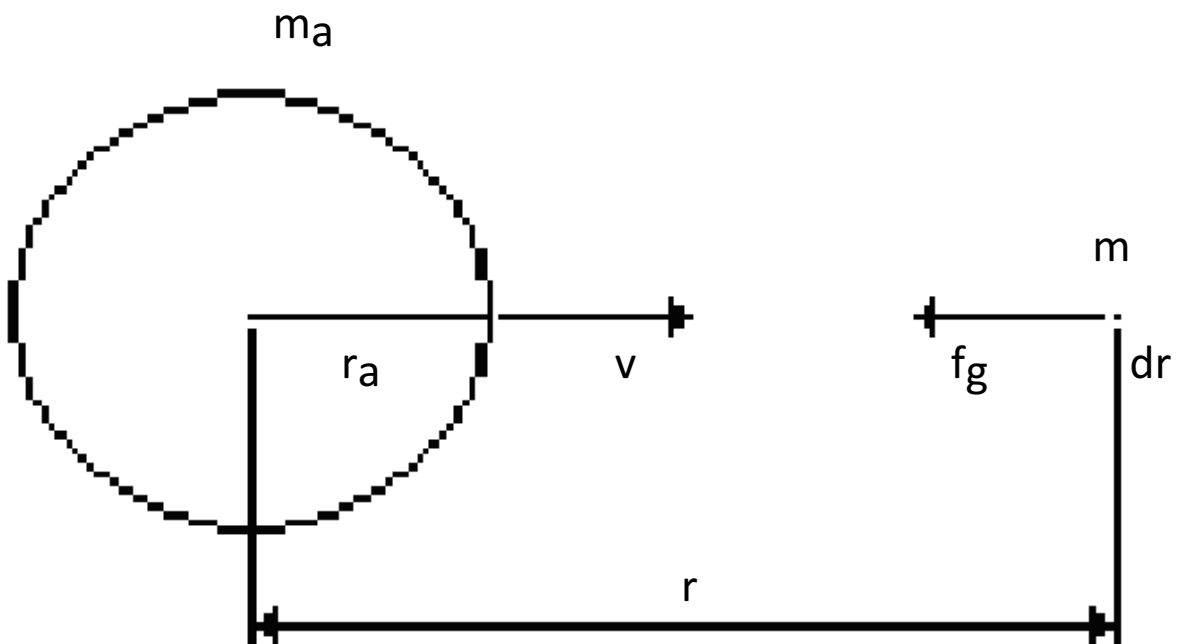
4.2.2. De aantrekkingswet

Newton was een nieuwsgierige man en door die grote belangstelling ontdekte hij de aantrekkingswet. Zijn theorie kwam niet zomaar tot stand; het begon allemaal met de volgende anekdote. Newton liep in de boomgaard van zijn ouders toen er plots een appel naar beneden viel. Newton raapte de appel op en dacht bij zichzelf, waarom valt de maan niet op de aarde zoals deze appel op het aardoppervlak. Toen kon hij nog niet meteen een antwoord geven op die vraag, maar eerdere ideeën zoals die van Aristoteles dat er in de hemel andere natuurwetten gelden werden achterhaald.

Zoals eerder aangehaald beschrijft de wet van Kepler een elliptische baan. Kepler ontdekte door berekeningen en waarnemingen dat de aarde en andere planeten zich op een elliptische baan rond de zon bewegen. Tegelijkertijd beweegt ook de maan zich zo rond de aarde. Door de anekdote van Newton, met de appel en de maan, bewees Newton dat er een kracht inwerkt op de aarde die deze beweging rond de zon tot stand brengt. Het zelfde geldt dan ook voor de maan waar op zijn beurt opnieuw een kracht op inwerkt die de beweging rond de aarde mogelijk maakt. Deze kracht zou als we het hebben over de maan naar de aarde zijn gericht en recht evenredig zijn met de massa van de aarde en van de maan maar omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen beide. Als we deze beschouwing nu algemeen nemen luidt die als volgt.

Ik citeer: Alle stofdeeltjes trekken elkaar wederkerig aan met een kracht die evenredig is met de massa's van die deeltjes en omgekeerd evenredig is met het kwadraat van hun afstand.

Als men dit toepast op de werkelijkheid en controleert, ondervindt men dat deze stelling klopt. Dit idee wordt nu genoemd als de aantrekkingswet van Newton. Dit alles werd natuurlijk samengebundeld in een formule die luidt als volgt:

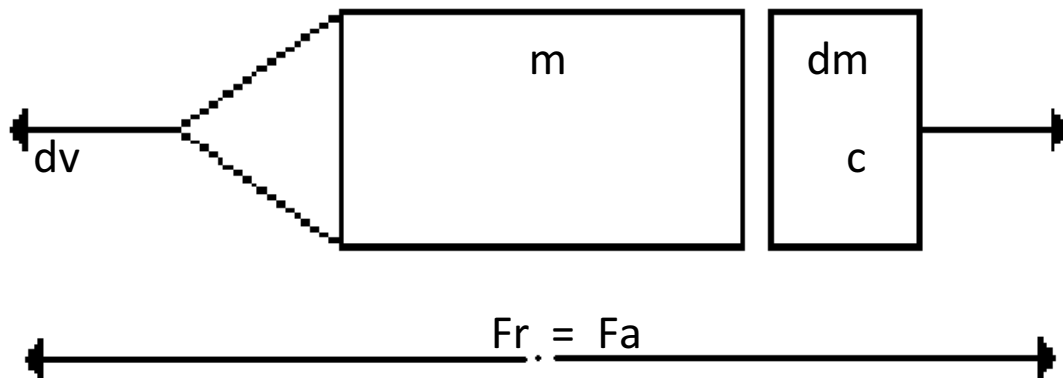


$$F_g = \frac{\rho \cdot m \cdot m_a}{r^2} \text{ waarbij } m \text{ en } m_a \text{ de massa's zijn en } r \text{ de afstand tussen deze twee massa's}$$

Om nu de vraag van Newton te beantwoorden zullen we even een kijkje nemen naar de krachtwerkingen tussen de aarde en de maan. Volgens deze vaststelling trekt de aarde niet alleen aan de maan maar trekt de maan ook aan de aarde. Dit kun je op aarde merken door de getijden dat is een gevolg van de maan die aan de aarde trekt. Je kunt je nu de vraag stellen waarom de maan dan niet op aarde valt. Vaststelling is dat de maan wel degelijk op de aarde valt maar doordat er nog een kracht loodrecht op de aantrekkingskracht inwerkt valt de maan telkens naast de aarde.

4.3. De raketaandrijving

Stuwkracht is de kracht die elk vliegtuig door het luchtruim doet bewegen. Deze kracht wordt gegenereerd door het aandrijvingsysteem van het vliegtuig. Ieder aandrijvingsysteem wekt stuwkracht op een verschillende manier op, maar alle stuwkracht werkt volgens de derde wet van Newton, die we al even besproken hebben in het voorgaande hoofdstuk, namelijk de wet van actie en reactie. De uitgestoten brandstof verlaat het toestel met een bepaalde kracht waardoor er een tegengestelde reactiekracht ontstaat met als gevolg dat het toestel kan bewegen. In symbolen betekent dit:



Algemeen (of per definitie)

1. $I = F \cdot dt$ (I noemt men impuls of krachtstoot)
2. $p = m \cdot v$ (p moet men hoeveelheid van beweging)

Nu kan men bewijzen:

3. $I = dp$ (wordt er op een lichaam een impuls uitgeoefend dan neemt de hoeveelheid van beweging van dit lichaam in gelijke mate toe)

$$4. I = d(m \cdot v) = m \cdot dv + v \cdot dm$$

Dit toepassen op de raket voor tijdsinterval dt

Gedurende dt is de massa van de raket constant dus $dm = 0$. De snelheid van de raket verandert met de waarde dv .

Toepassen op de gassen die uitgestoten worden tijdens het tijdsinterval dt
Gedurende dt wordt de hoeveelheid dm uitgestoten en dit aan de constante snelheid c

Vandaar dat

$$Fr \cdot dt = - Fa \cdot dt$$

Als we weten dat $F \cdot dt = I$

$$I_r = - I_a$$

Met $I = dp$ en $p = mv$

(raket) $m \cdot dv + v \cdot dm = -(m \cdot dv + v \cdot dm)$ (stuwstof)

$$m \cdot dv + v \cdot 0 = -(m \cdot 0 + c \cdot dm)$$

$$m \cdot dv = -c \cdot dm$$

beide leden opnieuw delen door dt

$$m \frac{dv}{dt} = -c \frac{dm}{dt}$$

met $\frac{dv}{dt} = a$ en $\frac{dm}{dt} = Q$ (negatief)

$$m \cdot a = c \cdot Q$$

met $m \cdot a = F$

$$F = c \cdot Q$$

Indien we nu kijken naar de eenheden

$$[N] = [m/s] \cdot [kg/s]$$

Dit alles zullen we tenslotte nog eens delen door de aardversnelling g omdat we aannemen dat de raket van op aarde vertrekt

$$F = \frac{c \cdot Q}{g}$$

Voor de eenheid zou dit betekenen

$$[N] = [m/s] \cdot [kg/s] / [m/s^2] = kg$$

maar omdat het over stuwkracht gaat noemt men deze eenheid kgf (kilogramkracht) kgf is een verouderde eenheid maar is in feite hetzelfde als newton Desondanks wordt deze eenheid nog vaak gebruikt als men het heeft over stuwkracht

Tijdens WO2 werden er meerdere raketten en vliegtuigen gemaakt die grote snelheden konden ontwikkelen. Op die manier werd de geluidsbarrière doorbroken. Dat wil zeggen dat je dan minstens een snelheid van ongeveer 1200 km/h moet bereiken. In een raketmotor worden brandstof en een oxidant samen vermengd in de verbrandingskamer. De verbranding van die samenstelling produceert warmte die passeert door een straalbuis om de stroom te doen versnellen en stuwkracht te produceren. De versnelling ontstaat door de divergerende vorm van de straalbuis. Voor een raket wordt de stuwkracht opgewekt door de warme uitlaat die wordt geproduceerd in de verbrandingskamer. Bij

vliegtuigmotoren wordt de stuwkracht op een andere manier opgewekt. Vliegtuigmotoren gebruiken lucht uit de atmosfeer om zich voort te bewegen. In de ruimte is er nagenoeg geen atmosfeer dus kunnen gewone vliegtuigmotoren hier niet functioneren. Dit toont aan dat raketmotoren wel degelijk anders zijn dan gewone vliegtuigmotoren.

De manier waarop stuwkracht opgewekt wordt kan men in twee categorieën onderverdelen. Dit kan thermisch en elektrisch verwezenlijkt worden. Vervolgens zijn er drie soorten motoren die thermisch stuwkracht opwekken, namelijk die van de vaste brandstofraketten, de vloeibare brandstofraketten en de nucleaire raketten. Wij zullen slechts de eerste twee bespreken. In een vloeibare brandstofraket worden de brandstof en de oxidator apart opgeslagen als vloeistoffen, en worden daarna in de verbrandingskamer, waar het verbrandingsproces plaatsvindt, gepompt. In de vaste brandstofraketten wordt een brandstofmengsel vermengd en verpakt in een vaste cilinder. In normale temperatuursomstandigheden, kan dit mengsel niet branden maar ze zullen ontvlammen als ze worden blootgesteld aan een warmtebron. Eenmaal de verbranding begint moet je wachten totdat het brandstofmengsel geheel is opgebrand. Dat is ook een reden waarom er geen personenvervoer plaatsvindt met deze vaste brandstofraketten, mede omwille van veiligheidsredenen. De uitzondering op deze regel is de Space Shuttle. Hier werd wel het principe van de vaste brandstofraket gebruikt voor het vervoer van mensen.



Space shuttle

Bij de vloeibare brandstofraketten, kun je de stuwkracht stoppen door de toevoer aan stuwstof simpelweg af te sluiten. Vloeibare brandstofraketten zijn ook zwaarder en complexer door de pompen en de verschillende tanks. De stuwstof bij een vloeibare brandstofraket wordt vlak voor de lancering ingeladen. Vaste brandstofraketten zijn veel

makkelijker om te hanteren en kan al gedurende lange tijd lanceerklaar staan voor ze effectief opstijgt. Wat ons het meest interesseert is de vaste brandstofraket mede omdat het makkelijk te hanteren en minder complex is.

4.4. Equivalentieprincipe

4.4.1. Inleiding

Met het equivalentieprincipe uit de fysica bedoelt men het idee van Albert Einstein dat de trage massa uit de eerste wet van Newton gelijk is aan de zware massa uit de gravitatiewet van Newton. Hij beweerde dat het voor een waarnemer niet mogelijk is om een verschil te meten tussen een inertiaalkracht in een versnellend stelsel of een zwaartekracht in een stilstaand stelsel en dat men dus geen onderscheid kan maken. Het meer algemene principe, namelijk dat natuurwetten voor verschillende waarnemers in verschillende stelsels dezelfde moet zijn noemt men het relativiteitsprincipe.

4.4.2. Geschiedenis

Het relativiteitsprincipe werd bestudeerd door Galileo Galilei die – begin jaren 1500 – aantoonde dat alle voorwerpen naar het middelpunt van de aarde vallen, met éénzelfde versnelling. Christiaan Huygens gebruikte ook een gelijkaardig principe bij het ontwikkelen van zijn botsingstheorieën:

“het eenvoudige geval van een botsing tussen twee kogels met gelijke snelheid werd veralgemeend voor botsing aan boord van een varende trekschuit.” (Wikipedia).

In Isaac Newton's zwaartekrachttheorie is een lastig punt dat trage massa (de tegenwerking van een voorwerp tegen een willekeurige versnelling) en de zware massa (het aangetrokken worden door andere zware voorwerpen) – twee toch merkkelijk verschillende eigenschappen – aan elkaar gelijkgesteld kunnen worden, zonder uitleg. In 1907 introduceerde Albert Einstein dan het eigenlijke equivalentieprincipe. Hij beweerde toen dat de waarneming dat voorwerpen naar het centrum van de aarde vallen met een versnelling van $1g$ ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$ op aarde) hetzelfde is aan de waarneming van iemand die zich in een raket bevindt die ver verwijderd is van alle zware hemellichamen en aarde en bovendien een versnelling heeft van $1g$. Einstein verklaarde dit op de volgende manier:

Op grond van onze huidige ervaringen hebben we geen reden om te veronderstellen dat de natuurkundige wetten in stelsel Σ_1 op enigerlei wijze anders zouden zijn van die in stelsel Σ_2 , en dus moeten we aannemen dat een gravitatieveld fysisch volledig gelijkwaardig is met een referentiestelsel dat versneld beweegt. (Einstein, 1907)

Hieruit leidde Einstein af dat de vrije val een gevolg is van traagheid. Dit is tegenstrijdig met de mechanica van Isaac Newton, waarin gravitatie een kracht – dus een oorzaak – is. Deze kracht zorgt ervoor dat voorwerpen naar het centrum van een zwaar lichaam getrokken worden. De normaalkracht van het aardoppervlak – de mechanische weerstand – werkt dus de kracht van de gravitatie tegen op dat aardoppervlak. In de Newtoniaanse

fysica bevindt een persoon die stil staat op de oppervlakte van een (niet-roterend) zwaar voorwerp zich in een inertiaalstelsel. Dit model werkt goed voor de meeste berekeningen, maar het was altijd een raadsel waarom de trage massa in Newtons tweede wet – de m in $F = m \cdot a$ (een constante massa) – exact hetzelfde was aan de zware massa in Newtons gravitatiewet. Het equivalentieprincipe lost dit raadsel op door te stellen dat een niet aflatende versnelling de oorzaak is van die “zwaarheid” en dus traagheid is.

Een gevolg van het equivalentieprincipe is dat als een waarnemer ontdekt dat alle in zijn omgeving een (mogelijk vreemde) kracht ondervinden – evenredig met de trage massa van die voorwerpen – de conclusie moet zijn dat die waarnemer zich in een versneld referentiekader bevindt. (Wikipedia)

In 1911 heeft Einstein het equivalentieprincipe precies geformuleerd, met gebruik van twee referentiekaders K en K' . Het kader K bevindt zich in een homogeen gravitatieveld, terwijl er in K' geen gravitatie is, maar dát kader heeft een specifieke versnelling die er voor zorgt dat de voorwerpen in de twee kaders identieke krachten ondervinden:

Deze veronderstelling van exacte fysieke gelijkwaardigheid maakt het voor ons onmogelijk om van een absolute versnelling van het referentiesysteem te spreken, net zoals het traditionele relativiteitsprincipe het onmogelijk maakt om van een absolute snelheid van een systeem te spreken. Het maakt het gelijk vallen van voorwerpen in een zwaartekrachtsveld nogal evident. (Einstein, 1911)

Bij het construeren van zijn relativiteitstheorie maakte Einstein dit principe tot een algemeen beginsel:

Zolang wij ons beperken tot zuiver mechanische processen in het rijk waar de wetten van Newton gelden, zijn wij zeker van de gelijkwaardigheid van de systemen K en K' . Maar deze mening zal geen diepere betekenis hebben tenzij de systemen K en K' gelijkwaardig zijn met betrekking tot alle natuurkundige processen, dat wil zeggen dat de wetten die gelden in K in volledige overeenkomst zijn met die welke gelden in K' . Als we veronderstellen dat dit werkelijk zo is, komen wij bij een principe uit dat, als het werkelijk waar is, groot heuristisch belang heeft. Door processen te bestuderen die plaatsvinden in een eenparige versnelling verkrijgen we informatie over processen die plaatsvinden in een homogeen zwaartekrachtsveld. (Einstein, 1911)

Met behulp van dit principe – en samen met speciale relativiteit – kon hij voorspellen dat klokken sneller en langzamer lopen bij verschillende gravitatiekrachten, en dat onder invloed van gravitatie lichtstralen afbuigen, zelfs nog voordat hij het concept van de gekromde plaats-tijd ruimte ontwikkeld had.

Het originele equivalentieprincipe van Einstein handelde dus over de natuurkundige gelijkheid van beweging onder invloed van traagheid, en vrije val. Hoewel het equivalentieprincipe hielp om de ontwikkeling van algemene relativiteit te sturen is het eerder het simpele gevolg van de geometrische aard van de theorie en geen fundamenteel principe. In de algemene relativiteitstheorie volgen voorwerpen in vrije val geodesie-lijnen van plaats en tijd, en wat wij waarnemen als zwaartekracht is het gevolg van de mechanische weerstand (normaalkracht) van het onderliggende vlak dat voorkomt dat wij vrij vallen. In 1937 nam de interesse in het equivalentieprincipe enorm toe toen Paul Dirac zijn hypothese van de grote getallen formuleerde: in de fysica zouden dimensieloze

getallen niet moeten voorkomen als fundamentele constanten: er zou slechts één fundamentele energieschaal in fysica moeten zijn. Door op een toeval te wijzen ondersteunde hij dit idee:

de verhouding (dimensieloos) tussen de elektrische en de gravitatiekrachten in een waterstofatoom is ongeveer even groot als de leeftijd van het heelal, vergeleken met de tijd die het licht erover doet om het waterstofatoom te doorkruisen. Beide verhoudingen zijn ongeveer 10^{40} , Om dit verrassende toeval te verklaren, postuleerde Dirac dat de gravitatieconstante zou variëren omgekeerd evenredig met de leeftijd van het heelal, en dat dus de relatieve zwakte van de gravitatie toe te schrijven was aan de leeftijd van het heelal.
(Wikipedia)

Ook al was dit fout, het bracht mensen toch op het idee dat het mogelijk was dat de natuurwetten op verschillende plaatsen en tijd in de ruimte anders kunnen zijn, en dat de waarden van de natuurconstanten dus ook kunnen variëren. Samen met het principe van Mach – grofweg: het idee dat de traagheid van een massa wordt veroorzaakt door de andere massa's in het heelal – brachten deze ideeën fysici ertoe om scalar-tensortheorieën te ontwikkelen – namelijk de Brans-Dicke theorie – waarin de gravitatieconstante geen constante is.

4.4.3. Het moderne gebruik

Tegenwoordig kunnen we een aantal verschillende vormen van het equivalentieprincipe onderscheiden. Het zwakke equivalentieprincipe: wordt ook de “universaliteit van de vrije val” genoemd. De baan van een vallend lichaam is onafhankelijk van zijn samenstelling, maar hangt slechts af van zijn aanvankelijke snelheid en positie. We kunnen dit ook op deze manier verwoorden: in een bepaald gravitatieveld zullen alle voorwerpen op een zelfde plaats-tijdpunt dezelfde versnelling ondergaan. Omdat grote voorwerpen getijdekrachten kunnen ondergaan, en zware voorwerpen door hun aanwezigheid het omringende gravitatieveld kunnen veranderen, is dit principe niet op deze van toepassing. Nu wou men andere mogelijke zwaartekrachttheorieën (die welliswaar in overeenstemming bleven met de speciale relativiteit) vergelijken met de algemene relativiteitstheorie van Einstein. Zo wilde de Amerikaan Robert Dicke kijken of de algemene relativiteitstheorie wel klopte. Er werden twee nieuwe principes voorgesteld die beiden het “zwakke equivalentieprincipe” als uitgangspunt hadden: het “sterke equivalentieprincipe” en het “Einstein-equivalentieprincipe”. Het enige verschil tussen beide is de mate waarin ze van toepassing zijn op gravitatie-experimenten.

Het Einstein-equivalentieprincipe zegt dat het resultaat van een lokaal niet gravitatie-experiment in een inertiaalstelsel niet afhankelijk is van de snelheid of de plaats in het heelal van het experiment. Dit is een soort Copernicaanse uitbreiding van de originele formulering van Einstein, die vereist dat de referentiekaders waar dan ook in het heelal zich identiek gedragen. Het is een uitbreiding van de postulaten van speciale relativiteit in zoverre dat het vereist dat de fysieke waarden zonder dimensie zoals de fijnstructuurconstante en de elektron/proton massaverhouding constant zijn. Vele fysici denken dat om het even welke Lorentz-invariantetheorie die voldoet aan het “zwakke equivalentieprincipe” ook voldoet aan het Einstein-equivalentieprincipe.
(Wikipedia)

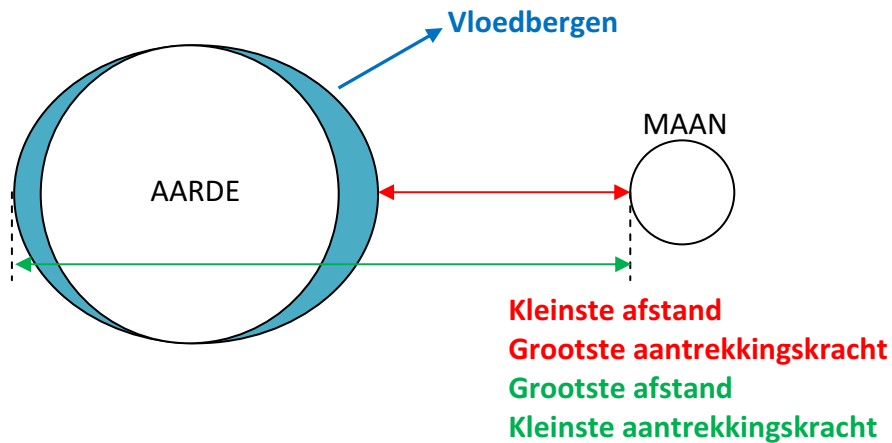
Het sterke equivalentieprincipe: deze stelt dat de uitkomst van welk lokaal experiment dan ook – met of zonder gravitatie – in een inertiaalstelsel waar en wanneer dan ook in het heelal hetzelfde resultaat moet hebben. Hierdoor is dit de enige vorm van het equivalentieprincipe dat op zelf-graviterende lichamen – zoals sterren – van toepassing is die een interne gravitatieinteractie hebben. Hiervoor moet de gravitatieconstante op elke plek in het heelal dezelfde zijn en moet de zwaartekracht onverenigbaar zijn met een vijfde kracht. De enige zwaartekrachtstheorie die past met deze vorm van het equivalentieprincipe is de algemene relativiteitstheorie.

4.5. Zwaartekracht

Een peer valt van een boom op de grond. Hoe komt dit? Een simpele reden: zwaartekracht. Alles wat een massa heeft, heeft zwaartekracht. Alle lichamen, hoe groot of klein ze ook zijn, trekken elkaar aan. Maar deze zwaartekracht is niet overal gelijk, ze kan namelijk verschillen afhankelijk van waar je je bijvoorbeeld op de aarde bevindt. De zwaartekracht kan verschillen omwille van enkele redenen:

- 1) De aarde is niet de perfect ronde bol zoals we ze zien op beelden vanuit de ruimte
- 2) De aarde is platter bij de polen omdat ze om haar as draait
- 3) Zwaartekracht wordt beïnvloed door bergen, diepzeetroggen
- 4) Onevenredige verdeling van het gesteente (massa)

De aarde heeft een veel grotere aantrekkingskracht dan de peer, daarom lijkt het voor ons alsof de peer naar de aarde valt. Eigenlijk valt de aarde ook naar de peer toe, maar omdat de massa van de aarde zodanig groot is blijft deze op zijn plek. Er zijn natuurlijk ook planeten die zwaarder zijn dan de aarde, zoals de grootste planeet van ons zonnestelsel Jupiter. Die heeft een massa die meer dan 300 keer die van de aarde is, en dus een veel grotere aantrekkingskracht heeft. De zon is 1000 keer zo zwaar als Jupiter, dus die heeft een *nog* grotere aantrekkingskracht. De reden waarom die peer nu naar de aarde valt, en niet naar Jupiter of de zon die een grotere aantrekkingskracht hebben, heeft te maken met de afstand. De onderlinge aantrekkingskracht tussen lichamen heeft niet alleen te maken met hun massa's, maar ook met de afstand tussen beide. Hoe groter de afstand, hoe kleiner de aantrekkingskracht. Nu kun je je afvragen waarom de aarde niet naar Jupiter valt, of de maan naar de aarde? Dit is dus wel zo! De maan valt wel degelijk naar de aarde, maar omdat ze ook nog eens een serieuze snelheid heeft van zo'n 3600km/u die loodrecht staat op de valbeweging naar de aarde, blijft ze in een cirkel rond de baan *vallen*. Dit geldt ook voor de cirkelbeweging van alle planeten rond de zon. Het verschijnsel zwaartekracht kun je niet alleen merken aan voorwerpen die vallen, maar ook bijvoorbeeld aan het water in de zee: eb en vloed.

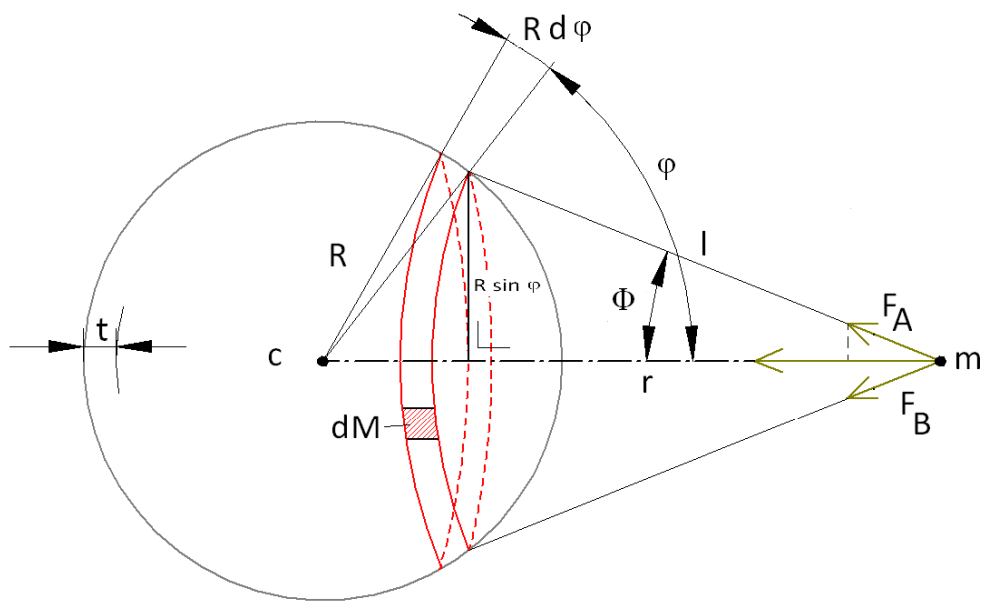


Eb en vloed heeft dus te maken met het afstandseffect. Aan de kant van de aarde die het dichtst bij de maan staat ontstaat een vloedberg. Hier staat het water dus onder de invloed van de aantrekkingskracht van de maan, hier hebben we vloed. Aan de andere kant van de aarde ontstaat ook een vloedberg. Hoe kan dit? Die kant van de aarde staat het verst van de maan, en ondervindt dus een kleinere aantrekkingskracht. Dit is het water die dus “achterblijft” bij de rest van de planeet.

4.5.1. Is er zwaartekracht in de ruimte?

Je hoort wel eens van mensen dat er geen zwaartekracht is in de ruimte. Hoe kunnen astronauten anders zweven in hun ruimtecapsule? Niets is echter minder waar: er is dus wel zwaartekracht in de ruimte. We leggen het even uit: stel dat je een ladder maakt van 500km lang, en je klimt helemaal naar de top. Dan bevind je je dus in de ruimte. Er is daar geen lucht meer, maar je hebt wel nog steeds een gewicht. Hoe kunnen astronauten op die hoogte nu rondzweven in hun capsule? De verklaring hiervoor is dat ze zich in een valbeweging bevinden. Hun ruimtecapsule bevindt zich net als de maan in een valbeweging rond de aarde. Moest je op die ladder van 500km hoogte de ruimtecapsule vasthouden, dan zouden da astronauten direct naar de bodem vallen. Ze ondervinden dus wel een aantrekkingskracht (zwaartekracht) van de aarde, maar bevinden zich in een vrije val. Je kan dit vergelijken met een parachutist die uit een vliegtuig springt: tijdens zijn val merkt hij niks van de zwaartekracht, maar je kan wel zien dat hij er onder invloed van is door het feit dat hij steeds sneller naar de aarde valt. Hij kan nu twee dingen doen om niet te pletter te slaan: zijn parachute openen, of heel snel stapjes opzij zetten, zoals de maan en de ruimtecapsule doen!

4.5.2. De zwaartekracht in de omgeving van de aarde



$$F_t = F_a \cdot \cos\phi$$

Waarbij F_t de resultante is van alle bolschillen

We weten reeds dat:

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

hieruit volgt:

$$F_t = f \cdot \frac{m dM}{l^2} \cdot \cos\phi$$

Bekijken we even een bolschil:

$$dM = \rho dV$$

$$\text{met } dV = 2\pi R \cdot \sin\theta \cdot t \cdot R d\theta$$

waarbij:

$$2\pi R \cdot \sin\theta = \text{omtrek}$$

$$t = \text{dikte}$$

$$R d\theta = \text{breedte}$$

$$dF = f \cdot \frac{m \cdot \rho \cdot 2\pi R^2 \cdot t \cdot \sin\theta \cdot d\theta}{l^2} \cdot \cos\phi$$

Op de tekening kunnen we zien dat

$$l \cdot \cos\phi = r - R\cos\theta$$

Met de cosinusregel kunnen we $\cos\theta$ ook schrijven als:

$$\cos\theta = \frac{r^2 + R^2 - l^2}{2rR}$$

Cosinusregel:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \alpha$$

Hierbij is dus:

$$a = l$$

$$b = r$$

$$c = R$$

$$\cos \alpha = \cos\theta$$

$$l \cdot \cos\phi = r - R\cos\theta$$

$$\cos\phi = \frac{r - R\cos\theta}{l}$$

met

$$\cos\theta = \frac{r^2 + R^2 - l^2}{2rR}$$

daaruit volgt:

$$\cos\phi = \frac{1}{l} \left(r - R \left(\frac{r^2 + R^2 - l^2}{2rR} \right) \right)$$

$$\cos\phi = \frac{r(2rR) - R(r^2 + R^2 - l^2)}{2rRl}$$

$$\cos\phi = \frac{2r^2R - Rr^2 - R^3 + Rl^2}{2rRl}$$

$$\cos\phi = \frac{2r^2 - r^2 - R^2 + l^2}{2rl}$$

$$\cos\phi = \frac{r^2 - R^2 + l^2}{2rl}$$

$$\cos\theta = \frac{r^2 + R^2 - l^2}{2rR}$$

$$d(\cos\theta) = -\sin\theta d\theta$$

$$-\sin\theta d\theta = -\frac{2l dl}{2rR}$$

$$\sin\theta d\theta = \frac{l dl}{rR}$$

Uit de twee vorige bewerkingen volgt dus:

$$dF = f \cdot m \cdot \rho \cdot \frac{2\pi R^2 t}{l^2} \cdot \frac{l dl}{rR} \cdot \frac{r^2 - R^2 + l^2}{2rl}$$

$$dF = f m \rho \pi \frac{R}{r^2} t \left(1 + \frac{r^2 - R^2}{l^2} \right) dl$$

$$F = f m \rho \pi \frac{R}{r^2} t \left[l - \frac{r^2 - R^2}{l} \right]_{l=r-R}^{l=r+R}$$

$$F = f m \rho \pi \frac{R}{r^2} t \left[\left((r+R) - \frac{r^2 - R^2}{r+R} \right) - \left((r-R) - \frac{r^2 - R^2}{r-R} \right) \right]$$

We werken eerst de vierkante haken uit:

$$\left[\left((r+R) - \frac{r^2 - R^2}{r+R} \right) - \left((r-R) - \frac{r^2 - R^2}{r-R} \right) \right]$$

$$\left[\left(\frac{r^2 + 2rR + R^2 - r^2 + R^2}{r+R} \right) - \left(\frac{r^2 - 2rR + R^2 - r^2 + R^2}{r-R} \right) \right]$$

$$\left(\frac{2R(R+r)}{r+R} \right) - \left(\frac{2R(R-r)}{r-R} \right)$$

$$2R \left(\frac{R+r}{r+R} - \frac{R-r}{r-R} \right)$$

$$2R \left(\frac{(R+r)(r-R) - (R-r)(r+R)}{(r+R)(r-R)} \right)$$

$$2R \left(\frac{(r-R) - (R-r)}{r-R} \right)$$

$$2R \left(\frac{(r-R) + (r-R)}{r-R} \right)$$

$$4R$$

Vervolgens vullen we de uitkomst weer in:

$$F = fm\rho\pi \frac{R}{r^2} t(4R)$$

$$F = fm\rho \cdot 4\pi \frac{R^2}{r^2} t$$

met het volume van de bolschil = $4\pi R^2 t$

Dus:

$$F = f \cdot \frac{m\rho V}{r^2}$$

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

4.6. Schijnkracht (inertiaalkracht)

4.6.1. Schijnkracht

Een schijnkracht, traagheidskracht of ook inertiaalkracht is een kracht die wordt waargenomen als een beweging vanuit een coördinatenstelsel wordt bekeken dat zelf aan een vernelling onderhevig is. In een startende auto, een vertrekkende lift of op een draaiende planeet lijkt het alsof op voorwerpen een extra kracht wordt uitgeoefend. Indien men binnen zo'n stelsel de eerste wet van Newton wil laten kloppen moet een "schijnkracht" opgevoerd worden. In het geval van de auto en de lift een inertiaalkracht, in het geval van de planeet een middelpuntvliedende kracht of Coriolis kracht. Als men bewegingen bestudeert vanuit een niet-versneld referentiestelsel zijn er geen schijnkrachten nodig.

4.6.2. Formules

Volgens de eerste wet van Newton moet in een punt de vectoriële som gelijk zijn aan nul. Als het coördinatenstelsel waarin gemeten wordt zelf wel versnelt moet er dus een traagheids-kracht opgevoerd worden.

4.6.3. Versnelling in rechte lijn

Voor astronauten in een vertrekkend ruimteveer lijkt het alsof er een reusachtige extra zwaartekracht is. Ook een goed voorbeeld is als je met een auto erg snel optrekt dat je in je zetel geduwd wordt. Om van een lichaam (hier de passagier) de snelheid te veranderen moet er een kracht uitgeoefend worden. Pas als de vering van de zetel in de auto voldoende is ingedrukt oefent die genoeg kracht uit om de passagier even hard te laten versnellen als de auto.

Indien alle metingen gedaan worden met de binnenkant van de auto als uitgangspunt (als referentie) dan beweegt de passagier niet en moeten alle krachten samen nul zijn. Dus moet er een kracht ingevoerd worden. Die kracht werkt op die persoon en drukt hem in de stoel. De kracht die dan zou moeten ingevoerd worden is de schijnkracht. In werkelijkheid is die "kracht" er echter niet, de auto beweegt namelijk wel en de passagier verandert van snelheid. Het is de stoel die de passagier duwt, niet andersom.

4.6.4. Cirkelvormige beweging

Als een auto een bocht maakt worden de passagiers naar buiten toe geduwd. Iemand die aan de kant van de weg staat ziet dat het de autostoelen of de autodeur is die tegen de passagiers aan duwen: als de deur open zou gaan zouden de passagiers rechtdoor vliegen terwijl de auto een bocht maakt.

Er zijn drie schijnkrachten die werken op een voorwerp als de waarnemer zich in een draaiend stelsel bevindt:

- 1) de centrifugale kracht of middelpuntvliedende kracht:



Middelpuntvliedende kracht of ook centrifugale kracht is de reactiekracht die een lichaam uitoefent op het lichaam dat ze doet afbuigen. De naam reflecteert de richting waarin de kracht werkt: middelpunt-vliedend ('vlieden' = vluchten) en centrifugaal (Latijn: centrum = midden en fugere = vluchten). De kracht kan worden voorgesteld als een vector met een richting van het rotatiecentrum naar het voorwerp. Bij de meeste beschouwingen wordt gebruik gemaakt van de middelpuntzoekende kracht. Dit is de kracht die wordt uitgeoefend om een voorwerp af te buigen.

- 2) de Corioliskracht :



Het corioliseffect, genoemd naar de Franse ingenieur Gustave-Gaspard die het in 1835 voor het eerst beschreef, is de verklaring voor de afbuiging van de baan van een voorwerp dat beweegt binnen een roterend systeem. Het is vooral duidelijk bij de beweging van de wolkenmassa's rond een lagedrukgebied, die niet recht naar het centrum van dit lagedrukgebied stromen maar er omheen beginnen te cirkelen, op het noordelijk halfrond tegen de wijzers van de klok in.

(wikipedia)

3) En als de draaiing niet eenparig is: de Eulerkracht

Wisseling van perspectief

Het vermogen om een proef eerst vanuit één vast standpunt te benaderen en dan vanuit een ander standpunt is erg nuttig in de natuurkunde. Het stelde Christiaan Huygens in staat om botsingsregels voor biljartballen op te stellen, Het hielp Isaac Newton vallende appels in verband te brengen met planeten en manen. Misschien wel de meest vérgaande stap nam Albert Einstein bij het opstellen van zijn Equivalentieprincipe: hij stelde dat zwaartekracht (dan een erg geheimzinnige fundamentele kracht) ook op te vatten is als een schijnkracht. Wat wij beleven als de gravitatiekracht tussen een voorwerp en de aarde is eigenlijk een "manifestatie van de traagheid" van dat voorwerp.



Christiaan Huygens

4.7. Gravitatieconstante

De gravitatieconstante of constante van de zwaartekracht of constante van Cavendish is een natuurkundige constante en is een kracht in Newton die 2 objecten op elkaar uitvoeren op een afstand van 1 meter en een massa van 1 kilogram Hij komt voor in de wet van de zwaartekracht van Newton:

$$\text{Met } F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

F = zwaartekracht tussen twee voorwerpen (in Newton)

G = gravitatieconstante, constante van Cavendish (in $\text{m}^3 \text{s}^{-2} \text{kg}^{-1}$ of $\text{Nm}^2 \text{kg}^{-2}$)

m_1 = massa van het eerste voorwerp (in kg)

m_2 = massa van het tweede voorwerp (in kg)

r = afstand tussen de voorwerpen (in m)

4.7.1. Bepaling

De constante is te bepalen door middel van het torsiebalans-experiment van Henry Cavendish. Daaruit volgt een waarde van $6,6754 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$. Daarmee is het mogelijk de massa van de aarde te bepalen deze waarde van G in te vullen in de zwaartekrachtformule van Newton: r is de reeds bekende straal van de aardbol, F/m^2 is de gemakkelijk te meten valversnelling en m_1 is de massa van de aarde. (wikipedia: 10/11/2009)

Inmiddels is de gravitatieconstante op vele verschillende manieren gemeten: met zons eclipsen, zons seismologie, satellietonderzoek, lasers op de Maan, planeetbewegingen en pulsarstatistiek. Toch blijft de zwaartekrachtsconstante een van de minst nauwkeurig bepaalde natuurkundige constanten, met maar drie of vier significante cijfers. (wikipedia : 10/11/2009)

Er worden door verschillende gezaghebbende instituten verschillende waarden geadviseerd. De IAU houdt het op $(6,67259 \pm 0,00030) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$.

Volgens de CODATA-commissie, onderdeel van het SI-stelsel was de beste waarde in 2006 $(6,67428 \pm 0,00067) \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$.

4.7.2. Toepassing: de gravitatieconstante op de maan

De valversnelling op het aardoppervlak is gelijk aan ongeveer 9,81 N/Kg of m/s.

Nu is de valversnelling die je voelt gelijk aan de zwaartekrachtsconstante gedeeld door het kwadraat van de straal tot het massamiddelpunt van het lichaam:

$$g_{\text{aarde}} = G \cdot M_{\text{aarde}} / r^2$$

(Hierin is G de universele zwaartekrachtsconstante, en M_{aarde} de massa van de Aarde.)

De straal van de aarde is 6400 km, dus:

$$G \cdot M_{\text{aarde}} = (9,81 \cdot 6400^2) / 1000 = 4,018 \cdot 10^5 \text{ km}^3 / \text{s}^2$$

Nu is de Aarde ongeveer 81x zo zwaar als de maan:

$$G \cdot M_{\text{maan}} = G \cdot M_{\text{aarde}} / 81 = 4,96 \cdot 10^3 \text{ km}^3 / \text{s}^2$$

De straal van de maan is ongeveer 1740 km, dus:

$$g_{\text{maan}} = (4,96 \cdot 10^3 \cdot 1000) / 1740^2 = 1,64 \text{ m/s}^2$$

Als je nu de twee valversnellingen met elkaar vergelijkt, dan zie je dat

$$g_{\text{maan}} / g_{\text{aarde}} = 1,64 / 9,81 \approx 1/6$$

Je weegt dus 6x minder als je op de maan bent.

5. De eentrap- en meertrapraket

5.1. Raketopbouw

Veel raketten bestaan uit een aantal trappen, meertrapsraket genoemd (multistage rocket). Een trap, ook fase genoemd, is een deel van een raket dat bestaat uit brandstoftanks en een motor. Het aantal trappen verschilt per raket. Meestal gebruikt een raket twee of drie trappen, maar er zijn ook viertrapsraketten. We kunnen twee soorten trappen onderscheiden, namelijk een tandem of ook een seriële trap genoemd, een trap die gemonteerd is op de top van een andere trap. En een parallelle trap, een trap die verbonden is naast een andere trap. Het resultaat is effectief wanneer twee of meer trappen gestapeld bovenop of naast elkaar gevoegd zijn. Samen vormen ze een meertrapsraket, ook draagraket genoemd. In de seriële trap opbouw is de eerste fase onderaan gevestigd, de tweede trap en de daarop volgende trappen zijn boven elkaar bevestigd, meestal afnemend in grootte. Parallelle trappen met vaste of vloeibare aangedreven raketboosters worden gebruikt om te helpen met lift-off (het opstijgen). Deze worden dan soms aangeduid als trap nummer 0.

5.2. Raketwerking

De motor gebruikt de brandstof uit de brandstoftanks. Na een tijdje is de brandstof uit de tanks op en is het nutteloos om door te vliegen met die trap (de motor werkt immers niet meer). Daarom wordt de trap losgelaten.

Nu is de raket een stuk lichter en neemt een kleinere motor van de volgende trap het werk over tot ook voor deze trap de brandstof op is en naar beneden valt. Bij de eerste fase van de lift-off worden de boosters en de eerste fase ontstoken. Wanneer de boosters van brandstof opraken, worden ze losgemaakt van de rest van de raket (meestal met een soort van kleine explosieve lading) en vallen weg. Dit gebeurt ook wanneer de eerste trap volledig voltooid is. Nu blijft er een kleinere raket over met de tweede trap op de bodem die vervolgens dan afvalt. Dit proces wordt herhaald tot de laatste trap volledig is opgebrand.

5.3. Voordelen

- ➔ De belangrijkste reden voor het gebruik van de meertrapsraketten en boosters is dat zodra de brandstof volledig wordt verbrand, de ruimte en de motoren nutteloos worden en vervolgens afvallen. Door het afvallen van de trappen die niet meer nuttig zijn, wordt de raket lichter waardoor de versnelling van ieder opeenvolgende trap stijgt.
- ➔ Een ander voordeel is dat elke trap een ander type raketmotor kan gebruiken voor elke afgestemde omstandigheid. Dus de onderste fazenmotoren zijn ontworpen voor gebruik bij atmosferische druk, terwijl de bovenste fazenmotoren gebruikt worden die geschikt zijn voor hoogten waar geen druk of weinig atmosferische druk heerst. Lagere fasen hebben vaak behoefte aan meer structuur dan hoger gelegen fasen want ze moeten hun eigen gewicht kunnen dragen (wat relatief al groter is van volgende fasen) plus dat van de fasen boven hen, het optimaliseren van elke fase vermindert het gewicht van de totale raket en biedt dus verder voordeel.

5.4. De aandrijving van de raket

5.4.1. Inleiding

De aandrijving van een raket is gebaseerd op de derde bewegingswet van Newton, namelijk: voor elke actie is er een gelijke maar tegenovergestelde reactie. Dit wil zeggen dat de raket niet aangedreven wordt door een mechanische overbrenging, maar dat de uitlaatgassen die uit de raket stromen, de raket aandrijven. Bij een verbrandingsmotor zijn deze overbodig en worden ze zo veel mogelijk verminderd, terwijl ze bij een raketmotor net essentieel zijn.

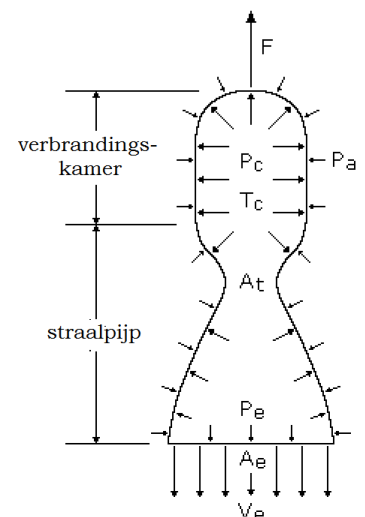
Deze uitlaatgassen ontstaan door het samenvoegen van brandstoffen die door verbranding hete gassen vormen. Door een straalbuis worden deze gassen versneld en naar buiten geleid. De stuwkracht is het verschijnsel dat ontstaat door het uitwerpen van massa op hoge snelheid. Dit is te vergelijken met de terugslag die ontstaat wanneer men een kanon afvuurt.

5.4.2. Stuwkracht

Net als alle krachten wordt ook de stuwkracht van een raket, ruimtevaartuig of andere straalmotor in Newton gemeten en uitgedrukt. De stuwkracht van zo'n motor is wordt veroorzaakt door de druk die de hete gassen zetten op de wand van de verbrandingskamer.

In de figuur zien we een verbrandingskamer met straalpijp waarlangs het gas kan ontsnappen.

De drukverdeling binnen de verbrandingskamer is asymmetrisch, wat wil zeggen dat een druk die een kracht naar boven veroorzaakt bijvoorbeeld niet gecompenseerd wordt door een druk die een kracht naar beneden veroorzaakt.



In de verbrandingskamer is de druk ongeveer constant, maar hoe verder in de straalpijp, hoe kleiner de druk, tot op het uiteinde de atmosferische druk wordt bereikt.

De kracht die op de bovenkant van de verbrandingskamer werkt wordt niet tegengewerkt door een kracht van buitenaf. Deze kracht is dus gelijk aan de stuwkracht (F) van de motor. De stuwkracht is dus ontstaan door het verschil aan drukken aan de binnenkant en aan de buitenkant, dus is deze tegengesteld aan de richting van de uitlaatgassen. Het is de stuwkracht die ervoor zorgt dat de verbrandingskamer, en dus ook de motor omhoog wordt gestuwd.

Het is de bedoeling dat de druk van de uitlaatgassen op het uiteinde van de pijp zo klein mogelijk is. Dit kunnen we door de verhouding van de uitgangsdiameter A_e tot de doorsnede van de keel A_t zo groot mogelijk te maken, deze verhouding noemen we de sectieverhouding.

De stuwkracht F is de resultante van de krachten toe te schrijven aan de druk die op de binnen en buitenwanden door de verbrandingsgassen en de omringende atmosfeer wordt uitgeoefend.

Zoals we in het volgende hoofdstukje zullen zien, krijgen we na het toepassen van het principe van behoud van impuls:

$$F = q \cdot v_e + (p_s - p_a) \cdot A_s \quad \text{met } q = \text{tempo v.d. uitgeworpen massastroom}$$

$P_a = \text{de atmosferische druk}$
 $P_e = \text{de druk van de uitlaatgassen}$
 $V_e = \text{hun uitwerping}$
 $A_e = \text{de uitgangsdiameter}$

De stuwkracht wordt gespecificeerd bij zeeniveau of in een vacuüm.

5.4.3. Behoud van Impuls

De lineaire impuls (I), (ook gewoon de impuls genoemd), van een deeltje is de integraal van de kracht over een tijd van tijdstip a tot tijdstip b

$$I = \int_a^b F \cdot dt$$

Over de kracht F weten we nu dat $F = m \cdot a$ met $a = \frac{dv}{dt}$:

$$= \int_a^b m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot dt$$

$$= \int_a^b m \cdot dv$$

Met $m \cdot dv = dp$

$$= \int_a^b dp$$

$$= \Delta p$$

Dit wordt ook geschreven als:

$$I = dp$$

Als we weten dat $p = m \cdot v$, dan bekomen we:

$$I = d(m \cdot v)$$

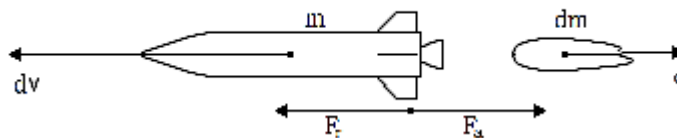
volgens de regels van de differentiaalrekening (differentiaal van een product is de differentiaal van de eerste term vermenigvuldigd met de tweede term plus de eerste term vermenigvuldigd met de differentiaal van de tweede term $d(a \cdot b) = da \cdot b + a \cdot db$)

$$I = dm \cdot v + m \cdot dv$$

Één van Newton's bewegingswetten luidt "De resulterende kracht die op een lichaam werkt is gelijk aan de verandering van de lineaire impuls van het lichaam"

$$F = \frac{dp}{dt}$$

welke aan de uitdrukking $F = m \cdot a$ gelijkwaardig is. Als wij een systeem van deeltjes hebben, is de totale impuls p van het systeem de som impulsen van de individuele deeltjes. Wanneer de resulterende externe kracht die op een systeem werkt nul is, blijft de totale lineaire impuls van het systeem constant. Dit wordt het principe van behoud van lineaire impuls genoemd. Kijken we nu even hoe dit principe wordt toegepast op de raketbeweging.



Overweeg een raket die beweegt in een gravitatie vrije ruimte. Stel de raket motor wordt ontstoken gedurende een tijd t , tijdens deze periode, stoot de motor massa uit aan een constant debiet en bij met constante snelheid t.o.v. de raket (uitlaatsnelheid). Veronderstel dat er geen externe krachten, zoals gravitatie of luchtweerstand, werkzaam zijn.

Volgens Newton zijn tweede wet is actie gelijk aan reactie:

$$F_r = -F_a$$

Wanneer we nu in termen van impuls willen spreken vermenigvuldigen we de krachten met het tijdsinterval want $I = F \cdot dt$:

$$F_r \cdot dt = -F_a \cdot dt$$

$$I_r = -I_a$$

De impuls is nu ook gelijk aan $I = d(m \cdot v)$, waarbij na invullen m en c constants zijn.

$$d(m \cdot v) = -d(c \cdot m)$$

$$m \cdot dv = -c \cdot dm$$

Wanneer we nu beide leden delen door dt verandert de verhouding niet.

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = -c \cdot \frac{dm}{dt} \quad \text{Met } \frac{dv}{dt} = a$$

$$\text{En } \frac{dm}{dt} = Q_{neg} = \text{debiet}$$

De vergelijking kan nu herschreven worden als:

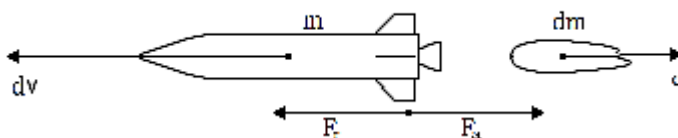
$$m \cdot a = c \cdot Q$$

En verder als:

$$F = c \cdot Q$$

5.5. Snelheid

5.5.1. Eerste manier voor het bepalen van de snelheid van een raket



We nemen een raket met massa m die beweegt in een ruimte zonder aantrekkingskrachten. Stel de raketmotor wordt ontstoken gedurende een tijd t en tijdens deze periode stoot de motor massa uit aan een constant debiet (Q) en bij met constante snelheid t.o.v. de raket (uitlaatsnelheid c). Veronderstel dat er geen externe krachten, zoals zwaartekracht of luchtweerstand, inwerken op de raket.

In de uitwerking in het hoofdstuk van behoud van impuls zagen we dat

$$m \cdot dv = -c \cdot dm$$

We mogen beide leden delen door m

$$dv = -c \cdot \frac{dm}{m}$$

als we van beide leden een integraal nemen tussen dezelfde grenzen blijft de verhouding gelijk (v_1 is de snelheid na tijd t en m_s is het debiet maal de tijd ($Q \cdot t$), dus eigenlijk de massa die uitgestuwd is na tijd t)

$$\int_{v_0}^{v_1} dv = \int_{m}^{m-m_s} \left(-c \cdot \frac{dm}{m} \right)$$

De integraal van $\frac{dm}{m}$ is gelijk aan $\ln m$

Bij het oplossen van de integraal mag constante c afgezonderd worden:

$$[v]_{v_0}^{v_1} = -c \cdot [\ln m]_{m}^{m-m_s}$$

Bij het uitwerken van de integraal moeten we de grenzen invullen en de benedengrens aftrekken van de bovengrens:

$$v_1 - v_0 = -c \cdot [-\ln(m - m_s) + \ln m]$$

Volgens de regels van logaritmen:

- een constante voor het logaritme (in dit geval -1) mogen we weg doen, als we ze terugplaatsen als macht van de factor waar een logaritme van genomen wordt

$$-\ln(m - m_s) = \ln \frac{1}{m - m_s}$$

- de som van twee logaritmen is gelijk aan het logaritme van het product van de factoren waarvan de logaritmen genomen worden

$$\ln \frac{1}{m - m_s} + \ln m = \ln \frac{m}{m - m_s}$$

$$v_1 - v_0 = c \cdot \ln \frac{m}{m - m_s}$$

$$v_1 = v_0 + c \cdot \ln \frac{m}{m - m_s}$$

Nu stellen we de massaverhouding r gelijk aan $r = \frac{m}{m - m_s}$

$$v_1 = v_0 + c \cdot \ln r$$

Het verschil in snelheid is de snelheid verminderd met de beginsnelheid

$$\Delta v = c \cdot \ln r$$

5.5.2. Tweede manier voor het bepalen van de snelheid van een raket

Om de snelheid te bepalen van een raket steunen we op Newton's tweede bewegingswet die kan geschreven worden als:

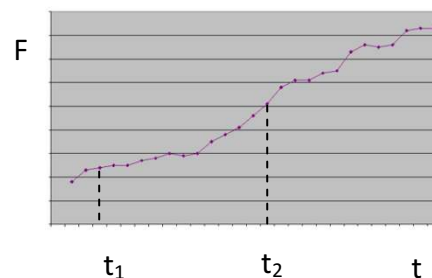
$$F = \frac{dp}{dt}$$

Vermenigvuldigen we beide zijden met dt en integreren we tussen t_1 en t_2 , dan vinden we:

$$F \cdot dt = dp$$

$$\int F \cdot dt = p_2 - p_1, \text{ of}$$

$$p_1 + \int F \cdot dt = p_2$$



De integraal van $F \cdot dt$ wordt impuls van de kracht F tijdens het overwogen tijdsinterval genoemd. De vergelijking drukt uit dat, wanneer een deeltje een kracht F gedurende een tijdsinterval ondergaat, de definitieve hoeveelheid van beweging p_2 van het deeltje kan worden verkregen door bij de aanvankelijke hoeveelheid van beweging p_1 het impuls van de kracht F toe te voegen.

Wanneer verscheidene krachten op een deeltje inwerken, moeten we het impuls van de resulterende kracht in overweging nemen. We tellen vectorieel alle impulsen van alle deeltjes en de impulsen van alle krachten op. We kunnen dan schrijven:

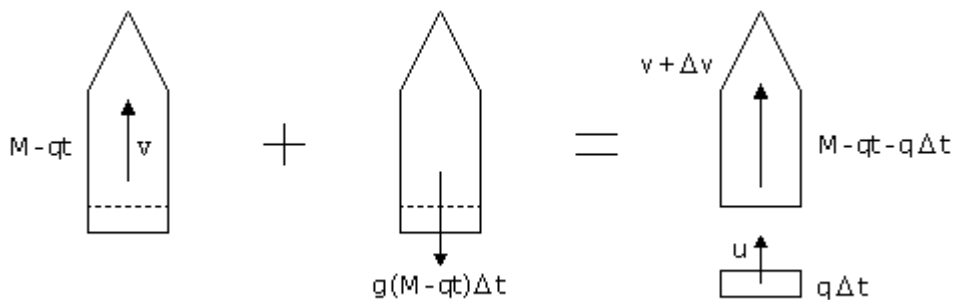
$$p_1 + \sum \int F \cdot dt = p_2$$

Voor een tijdsinterval t , kunnen wij de vergelijking in de vorm schrijven

$$p_1 + \sum (F \cdot \Delta t) = p_2$$

We gaan nu nagaan hoe het principe van impuls en hoeveelheid van beweging op de raketbeweging kan worden toegepast.

Beschouwen we een raket met aanvangsmassa M die verticaal op tijdstip $t_0 = 0$ wordt gelanceerd. De brandstof wordt verbruikt aan een constant tempo q en uitgestoten met een constante (relatieve) snelheid v_e uitgestoten. Op het ogenblik t , is de massa van raket en de resterende brandstof $M - q \cdot t$, en de snelheid is v . Tijdens het tijdsinterval t , wordt een massa van brandstof $q \cdot t$ uitgedreven. Duiden we de absolute snelheid van de uitgedreven en brandstof aan met u , en passen wij het principe van impuls en hoeveelheid van beweging tussen tijd t en tijd $t + \Delta t$. toe. Hierbij zullen we de luchtweerstand niet in beschouwing nemen.



We kunnen schrijven:

$$\begin{aligned}
 p_1 + \sum (F \cdot \Delta t) &= p_2 \\
 \Leftrightarrow (M - qt)v - g(M - qt)\Delta t &= (M - qt - q\Delta t)(v + \Delta v) + q\Delta t u \\
 \Leftrightarrow (M - qt)v - g(M - qt)\Delta t &= (M - qt)(v) - q\Delta t v + M\Delta v - qt\Delta v - q\Delta t \Delta v + q\Delta t u \\
 \Leftrightarrow -g(M - qt)\Delta t &= q\Delta t(u - v - \Delta v) + M\Delta v - qt\Delta v
 \end{aligned}$$

Wij delen door Δt en vervangen $(v + \Delta v)$ - u met v_e (de effectieve snelheid):

$$\begin{aligned}
 -g(M - qt) &= -qv_e + M \frac{\Delta v}{\Delta t} - qt \frac{\Delta v}{\Delta t} \\
 \Leftrightarrow -g(M - qt) &= (M - qt) \frac{\Delta v}{\Delta t} - qv_e
 \end{aligned}$$

Als Δt en Δv naar nul nadert, dan mogen we Δt door dt vervangen en Δv door dv :

$$-g(M - qt) = (M - qt) \left(\frac{dv}{dt} \right) - qv_e$$

Scheidend we de variabelen dan krijgen we:

$$qv_e - g(M - qt) = (M - qt) \left(\frac{dv}{dt} \right)$$

$$\Leftrightarrow \left[\frac{qv_e - g(M - qt)}{(M - qt)} \right] dt = dv$$

$$\Leftrightarrow \left[\frac{qv_e}{(M - qt)} - g \right] dt = dv$$

Integreren we van $t = 0, v = 0$ aan $t = t, v = v$, dan verkrijgen we:

$$\int_0^v dv = \int_0^t \left[\frac{qv_e}{(M - qt)} - g \right] dt$$

$$\Leftrightarrow [v]_0^v = qv_e \int_0^t \left[\frac{1}{(M - qt)} \right] dt + \int_0^t [-g] dt \quad \begin{array}{l} \text{Stel } M - qt = u \\ -qdt = du \\ dt = du - q \end{array}$$

$$\Leftrightarrow [v]_0^v = v_e \int_0^t \left[\frac{1}{u} \right] dt + [-gt]_0^t$$

$$\Leftrightarrow v = v_e \ln u - gt$$

$$\Leftrightarrow v = v_e \ln \left[\frac{M_0}{M_0 - qt} \right] - gt$$

De term $-gt$ in de vergelijking is het resultaat van de gravitatie kracht van de aarde op de raket. Voor een raket in ruimte, is $-gt$ niet van toepassing en kan worden weggelaten. De resulterende snelheid drukken we uit in een verandering in snelheid, of Δv , zo wordt de vergelijking:

$$\Delta v = v_e \cdot \ln \left[\frac{M_0}{M_0 - qt} \right]$$

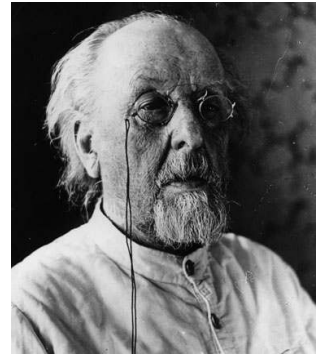
We kunnen dus ook schrijven:

$$\begin{aligned} M_0 - qt &= M_0 \cdot e^{-(\Delta v/v_e)} \\ M_0 &= [M - qt] \cdot e^{(\Delta v/v_e)} \end{aligned}$$

Merk op dat M de aanvankelijke massa van de raket en $M - qt$ de raket massa op ogenblik t is. De maximum snelheid wordt bereikt wanneer de stuwstof van de raket volledig is opgebrand de formule wordt dan:

$$v_{\max} = v_e \cdot \ln \left[\frac{M_0}{m} \right]$$

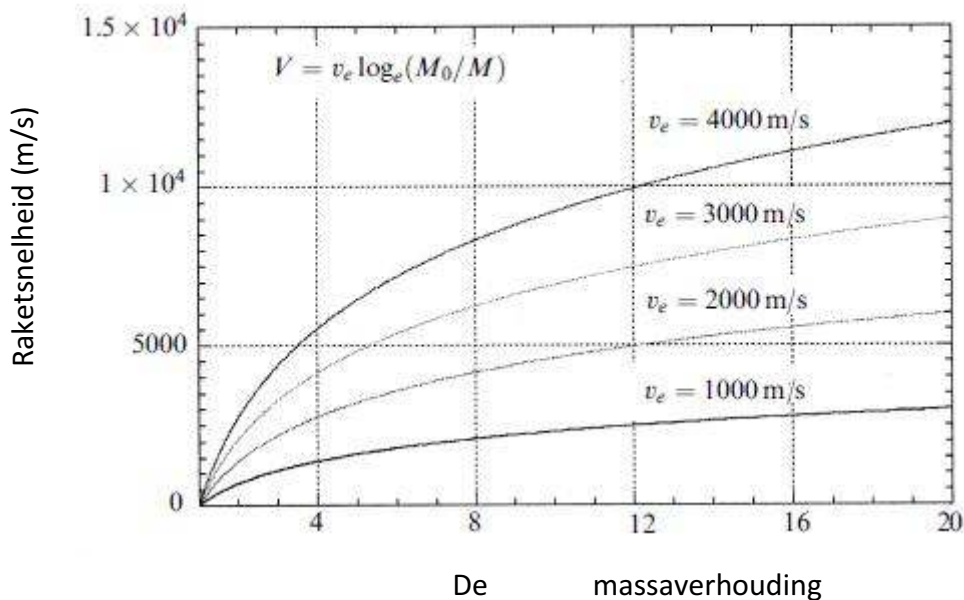
De factor M_0/m wordt de massaverhouding genoemd die ook geschreven wordt als R . Deze vergelijking wordt ook de raketformule van Tsiolkovsky genoemd, naar de Russische raketpionier Konstantin E. Tsiolkovsky (1857-1935) die deze vergelijking als eerste afleidde. In praktische toepassingen wordt de veranderlijke v_e gewoonlijk vervangen door de effectieve uitlaatgassnelheid, C .



$$\Delta v = C \cdot \ln R$$

Het moment wanneer de raketsnelheid de uitlaatsnelheid overschrijdt is wanneer de massaverhouding gelijk wordt aan het getal $e = 2,718\dots$

De raketsnelheid in functie van de massaverhouding geeft onderstaande grafiek weer.



Voor vele ruimtevaartuigmanoeuvres is het noodzakelijk om de duur van een motorbranding te berekenen die vereist is om een specifieke verandering in snelheid te bereiken. Deze kan berekend worden met:

$$\begin{aligned}
 M - qt &= M_o \cdot e^{-(\Delta v/v_e)} \\
 -qt &= M_o \cdot e^{-(\Delta v/v_e)} - M_o \\
 \Leftrightarrow -qt &= M_o \left[\frac{1}{e^{(\Delta v/v_e)}} - 1 \right] \\
 \Leftrightarrow t &= \frac{m_{\ddot{a}}}{q} \left[1 - \frac{1}{e^{(\Delta v/v_e)}} \right]
 \end{aligned}$$

5.5.3. Snelheid van de ééntrapraket

Nu kunnen we de formule van de massaverhouding toepassen op de ééntrapraket en de meertrapsraket. Voor de ééntrapraket wordt de formule:

$$R_0 = \frac{M_S + M_F + M_P}{M_S + M_p}$$

Waarbij:

M_F de massa van de vloeibare of vaste brandstof.

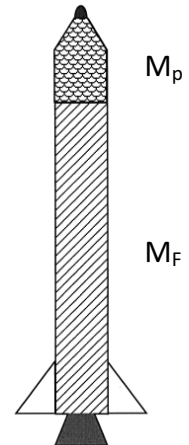
M_p de massa van de payload.

M_s de structuur massa is de massa van de motoren, de turbo-pomps, enz.

De kunnen we de snelheid van een eentrapraket bepalen via de formule van Tsiolkovsky:

$$V_0 = v_e \log_e R_0$$

$$\Leftrightarrow V_0 = v_e \log_e \frac{M_S + M_F + M_P}{M_S + M_p}$$



5.5.4. Snelheid van een meertrapsraket

Om de formule te bepalen bij een meertrapsraket gaan we als voorbeeld een tweetrapsraket nemen. De twee trappen hebben elk de helft van de brandstof en ze zijn boven elkaar gemonteerd. Wanneer de eerste trap volledig is opgebrand kan de massaverhouding geschreven worden als volgt:

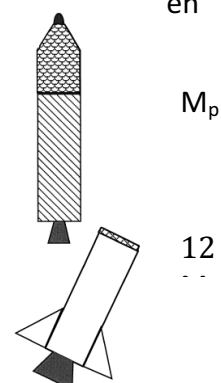
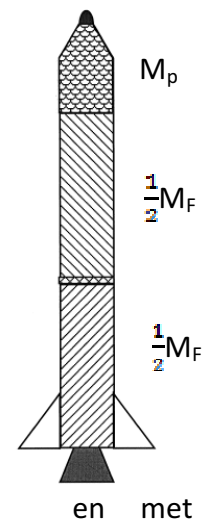
$$R_1 = \frac{M_S + M_F + M_P}{M_S + \frac{1}{2}M_F + M_p}$$

Hierbij is de massa van M_F nu de helft van de M_F bij de eentrapraket. Nu valt de trap af en de tweede trap wordt in werking gebracht. Hierbij krijgt die 2^e trap een versnelling gedefinieerd door:

$$R_2 = \frac{\frac{1}{2}M_S + \frac{1}{2}M_F + M_P}{M_S + M_p}$$

Hierbij werkt de bovenste raket met de helft van de structuurmassa doordat de eerste trap weggevallen is en met de helft van de brandstofmassa en het eindigt met de helft van de structuurmassa de massa van de payload.

Nu we de afzonderlijke massaverhoudingen kennen kunnen we de uiteindelijke snelheid schrijven als de som van de snelheden geproduceerd door de twee trappen.



$$\begin{aligned}
 V &= (v_e \log_e R_1) + (v_e \log_e R_2) \\
 &= (v_e \log_e \frac{MS+MF+MP}{MS+\frac{1}{2}MF+MP}) + (v_e \log_e \frac{\frac{1}{2}MS+\frac{1}{2}MF+MP}{MS+MP}) \\
 &= (v_e \log_e) (\frac{MS+MF+MP}{MS+\frac{1}{2}MF+MP} + \frac{\frac{1}{2}MS+\frac{1}{2}MF+MP}{MS+MP}) \quad \frac{1}{2}M_s
 \end{aligned}$$

Nu kunnen we zeggen dat wanneer een trap afvalt de massa van de draagraket kleiner wordt. Daardoor krijgen de opeenvolgende trappen een versnelling. Dus is $V > v_0$ waaruit blijkt dat het gebruik van meertrapsraketten effectiever zijn dan het gebruik van de eentrapraket.

We nemen een voorbeeld om deze formules te verduidelijken, gebruiken we een raket met totale massa 100 ton en die een payload draagt van 1 ton. De structuur massa is 10% van de brandstof massa. De uitlaatsnelheid is gelijk aan 2700 m/s

Gegeven: $M_{\text{tot}} = 100$ ton

$$M_s = 10 \text{ ton}$$

$$M_p = 1 \text{ ton}$$

Gevraagd: de raketsnelheid

Oplossing:

*de massa van de brandstof:

$$M_{\text{tot}} = M_s + M_p + M_F$$

$$\Leftrightarrow M_F = M_{\text{tot}} - M_s - M_p$$

$$\Leftrightarrow = 100 - 1 - 10 = 89$$

*de snelheid van eentrapraket:

$$V_0 = v_e \log_e \frac{MS+MF+MP}{MS+M_p} = 2700 \log_e \frac{10+89+1}{10+1} = 5,959 \text{ m/s}$$

* Wanneer we de raket verdelen in twee trappen dan wordt de snelheid van de eerste trap gelijk aan:

$$V_1 = v_e \log_e \frac{MS+MF+MP}{MS+M_p+\frac{1}{2}MF} = 2700 \log_e \frac{10+89+1}{10+1+44,5} = 1,590 \text{ m/s}$$

*De snelheid van de tweede trap wordt dan:

$$V_2 = v_e \log_e \frac{\frac{1}{2}MS+\frac{1}{2}MF+MP}{\frac{1}{2}MS+M_p} = 2700 \log_e \frac{5+44,5+1}{5+1} = 5,752 \text{ m/s}$$

*De totale snelheid wordt dan de vectoriele som van de afzonderlijke snelheden van de trappen:

$$V = v_1 + v_2 = 1,590 \text{ m/s} + 5,752 \text{ m/s} = 7,342 \text{ m/s}$$

*Besluit: via het voorbeeld wordt nog maar eens duidelijker dat het gebruik van meertrapsraketten effectiever is dan het gebruik van ééntrapsraketten.

5.6. Optimalisering van de multistage raket

Het voorbeeld hierboven gaat uit van een gelijke verdeling van de brandstof tussen de twee trappen, de vraag is nu, is dit de optimale verhouding?

De payloadverhouding ook ladingverhouding genoemd van een enkele trap wordt gegeven door:

$$L = \frac{M_P}{M_S + M_F}$$

De structurele verhouding is gedefinieerd als:

$$\sigma = \frac{M_S}{M_F + M_S}$$

De ladingverhouding, L , is de verhouding van de massa van de payload met de massa van de rest van de raket. De lading verhouding is natuurlijk een maatregel voor het nut van de raket. De structurele verhouding σ , is de verhouding van de structurele massa met de totale massa van de brandstof en de structuur massa (die is, de massa van de raket, met uitzondering de lading). De structurele verhouding is een maat voor het optimaliseren van het engineeringontwerp. Zware motoren, of stuwstoftanks die dickere muren nodig hebben, zullen voor een afname van de massaverhouding zorgen.

De twee variabelen in functie van R krijgen we door gebruik te maken van de formule:

$$R = \frac{M_P + M_S + M_F}{M_P + M_S}$$

$$\Leftrightarrow R = \frac{M_P}{M_P + M_S} + \frac{M_S + M_F}{M_P + M_S} \quad \text{met } L = \frac{M_P}{M_S + M_F}$$

$$\sigma = \frac{M_S}{M_S + M_F}$$

$$\Leftrightarrow R = \frac{M_P}{M_P + M_S} + \frac{1}{L + \sigma} \quad \text{met } L + \sigma = \frac{M_P + M_S}{M_S + M_F}$$

$$\Leftrightarrow R = \frac{M_P}{M_P + M_S} \frac{M_S + M_F}{M_S + M_F} + \frac{1}{L + \sigma}$$

$$\Leftrightarrow R = \frac{M_P}{M_S + M_F} \frac{M_S + M_F}{M_P + M_S} + \frac{1}{L + \sigma}$$

$$\Leftrightarrow R = \frac{L}{L + \sigma} + \frac{1}{L + \sigma}$$

$$\Leftrightarrow R = \frac{L + 1}{L + \sigma}$$

Het kan worden opgemaakt dat L en σ hetzelfde moeten zijn bij elke trap om voor optimale prestaties te zorgen. Hieruit kan afgeleid worden dat de massaverhoudingen hetzelfde moeten zijn voor elke fase. De payload voor de eerste trap is gelijk aan de totale massa van de tweede en derde trap, en de payload voor de tweede fase is de derde fase,

zo zien we dat lagere fasen een groter deel van de brandstof bezitten dan de bovenliggende fasen.

5.7. De raketmotor

Een raket werkt net als een auto met een brandbare vloeistof die naar een verbrandingskamer gepompt wordt en daar tot ontploffing wordt gebracht. Door de ontploffing ontstaat er druk. In een automotor wordt er door die druk een as in beweging gebracht, waardoor de wielen gaan draaien. Bij een raket gebeurt er iets anders.

De verbrandingskamer van een raket heeft aan de onderkant een gat, waardoor er druk kan ontsnappen. Als er geen gat in de onderkant zat en hij dus helemaal dicht zou zijn, zou er niets gebeuren. De moleculen zouden tegen de zijkant “botsen” maar doordat er op elke kant evenveel druk zou staan, zou er niets gebeuren. Op de onderkant staat geen druk want de moleculen kunnen nergens tegenaan “botsen”. Op de bovenkant staat echter nog wel druk, waardoor er meer druk omhoog is, dan naar beneden. Hierdoor gaat de raket omhoog.

Er worden twee verschillende raketmotoren gebruikt in de ruimtevaart: met vloeibare stuwstof (stuwstof = brandstof) en met vaste stuwstof.

5.7.1. Optimalisering van de raketmotor

Het verhogen van het aantal trappen hoger dan drie is niet efficiënt. Viertrapsraketten zijn gebouwd maar de winst in snelheid is niet zo groot als de winst tijdens het verplaatsen van twee of drie trappen. Het nadeel is de kosten en complexiteit van extra fasen. Elke fase heeft dan zijn eigen motoren, brandstofpompen en begeleidingsysteem. Een meertraps is dus duurder dan een eentrapsraket, en er is meer dat mis kan gaan. In het ander opzicht geeft de meertrapsraket echter wel een belangrijk pluspunt, elke trap kan een ander type motor gebruiken naargelang de functie van de trap.

Een raket in de lagere atmosfeer werkt zeer verschillend met die van in het vacuüm. In de eerste fasen is de atmosferische druk hoog en deze beïnvloedt de prestaties van de raket. Atmosferische luchtweerstand en andere aerodynamische effecten zijn ook sterk in de lagere atmosfeer. In de ruimte worden de motoren in het vacuüm niet beïnvloed door deze effecten.

De meertrapsraket biedt een ideale oplossing voor het dilemma: de eerste trap kan worden ontwikkeld voor de beste prestaties in de lagere atmosfeer, terwijl de bovenste fasen ontwikkeld zijn voor in het vacuüm. Dit geldt ook voor de lengte van de pijp en voor het type brandstof. De eerste trap moet dus ontwikkeld worden zodat het een hoge stuwkracht levert omwille dat het de gehele massa van de meertrapsraket moet kunnen liften maar dan kunnen er geen hoge snelheid bereikt worden vanwege de ongunstige massaverhouding. Deze vereisten suggereren voor het gebruik van grote motoren die hoge stuwkrachten produceren. De bovenste trappen zijn lichter en hebben minder stuwkracht. Op deze trappen werken geen zwaartekrachten meer in en er kan dus kleinere motoren gebruikt worden.

5.7.2. Strap-on booster

De drietrapsraket met als voorbeeld de Saturnus V is vrij snel uitgegroeid tot een tweetrapsraket met strap-on boosters. Deze techniek werd door de Russen bedacht zodat de boosters voor de nodige stuwkracht zorgen. Bij de eerste trap kan de stuwkracht worden gewijzigd om rekening te houden met een grotere lading. Boosters gebruiken meestal vaste brandstoffen maar vloeibare brandstoffen worden ook gebruikt.

Deze techniek is een variant op multi staging, en de berekeningen van de snelheid worden op dezelfde manier toegepast. Boosters kunnen worden gebruikt ter verbetering van de prestaties van een drietrapsraket.

Wanneer de brandstof is uitgeput, worden de boosters gescheiden van de raket door het afvuren van explosieve bouten. Het is belangrijk dat de boosters niet botsen met een deel van de raket tijdens de scheiding. Tijdens deze periode worden de twee delen in wezen gewichtloos en ze bezitten elk een kleine relatieve snelheid en dit kan leiden tot een botsing.

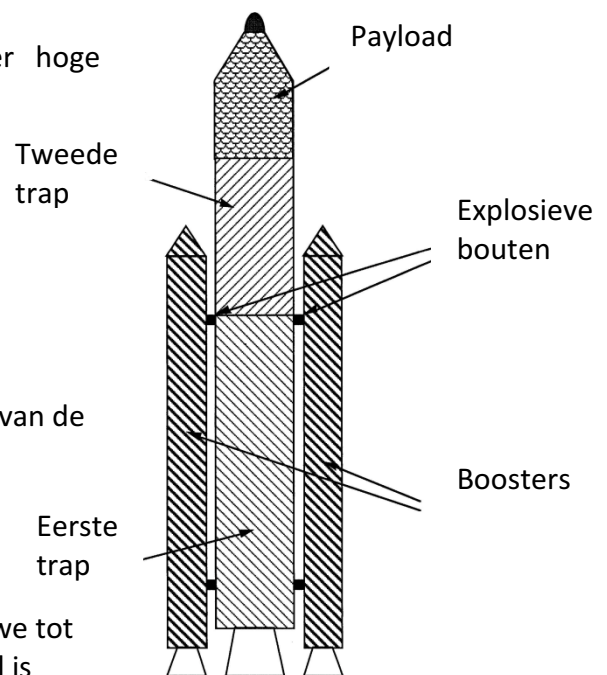
Boosters hebben over het algemeen een zeer hoge stuwkracht, en dus een grote massastroom.

$$R = \frac{M_B + M_{s1} + M_{sB} + M_P}{M_{sB} + (M_1 - m_{sB}) + M_2 + M_P}$$

$$M = \text{massastroom} = \frac{M_1 - M_{s1}}{t_1}$$

Waarin:

- ❖ B verwijst naar de boosters
- ❖ S1 en sB verwijzen naar de droge massa van de eerste trap en boosters
- ❖ t1 de brand duur van de eerste trap

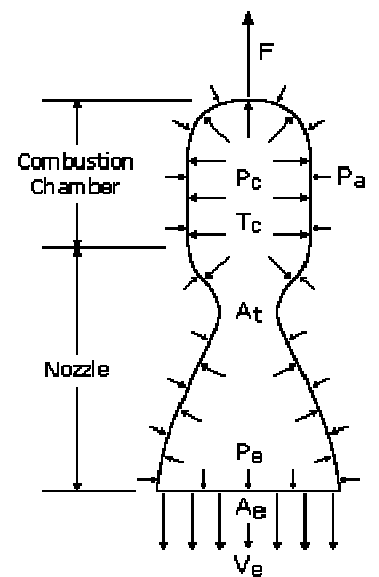


Er is nog een finaal onderdeel van de raket dat we tot dusver nog niet genoemd hebben. De neuskegel is nodig bij het begin van de strijd om de lading te beschermen tegen atmosferische krachten. Op lage hoogten zijn dat de zwaartekracht en de atmosferische luchtweerstand, deze ervaren ook de vliegtuigen. De snelle beweging van de lucht langs de neus van de raket leidt nu tot verwarming. Al deze effecten zullen schade toebrengen aan de lading. Aldus worden alle draagraketten gebouwd met een neuskegel om de lading te beschermen. De satelliet of ruimtevaartuig is in feite stevig vastgemaakt aan de bovenkant van de laatste trap en de neuskegel is erom gemonteerd. Het ontwerp van de neuskegel vereist dat het een lage massa moet hebben, en dat het in staat moet zijn om de verwarming en de aerodynamische effecten van hoge snelheden te weerstaan.

5.8. De vloeibare brandstofraket

5.8.1. Hoe produceert een motor stuwkracht

Uit de formules kunnen we afleiden dat een motor van een raket stuwkracht produceert door twee zaken : enerzijds de druk van de verbranding in de verbrandingskamer en anderzijds de grootte van de massastroom van de stuwstoffen. Door een hogere druk in de verbrandingskamer te creëren verhoog je de snelheid aan het einde van de straalpijp. Het is logisch dat een grotere uitstroomsnelheid aan het eind van de straalpijp zorgt voor een grotere snelheid van de raket. Daarnaast heb je ook een voldoende grote massastroom nodig want een raket produceert stuwkracht door de uitgestoten massa.

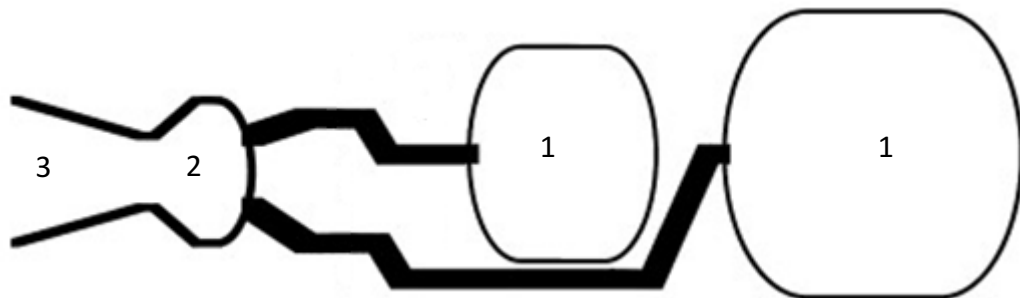


Figuur 23 Krachtwerking in de verbrandingskamer en straalpijp

5.8.2. Onderdelen van de vloeibare brandstofmotor

Hoofdzakelijk bestaat een vloeibare brandstofmotor uit drie delen:

1. Voorraadtank voor brandstof en oxidant
2. Verbrandingskamer
3. Straalpijp



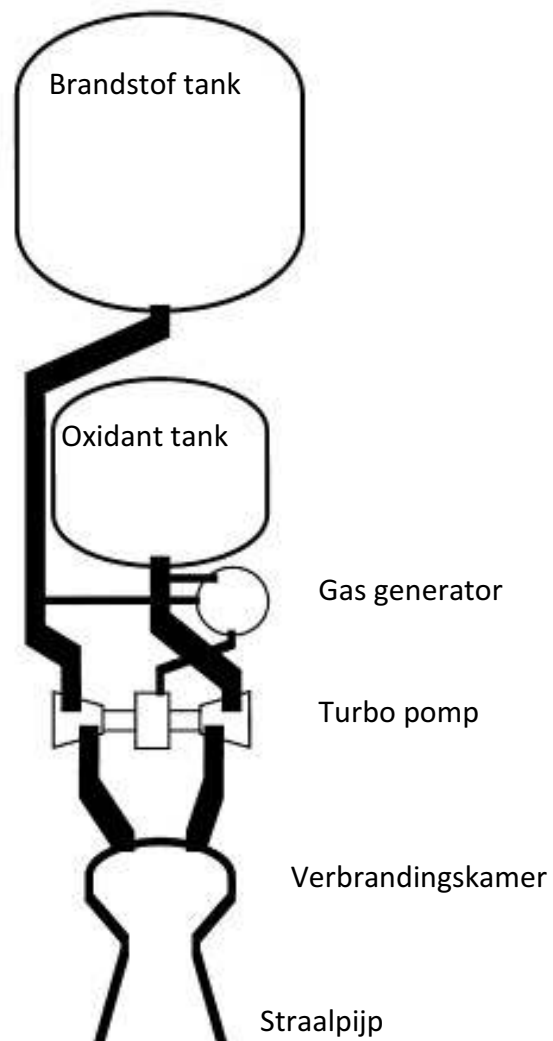
Figuur 24 Schema

Het meest eenvoudige voorbeeld van een vloeibare brandstofraket is een raket die bestaat uit twee onder druk geplateerde tanks met respectievelijk brandstof en oxidant. Deze tanks staan in verbinding met de verbrandingskamer waar brandstof en oxidant zich vermengen en verbranden. Het spreekt voor zich dat de druk in de tanks hoger moet zijn dan die in de verbrandingskamer zodat brandstof en oxidant niet terug in de tanks worden geduwd door de druk die ontstaat tijdens het verbranden. Deze verbrande gassen gaan vervolgens naar de straalpijp waar ze door expansie een stuwkracht ontwikkelen.

Nadelen van deze motor zijn dat de tanks een zeer dikke wand moeten hebben, om niet te bezwijken onder de hoge druk, waardoor het gewicht sterk toeneemt en dus de eindsnelheid lager is.

Dit soort motor is dus enkel geschikt voor een trap van een raket als deze reeds in de ruimte is.

Daarom opteert men meestal voor een raket met een turbopomp, die is aangedreven door een gasgenerator. De gasgenerator is simpelweg een turbine die aangedreven is door de uitlaatgassen.



Figuur 25 Schematische voorstelling van een vloeibare brandstof motor

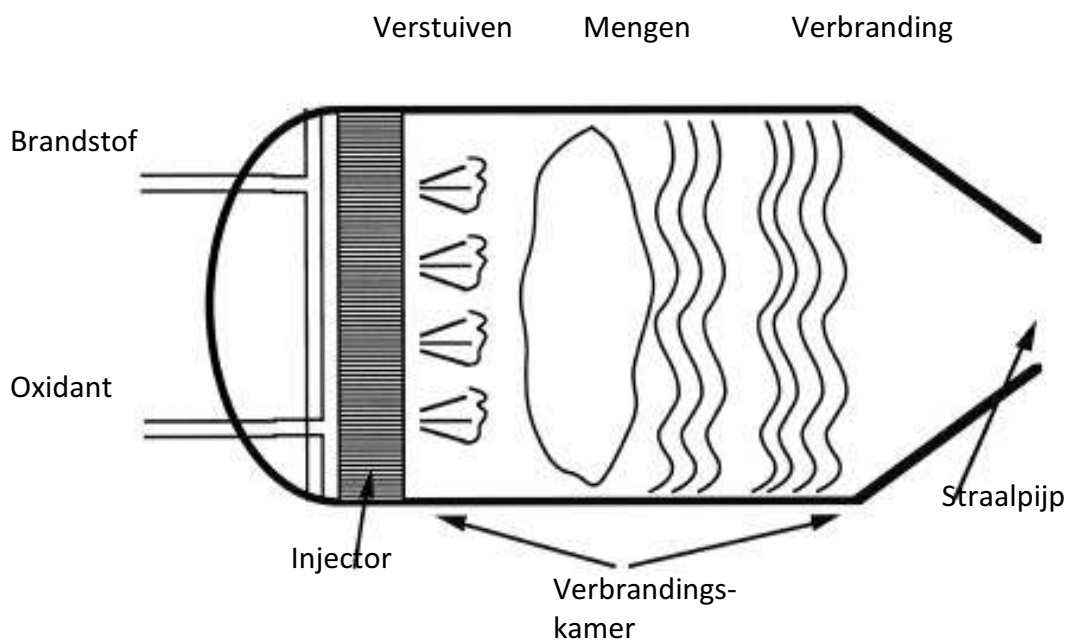
5.8.3. Opbouw van de verbrandingskamer

De straalpijp en verbrandingskamer zijn de belangrijkste onderdelen van een raketmotor want hierin wordt de druk en dus ook de stuwkracht ontwikkeld.

In de verbrandingskamer zit de injector waardoor de brandstof en oxidant de verbrandingskamer binnen treden. De injector zorgt ook voor de verstuiving en het mengen van oxidant en brandstof waarna deze verder in de kamer verbranden en naar de straalpijp gaan.

De verbrandingskamer is zodanig ontwikkeld dat brandstof en oxidant vernevelen en efficiënt mengen zodat de verbranding zonder opstoten verloopt.

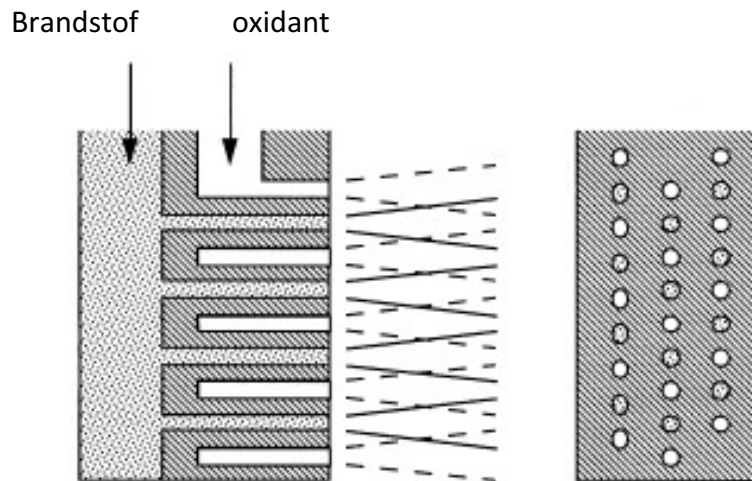
De injector moet zorgen dat de brandstof en oxidant verstuiven en vervolgens mengen. Dit lukt door brandstof en oxidant van een hoge druk en een lagere volumestroom naar een lage druk en hoge volumestroom te laten expanderen.



Figuur 26 Injectie en verbranding bij de vloeibare brandstof motor

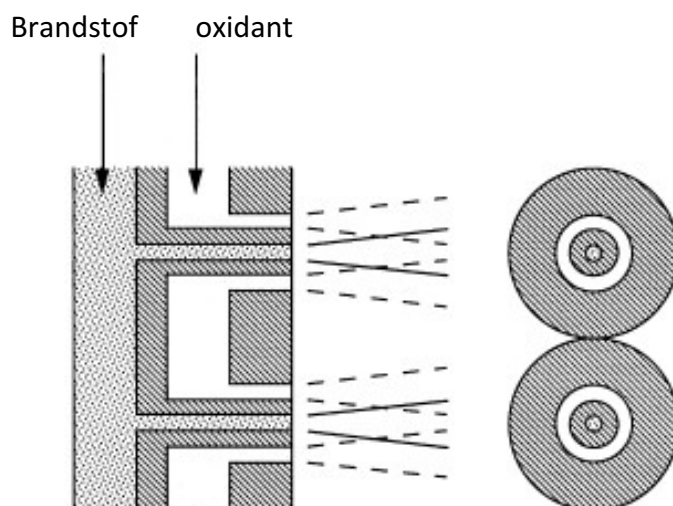
5.8.4. Doel van de Injector

Het spreekt voor zich dat de injector aangepast moet worden aan de gebruikte brandstof en oxidant. Er bestaan verschillende types injectoren die elk geschikt zijn voor bepaalde combinaties van brandstoffen met oxidanten. Het simpelste type is een parallel injector die je kan vergelijken met een douchekop met een beurtelingse invoer van oxidant en brandstof.



Figuur 5 Parallel injector

Een ander type is de coaxiale injector waar men gebruik maakt van een gat om de brandstof in te spuiten en daarnaast een ringvormige opening met zelfde middelpunt, (vandaar axiale injector,) om de oxidator in te spuiten.



Figuur 6 Coaxiale injector

5.8.5. Ontsteking

Het grootste deel van de motoren moet maar één keer worden gestart. Maar de mogelijkheid om te herstarten is vereist bij bemande missies.

Een voorbeeld van waar herstarten van de laatste trap motor nodig is, is na een orbitaal of sub-orbitale kust fase waar moet gezorgd worden voor de juiste hoek om een verplaatsing naar een andere orbitaal mogelijk te maken. Doordat reizen in de verdere ruimte alleen mogelijk is door deze manoeuvres wordt het herstarten van raketmotoren een alsmear grotere nood.

Voor motoren die maar één keer moeten starten of vaste brandstofmotoren gebruikt men meestal een pyrotechnisch element als ontsteking. Dit werkt door middel van een draad die opgloeit en zo het materiaal ontsteekt. Het is duidelijk dat deze elementen maar één keer kunnen worden gebruikt. Meestal gebruikt men een vonkgenerator of bougie voor het ontsteken van vloeibare zuurstof of waterstofmotoren. Het probleem bij deze ontstekers is dat een vonk minder energie bevat dan een pyrotechnisch element waardoor er gevaar optreedt dat de motor niet ontstoken wordt. In de hoofdmotor van de space shuttle gebruikt men twee elektrische vonkontstekers. Eén van de ontstekers wordt geplaatst in de verbrandingskamer en de andere in de gasgenerator. Bij de ontstekers in de space shuttle maakt men wel gebruik van een langdurige vonk. Om te voorkomen dat de vonk uitdooft door een groot volume koud gas plaatst men een buisje. Eens het gas in het buisje ontbrandt is de energie groot genoeg om de grote stroom van gassen te laten ontbranden. De meest gebruikte brandstof bij bemande vluchten is de combinatie van N_2O_4 met asymmetrische dimethyl hydrazine. Deze brandstof heeft als voordelen dat ze veilig op te slaan is voor lange duur en vloeibaar is bij kamertemperatuur. Nadelen zijn wel dat de moleculaire massa van deze brandstof laag is en hierdoor ook de specifieke impuls. Het gebruik van brandstoffen met meer specifieke impuls zoals de vloeibare zuurstof met vloeibare waterstof zou een grote verbetering zijn maar het herstarten van deze motoren is niet betrouwbaar genoeg.

5.8.6. Verbrandings instabiliteit

De prestaties van een raket zijn vooral afhankelijk zijn van de combinatie van de brandstof en de opbouw van de straalpijp maar er zijn ook nog andere factoren die het rendement kunnen beïnvloeden.

Je zou kunnen aannemen dat de brandstoffen die je injecteert vervolgens verstuiven, mengen en gelijkmatig verbranden waardoor alle chemische energie omgezet wordt in hitte wat resulteert in een grote uitstroomsnelheid. Dit klopt niet met de werkelijkheid. Raketmotoren kampen met het probleem van trillingen en zelfs resonantie die tot de vernietiging van de motor kan leiden. Zelfs als deze trilling, die het gevolg is van drukschommelingen in de verbranding, niet extreem is, vermindert ze toch het rendement van de motor. Bij het ontwerp van de motoren zal men rekening houden met dit verschijnsel en zal men proberen dit trillen tot een minimum te beperken. Via trial en error (of gissen en vergissen) is een oplossing gevonden en met succes toegepast.

Iedere verbranding geeft kleine schommelingen die leiden tot kleine drukverschillen. Als deze niet zo groot zijn bekomt men een redelijk constante stuwcurve. In het algemeen is een motor goed als deze schommelingen onder de 3 % blijven. De echte oorzaak van het trillen is als deze schommelingen met regelmatige tussenpozen voorkomen en de motor gaat trillen. Als de frequentie gelijk is met de eigen frequentie (resonantiefrequentie) zal de motor alsmear heviger trillen.

Er bestaan drie soorten instabiliteit namelijk:

- laagfrequentie instabiliteit
- middenfrequentie instabiliteit
- hoogfrequentie instabiliteit

5.8.6.1. Laagfrequente instabiliteit of puffen

De naam zegt veel over het type van instabiliteit van de verbranding. De motordruk wijzigt aan een lage frequentie, tot 100 Hz, en maakt een puffend geluid. De oorzaak van de instabiliteit ligt bij een verschil in de toevoer van brandstof waardoor bij een dalende druk meer brandstoftoevoer is en de druk terug verhoogt en er weer minder toevoer van brandstof is en dit een cyclus vormt. In extreme gevallen daalt de druk in de verbrandingskamer zo erg dat de brandstoftoevoer te groot wordt waardoor de motor explodeert. De natuurlijke demping van dit verschijnsel is niet groot of bestaat bijna niet en daarom moet de motor worden aangepast. De aanpassing kan gebeuren door middel van een hogere toevoerdruk aan de injectoren. Deze maatregel vermindert de gevoeligheid tegen over dit verschijnsel en zorgt zo voor een gelijkmatigere toevoer.

Nadelen zijn dat voor een hogere druk sterkere pompen of opslagtanks nodig zijn en zo het gewicht toeneemt waardoor er minder brandstof mee kan. Beide nadelen zorgen voor een minder goede massaverhouding van de raket.

Een andere oplossing kan bestaan in het aanpassen van de injectoren zodat de verstuiving en daardoor het mengen van de brandstof verbetert waardoor er minder schommelingen in de verbranding zijn. In de praktijk zal men de injector enkel aanpassen bij hoogfrequentie instabiliteit. De verbrandingskamer langer maken kan ook een betere verstuiving en menging opleveren maar betekent een ingrijpende verandering van het ontwerp. Hiermee is dit probleem wel opgelost maar zal er hoogstwaarschijnlijk een andere soort van instabiliteit dominant worden. De injector kan hierdoor beginnen buigen en zo de aanvoerdruk van de brandstof wijzigen. Dit kan dan weer voorkomen worden door de injector te versterken met inwendige ribben wat op zijn beurt dan ook terug voor extra massa zorgt. Er kunnen ook trillingen ontstaan in de vloeistofstoom en zo ook in het leidingwerk voor de injector. Dit soort van instabiliteit heeft meestal een hogere frequentie en wordt ook zoemen genoemd.

5.8.6.2. Middenfrequente instabiliteit of zoemen

Middenfrequente instabiliteit heeft een hele reeks mogelijke oorzaken waar het leidingwerk voor de injector meestal de oorzaak is. Hier is de boosdoener de verandering van lokale energie uitstoot die meestal een gevolg is van de harmonische verandering van druk in de verbrandingskamer door een akoestische trilling. Dit probleem van instabiliteit wordt enkel aangepakt als de amplitude van de drukgolven groter is dan 5 % van de totale druk.

5.8.6.3. Hoogfrequentieinstabiliteit

De hoogfrequente instabiliteit is gekenmerkt door zijn schreeuwend geluid. Hoogfrequente instabiliteit wordt veroorzaakt door staande golven in de verbrandingskamer. Deze golven worden veroorzaakt door een variërende verbrandingsenergie. De schade aan de motor wordt meestal veroorzaakt door een verstoring van de laminaire stroming van koud gas langs de binnenwanden van de motor. Dit kan de structuur laten verslappen of zelfs laten smelten.

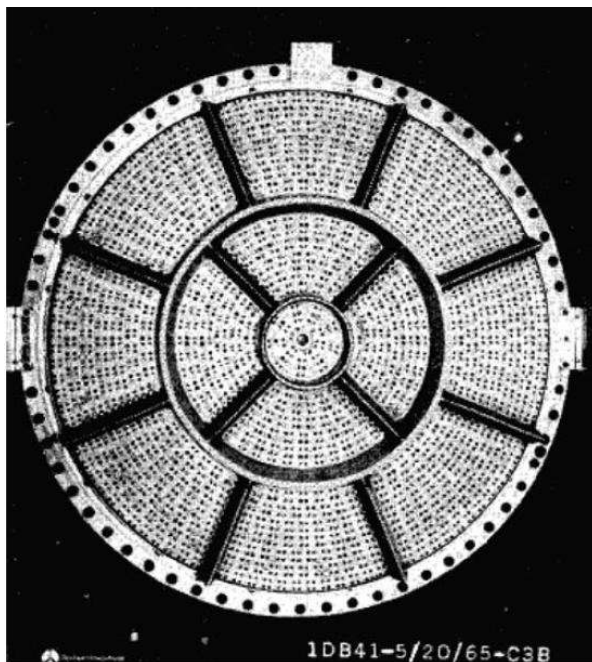
De golven die deze instabiliteit veroorzaken komen voor in twee vormen:

- radiale golven
- tangentiële golven

De radiale golven bestaan uit concentrische ringen rond de as van de kamer.

De tangentiële golven bestaan uit een reeks golffronten die ontstaan in een axiaal vlak van de kamer. De uiteinden van de golven raken de wanden van de kamer in bepaalde punten. In deze punten is de stroom van koude gassen verstoord.

De tangentiële golven kunnen voorkomen in stationaire en roterende vorm.



Figuur 7 Schotten in de Saturnus F-1

Deze instabiliteit is niet gevoelig voor verandering in de toevoerdruk waardoor het aanpassen van het toeleveringsysteem van de brandstof of in de injector geen oplossing biedt.

De oorzaak van het probleem ligt bovenaan in de kamer dicht bij de injectors. De meest gebruikte oplossing voor dit probleem is het gebruik maken van tussenschotten om deze golven te verstoren. Deze schotten wijzen naar beneden en zijn bevestigd aan de injectors. Hun eerste doel is de kamer opdelen in kleinere ruimtes zodat verstuiving en menging beter verloopt en het verschil in verbrandingsenergie verkleint.

Het spreekt voor zich dat ook deze schotten gekoeld moeten worden. Meestal maakt men gebruik van de brandstof als koeling.

Als het niet lukt om de instabiliteit op te lossen door gebruik te maken van schotten, dan moet men er voor zorgen dat de schommeling van verbrandingsenergie geen resonantietrilling veroorzaakt. Dit doet men door speciaal ontworpen kamers te plaatsen in de omtrek van de injectors of op bepaalde plaatsen in de kamer. Door gebruik te maken van deze holtes wordt het ontwerp van deze kamers wel veel complexer.

5.8.7. Besturing van de stuwkracht

Zoals we weten wordt de stuwkracht vooral ontwikkeld in de straalpijp. Deze kracht wordt via de bevestigingen overgebracht op het ruimtetuig. Nu spreekt het voor zich dat deze kracht moet kunnen worden bestuurd. De geschiedenis van de ruimtevaart toont dat het verlies van controle over deze kracht een grote oorzaak van verlies is. Er zijn een paar vereisten aan deze kracht om de vlucht goed te laten verlopen. De kracht moet parallel met de lengteas van de raket lopen tenzij er een koerswijziging nodig is. De eerste besturingen werkten via een gyroscoop en deze raketten worden nog steeds gebruikt. Als de raket van koers raakte werd de relatieve beweging van de gyroscoop elektromagnetisch doorgestuurd om daar een tegenstuwkracht te genereren. De A-4 gebruikte vier grafieten buizen, ook anders genoemd, die in de uitlaatgassenstroom gemonteerd waren om de uitlaatstroom om te leiden. Deze zorgden voor een vermindering in stuwkracht maar een ongecontroleerde motor is nog minder waard. In moderne ruimtetuigen plaatst men flexibele bevestigingen zodat de straalpijp kan worden gedraaid in de gewenste richting. Een ander voorbeeld vindt men in de Mu-raket van de Chinezen. Deze raket is een vaste brandstofraket waar men een koude vloeistof injecteert in de uitlaatgassenstroom om zo de koers te corrigeren. Dit komt omdat de stroom naar de richting waar de koude vloeistof geïnjecteerd werd, afbuigt. Dit principe werkt niet bij de boosters op de space shuttle en de Ariane-5-raket omdat de stuwkracht te groot is. Op deze raketten moest men daarom ook gebruik maken van het principe met flexibele bevestigingen van de straalpijp.

5.8.8. Verdeelsystemen voor brandstof

De meeste raketmotoren gebruiken een turbopomp als verdeelsysteem voor de brandstof. Deze pomp levert de brandstof af aan een hoge constante druk en een constante volumestroom. De pomp wordt aangedreven door een gasgenerator. Dit is een kleine tweede verbrandingskamer met een turbine of een terugloop van het koelsysteem van de motor.

De mengverhouding van de meeste motoren is lang niet 50/50 en dus moet de pomp voor iedere brandstof anders ontworpen worden. De opslagtanks voor de stuwstof moeten dunwandig zijn om dode massa te beperken maar moeten sterk genoeg zijn om druk te weerstaan. De tanks moeten onder druk staan (5 tot 10 Bar) om cavitatie in de pompen te voorkomen. Meestal maakt men gebruik van een hoeveelheid gas die men uit de gasgenerator haalt om zo de tanks onder druk te zetten. De gasgenerator is aangedreven door een deel van de stuwstof. De temperatuur van de verbranding is op zich te hoog en daarom injecteert men water in de gasgenerator om de gassen te koelen zodat de bladen van de turbine niet smelten. Om het rendement van een turbine hoog te houden mag de druk aan de inlaat niet veel verschillen van die aan de uitlaat. Men kan hiervoor een meertrap turbine gebruiken maar deze heeft als nadeel dat ze de massaverhouding naar beneden helpt. Men kan ook gebruik maken van een turbine waar de uitlaat uitmondt in de hoofdverbrandingskamer van de raket. Meestal opteert men voor de laatste mogelijkheid. Er zijn ook nog andere mogelijkheden om de brandstof onder druk te krijgen aan de injectoren zoals de brandstof en oxidant door de koelkanalen van de motor laten gaan zodat deze opwarmen en onder druk komen te staan.

5.8.9. Cavitatie

Cavitatie is een gekend probleem waar leidingen met snelstromende vloeistoffen mee te maken krijgen. Dit verschijnsel komt ook voor in de turbopomp van een raket. Cavitatie komt omdat de druk van de vloeistof aan de oppervlakken zodanig daalt dat de vloeistof verdampt en deze even later als bellen terug ontploffen tegen de wanden waardoor ze deze beschadigen. De enige manier om dit te voorkomen is door de stuwstof al reeds onder druk te plaatsen voor ze in de pomp aankomt. De druk die nodig is om cavitatie te voorkomen in de hoofdpomp moet tussen de 10 en 20 bar liggen afhankelijk van het type brandstof. Deze druk kan worden gecreëerd door het plaatsen van een lage drukpomp voor de hoofdpomp dit kan zelfs op de zelfde aandrijvingsas. Of zoals reeds boven vernoemd door het onder druk plaatsen van de voorraadtanks van de raket.

5.8.10. Koeling van de raketmotor

De meeste verbrandingen halen temperaturen boven de 3000 °C waar de meeste metalen al smelten onder de 2000 °C. Daarom moet een straalpijp gekoeld worden. Er bestaan verschillende manieren om de straalpijp te koelen.

5.8.10.1. Film koeling

Bij deze koeling gebruikt men een hoeveelheid brandstof die langs de wand van de straalpijp gespoten wordt. Die hoeveelheid brandstof vormt een koude laag gas tussen de rand van de straalpijp en de warme gasstroom in de straalpijp. Deze soort koeling is geschikt voor motoren met een lagere verbrandingstemperatuur.

5.8.10.2. Dump koeling

Bij deze koeling zijn de wanden van de straalpijp hol gemaakt en één van de brandstoffen wordt daardoor geloosd. Meestal is dit vloeibare waterstof. Het gas dat ontstaat tijdens het koelen kan op verschillende manieren afgevoerd worden. De simpelste manier is het gas door kleine straalpijpen onderaan de grote straalpijp te laten ontsnappen zodat er extra stuwkracht is, maar de meest effectieve manier is het gas in de verbrandingskamer te injecteren zodat de chemische energie van het gas niet verloren gaat.

5.8.10.3. Regeneratieve koeling

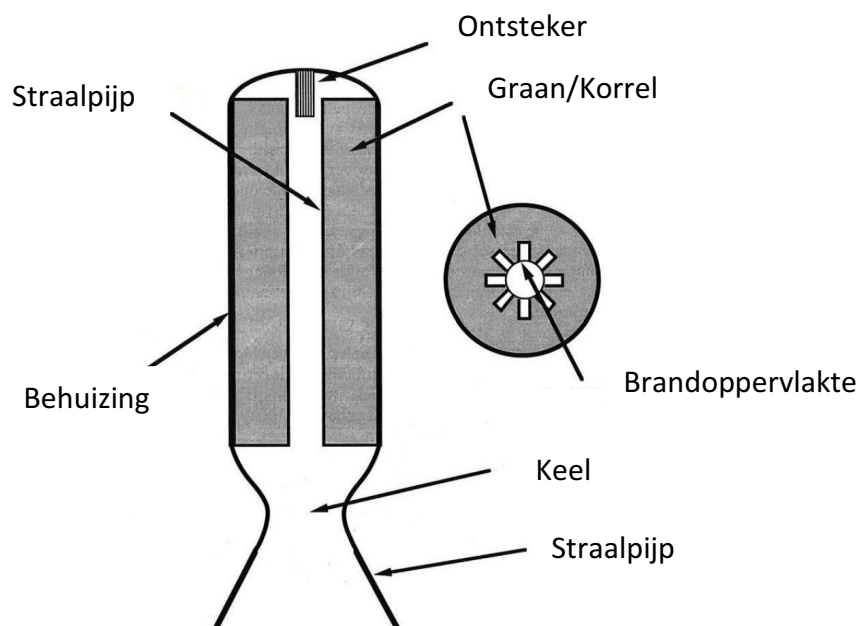
Deze koeling is gebaseerd op de vorige soort koeling met als verschil dat de straalpijp bestaat uit allemaal aan elkaar gelaste buizen waar de brandstof doorstroomt voor ze in de verbrandingskamer terecht komt en zo zorgt voor de koeling van de motor. Dit is de koeling met het grootste rendement maar de motor wordt hierdoor ook wel zwaarder. Men moet dus de goede balans zoeken tussen rendement en extra massa.

5.9. De vaste brandstof raket

Vaste stuwstof motoren zijn het eenvoudigst van alle raketontwerpen. Ze gebruiken vaste stoffen als brandstof. Typische brandstoffen zijn aluminium in poedervorm en ammoniumperchloraat als oxidator. Een synthetisch bindmiddel (rubber) zoals polybutadieen houdt de brandstof en oxidator samen. Vaste stuwstof motoren bestaan uit een omhulsel, dat met een mengsel van vaste brandstof en oxidator is gevuld. De gevormde verbrandingsgassen worden door een straalpijp versneld om stuwkracht te leveren. Wanneer aangestoken, verbrandt de brandstof vanuit het centrum naar de buitenkant van het brandstofblok. De vorm van het centrumkanaal bepaalt de verbrandingssnelheid. In tegenstelling tot vloeibare stuwstof motoren, kunnen de vaste stuwstof motoren niet worden gestopt. Zodra aangestoken, zullen zij branden tot al brandstof verbruikt is. Omwille van de lagere prestaties dan een vloeibare stuwstof raketten krijgt dit motortype soms de voorkeur vanwege zijn eenvoud.

5.9.1. Opbouw van de vaste brandstofmotor

Thermodynamisch is een vaste brandstofmotor gelijk aan een vloeibare brandstofmotor. Het hete gas wordt geproduceerd door de verbranding van het graan ook korrel of lading genoemd van de vaste brandstofblok. De figuur hieronder toont een typische configuratie van de vaste brandstofmotor. In vergelijking met de vloeibare brandstof raket is de verbrandingskamer heel eenvoudig. Het bestaat uit een behuizing voor de voortbeweging, die sluit met een straalpijp die hetzelfde is van vorm zoals de vloeibare brandstofmotor raket. Vloeibare en gasvormige brandstoffen kunnen door leidingen naar een verbrandingskamer worden geleid, met vaste brandstoffen gaat dit uiteraard niet. Daarom bevindt alle beschikbare brandstof zich al in de verbrandingskamer, ook motorhuis genoemd. In het hart van de brandstof is een uitsparing die fungeert als verbrandingskamer. Aan de onderzijde wordt de huls afgesloten met een straalpijp.



5.9.2. Werking

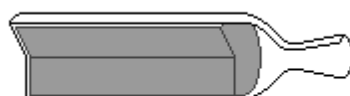
Een ontsteker zorgt voor de initiële reactie die de vaste brandstof doet ontbranden. Doordat alle chemicaliën voor de propellant aanwezig zijn, kan de motor niet meer worden gestopt. De werking houdt pas op wanneer er geen propellant meer over is of met andere woorden zodra de binnenkant van de korrel wordt ontstoken, produceert de motor continu stuwkracht totdat de brandstof is uitgeput. Bij het verbranden van de brandstof ontstaan hete uitlaatgassen onder hoge druk. Deze verlaten de motor via de straalpijp. Hierdoor ontstaat een kracht in de tegenovergestelde richting (actie = reactie). Door te variëren met de vorm van de brandstof, de vorm van de straalpijp en de samenstelling van de brandstof kunnen de stuwkracht en de duur van de werking vooraf nauwkeurig worden ontworpen. Elk type brandstof heeft andere eigenschappen, de eigenschappen zoals brandduur en specifieke impuls (isp) worden bepaald door de keuze van de oxidator(ren) en de reductor(ren).

5.9.3. Chemische werking en samenstelling

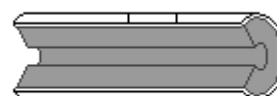
Voor een chemische redox-reactie is een oxidator en een te verbranden stof nodig (reductor). Doorgaans is de oxidator zuurstof uit de lucht maar omdat het zaakje afgesloten is moet die worden toegevoegd aan de propellant. De oxidator bestaat meestal uit ammoniumperchloraat, ammoniumnitraat, kaliumchloraat, kaliumperchloraat of kaliumnitraat. Ook wordt soms een katalysator toegevoegd die de snelheid van de verbranding bepaalt. Als brandstof worden meestal gebruikt: zwavel, aluminiumpoeder, koolstof (houtschool), magnesium. Eventueel een brandbaar bindend polymeer zoals HTPB, polyuethaan of chloropreen zorgt ervoor dat brandstof een veel hogere dichtheid krijgt.

5.9.4. Vormgeving van de vaste brandstof

De druk in de kamer, en dus de stuwkracht, hangt af van de mate waarin het graan wordt verbruikt. De vormgeving van het vaste brandstofblok bepaalt het oppervlak dat ontbrandt en daardoor ook het drukverloop tijdens de verbranding. Er zijn twee belangrijke types van vaste brandstofblokken die in de ruimte gebruikt worden. Beide types brandstofblokken worden cilindrisch uitgevoerd. Het eerste type is een massieve cilinder met als verbrandingszone de cirkelvormige voorzijde. Dit type verbrandt van voor naar achter. Deze zogenaamde sigaretbrander heeft een constant brandoppervlak en dus een constante stuwkracht. Het tweede type is een holle cilinder met als verbrandingszone het intern oppervlak. Dit type verbrandt van binnen naar buiten. Bij het tweede type neemt het brandoppervlak gestaag toe en dus ook de stuwkracht. Daarom gaat men meestal over tot een stervormig brandoppervlak om een zo constant mogelijk brandoppervlak te bekomen.

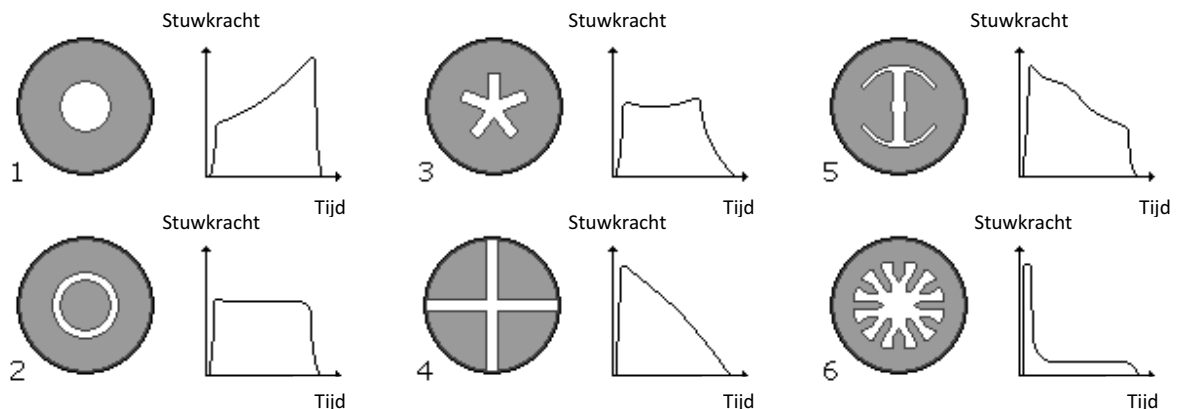


Type1



Type2

De vorm van de verbrandingsholte wordt gekozen in functie van de opdracht die de raket moet uitvoeren



De brandstofblokken met een cilindrisch kanaal (1) ontwikkelen een progressief toenemende stuwkracht. Deze met een buisvormig kanaal (2) hebben een vrij constante stuwkracht, die zeer snel tot nul vermindert wanneer de brandstof uitgeput geraakt. Het vijfpuntig sterprofiel (3) ontwikkelt een vrij constante stuwkracht die bij uitputting van de brandstof langzaam tot nul vermindert. Het kruisprofiel (4) veroorzaakt een progressieve vermindering van de stuwkracht. Brandstofblokken met een dubbele anchor profiel (5) hebben een dalende stuwkracht die snel afneemt bij het eind van de verbranding. Het cog-profiel (6) veroorzaakt eerst een sterke stuwkracht daarna een bijna constante lagere stuwkracht.

5.9.5. Soorten vaste brandstoffen

Er zijn twee soorten van vaste raketbrandstoffen: homogeen en samengesteld. Beide types zijn dicht, stabiel, en gemakkelijk op te slaan bij gewone temperaturen.

5.9.6. De homogene vaste brandstoffen

De homogene brandstoffen zijn enkelvoudig of tweevoudig. Een eenvoudige brandstof bestaat uit één enkele samenstelling, gewoonlijk cellulosenitraat, dat zowel een oxiderende als reducerende capaciteit heeft. De dubbele basisbrandstoffen bestaan gewoonlijk uit cellulosenitraat en nitroglycerol, waaraan een plastificeermiddel wordt toegevoegd. De homogene brandstoffen hebben gewoonlijk geen specifieke impulsen groter dan ongeveer 210 seconden in de normale omstandigheden. Hun voornaamste eigenschappen zijn dat ze geen waarneembare rook produceren. Daarom worden ze vaak toegepast in tactische wapens. Zij worden ook vaak gebruikt om hulpfuncties uit te oefenen zoals het overboord gooien van gebruikte delen of het scheiden van de één trap van een andere.

5.9.7. De samengestelde vaste brandstoffen

De moderne samengestelde brandstoffen zijn heterogeen poeder (mengsels) die met een gekristalliseerde of fijn gemalen mineraalzout als oxidator, vaak ammoniumperchloraat, gemengd wordt. Wat ongeveer 60% à 90% van de drijfmassa uitmaakt. De brandstof zelf is over het algemeen aluminium. Het drijfgas wordt samengehouden door een polymeer bindmiddel, gewoonlijk polyurethaan of polybutadienes, dat ook als brandstof wordt gebruikt. In de samenstellingen is soms een katalysator inbegrepen om de verbrandingssnelheid te verhogen, of andere toevoegingen om het poeder gemakkelijker te kunnen vervaardigen. Het bindingsproduct is een rubberachtige substantie met de samenhang van een ebonietgom.

5.9.8. Voor – en nadelen

Het grote nadeel van een vaste brandstofraket is dat hij niet kan worden geregeld. De kracht is vooraf bepaald en eenmaal in werking kan de motor niet worden bijgestuurd. Dat maakt hem ongeschikt voor manoeuvres die grote precisie en/of reageren op externe factoren vereisen. Maar de relatief lage kosten voor de bouw en de grote betrouwbaarheid maken hem bij uitstek geschikt als de eerste trap voor raketten die naar de ruimte worden gelanceerd. Het nadeel bij de bovengenoemde toepassing is dat als op grote hoogte iets fout gaat de gevolgen meestal catastrofaal zijn.

5.9.9. Toepassingen

De vaste stuwstof motoren worden voor uiteenlopende toepassingen gebruikt. Kleine vaste brandstofraketten worden vaak gebruikt als laatste trap, of om een nuttige lading naar hogere banen te tillen. Middelgrote vaste brandstof raketten leveren de extra stuwkracht om satellieten in geostationaire baan of op een planeet baan te plaatsen.

5.10. Praktische realisatie

5.10.1. Doel

Ons doel was een praktische realisatie te vinden bij ons onderwerp over raketmotoren. Toen we naar de raketmotordag in Chimay gingen, zagen we een motorproefstand. Deze proefstand wordt gebruikt om de stuwkracht karakteristiek op te nemen. Deze karakteristiek geeft de kracht in functie van de tijd weer. Onder de curve kunnen we dan het totale impuls berekenen.

5.10.2. Idee

We zullen onze proefstand baseren op het systeem dat we zagen in Chimay. Maar 1 groot verschil is dat we in plaats van een meetelement met rekstrookjes, we gebruik zullen maken van een hydraulische cilinder waar we de druk in de olie zullen meten.

We denken eraan zelf een sensor te kopen met een bereik tot 25 bar die een analogo signaal uitzendt van 0-10 V.

Deze sensor zullen we waarschijnlijk zelf moeten aankopen bij WIKA .

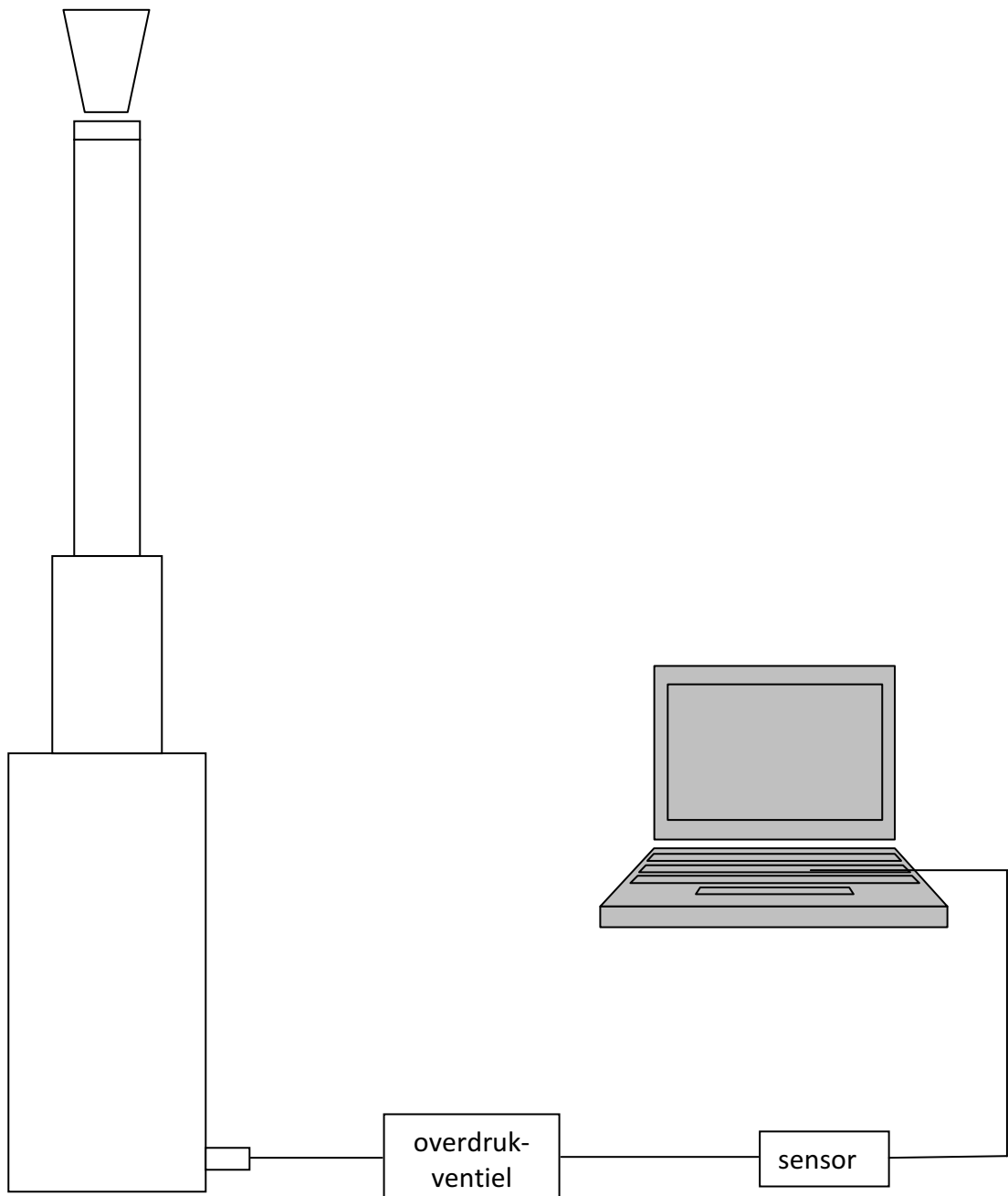
Dit analogo signaal zal dan gedigitaliseerd worden om zo de stuwkrachtcurve te bepalen.

Het oppervlak onder deze curve is dan de totale impuls van de motor.

Als we uitgaan van mogelijke enkelwerkende cilinders is de kleinst mogelijke en ook de beste een cilinder met een stangdiameter van 25 mm en een slag van 100 mm .

Als we uitgaan van een maximale kracht van 1250 N en de cilinder van 25 mm stangdiameter bekommen we door berekening een druk in de olie van 25,46479 bar

5.10.3. Schema werking



5.10.4. Berekening

Geg Diameter 25 mm
Kracht 1250 N

Gevr Druk = ?

Opl

$$p = \frac{F}{A}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{d^2 \times \Pi}{4} \\ &= \frac{0,025^2 \times \Pi}{4} \\ &= 0,0004909 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

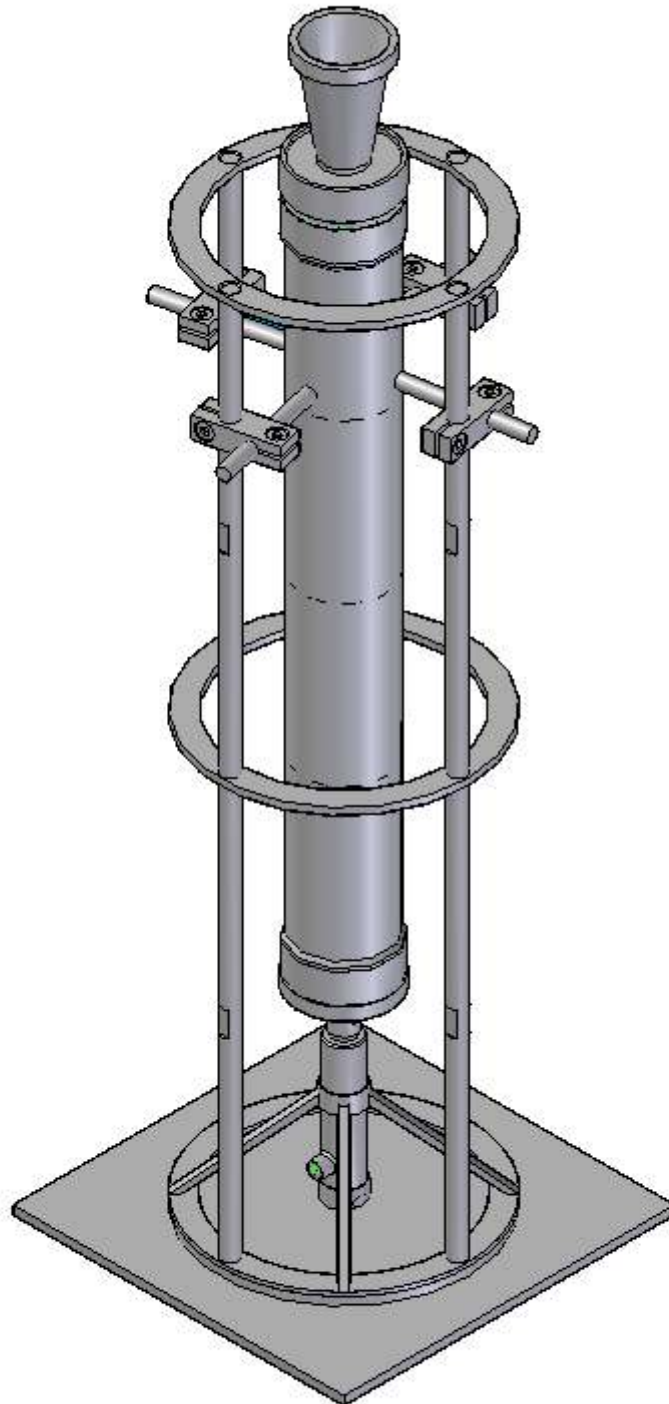
$$\begin{aligned} p &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{1250}{0,000490} \\ &= 2546479 \text{ Pa} \\ &= 25,46479 \text{ Bar} \end{aligned}$$

Nauwkeurigheid sensor : 0,5 %

$$\begin{aligned} p &= 0,3 \% \times 40 \text{ Bar} \\ &= 0,120 \text{ Bar} = 12000 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= P \times A \\ &= 12000 \times 0,0004909 \\ &= 5,8908 \text{ N} \end{aligned}$$

5.10.5. Tekeningen

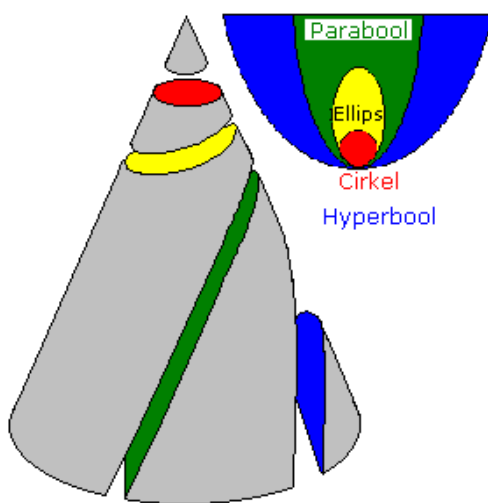


6. Bewegen door de ruimte en interplanetaire banen

6.1. Eigenschappen van kegelsneden

6.1.1. Inleiding

Zoals de benaming het zelf zegt zijn het de kegelsneden die we in dit hoofdstuk gaan bespreken. We beginnen bij een gewone kegel (= een ruimtelijk lichaam met als grondvlak een cirkel, omhoog oploopt en eindigt in één punt. Door het snijden van dit lichaam gaan we verschillende meetkundige figuren bekomen. 4 van deze figuren zullen voor ons een belangrijke rol spelen in de studie van bewegen door de ruimte. De meeste bewegingen zijn dan ook kegelsneden.



Deze tekening geeft de voor ons belangrijkste kegelsneden weer. De cirkel bekomt men door het lichaam evenwijdig met het grondvlak te snijden. De ellips is dan een figuur bekomen door kegel door te snijden, maar niet door het grondvlak. Door de kegel te snijden door het grondvlak, krijgen we de parabool. De hyperbool wordt dan loodrecht door het grondvlak omhoog uitgesneden.

De vergelijkingen kunnen we uitdrukken op verschillende manieren. We kunnen de manier gebruiken die in de wiskunde aangeleerd wordt, maar hiervoor is cartesiaans assenstelsel voor nodig. Wij gaan de zon als referentiepunt kiezen en zo gebruik maken van de zogenaamde brandpuntvergelijkingen en poolcoördinaten. De algemene vergelijking van kegelsneden luidt als volgt:

$$r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cdot \cos\phi}$$

Met:

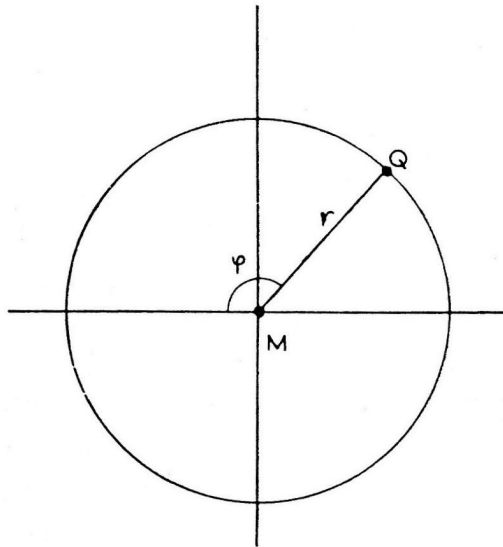
- r = de voerstraal
- p = de "parameter" van de kegelsnede
- ε = de numerieke excentriciteit
- ϕ = de pericentrumhoek

Uit onderzoek kunnen we vaststellen dat:

Voor de cirkel:	$p = r$	$\varepsilon = 0$
Voor de ellips:	$p = a(1 - \varepsilon^2)$	$0 < \varepsilon < 1$
Voor de parabool:	$p = p$	$\varepsilon = 1$
Voor de hyperbool:	$p = a(\varepsilon^2 - 1)$	$\varepsilon > 1$

6.1.2. De cirkel

Een cirkel is in de meetkunde een verzameling van punten die allemaal even ver van één bepaald (middel)punt liggen. De afstand naar dat punt noemt men dan de voerstraal. Zo is de cirkel eigenlijk te vergelijken met een ellips, met het verschil dat beide brandpunten samenvallen.

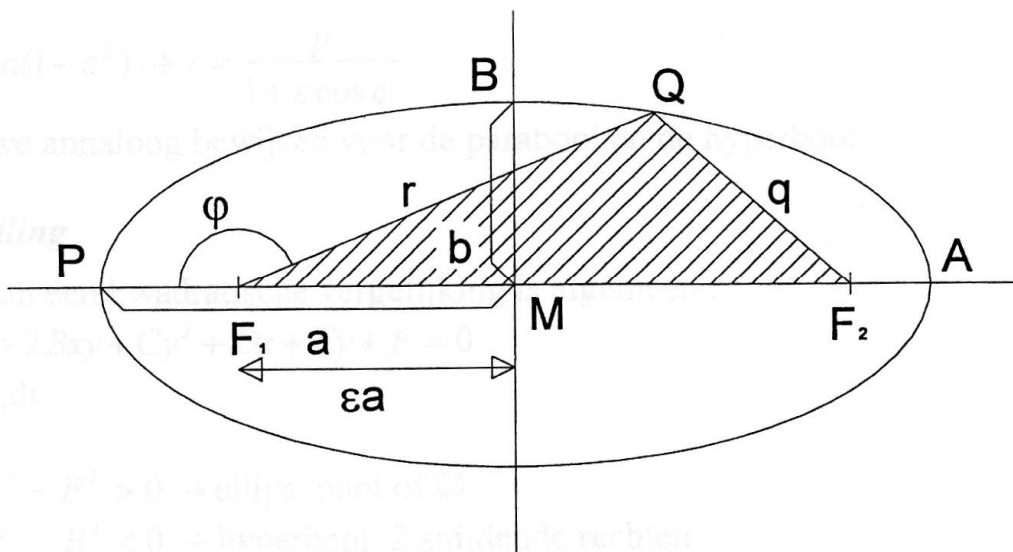


We onderscheiden:

- M middelpunt
- φ de pericentrumhoek
- r de voerstraal
- Q willekeurig punt op cirkel

6.1.3. De ellips

Een ellips is een meetkundige verzameling van alle punten, waarvan de som van de afstanden tot de 2 brandpunten constant is.

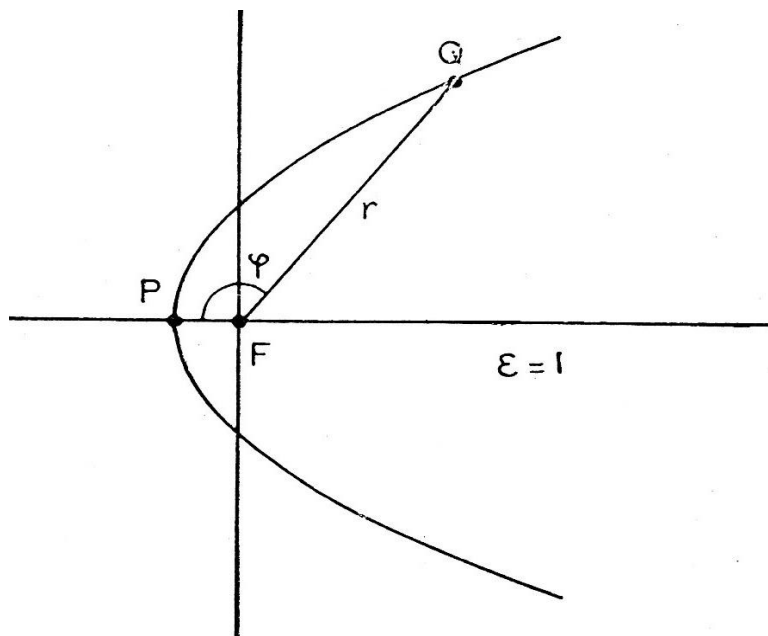


We onderscheiden:

- F_1, F_2 de brandpunten
- $PM = a$ de halve grote as
- $MB = b$ de halve kleine as
- P het pericentrum
- A het apocentrum
- $F_1Q = r$ de voerstraal
- $\angle Pf_1Q = \phi$ het pericentrumhoek

6.1.4. De parabool

Een parabool is een verzameling van punten waarvan de afstand van het brandpunt tot een bepaalde lijn en de afstand van het punt (van de parabool) tot het brandpunt gelijk is.

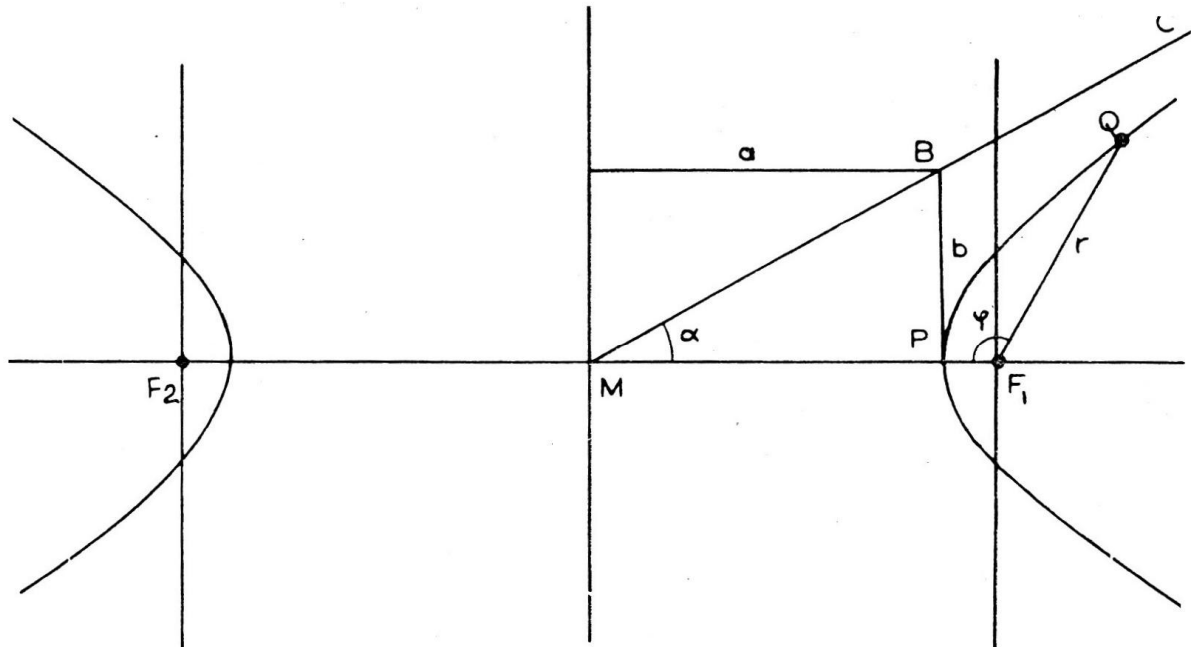


We onderscheiden:

- P het pericentrum
- $FQ = r$ de voerstraal
- $\angle PFQ = \phi$ de pericentrumhoek

6.1.5. De hyperbool

Een hyperbool is een meetkundige figuur waarvan het verschil van de afstand van het ene brandpunt tot een punt van de hyperbool en de afstand van datzelfde punt tot het andere brandpunt constant is.



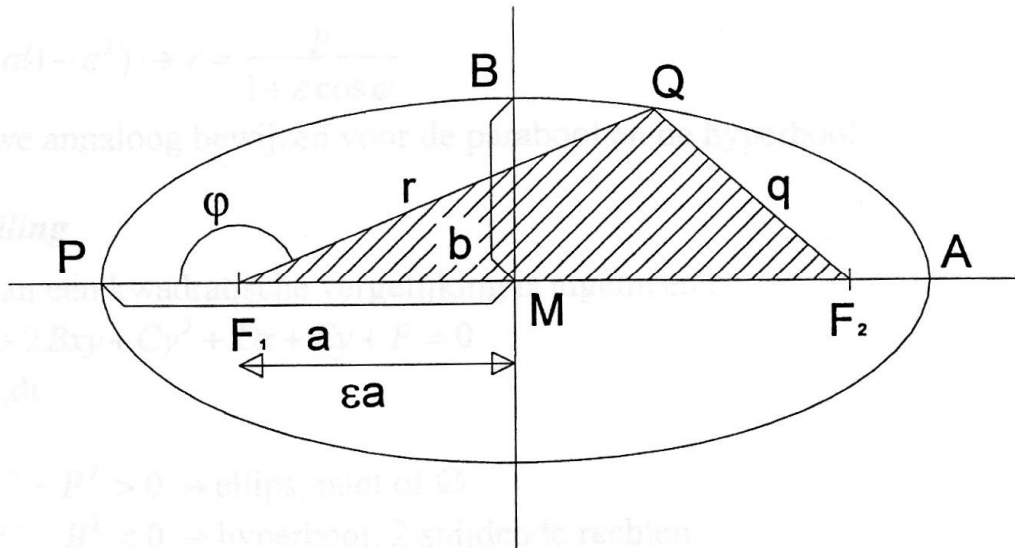
$$\operatorname{tga} = \sqrt{e^2 - 1} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{a^2}} = \frac{b}{a}$$

We onderscheiden:

- F_1, F_2 de brandpunten
- $PM = a$ afstand tot top hyperbool
- P het pericentrum
- $F_1Q = r$ de voerstraal
- $\angle Pf_1Q = \varphi$ de pericentrumhoek
- M het midden

6.1.6. Afleiding van de vergelijking in poolcoördinaten

Om de algemene vergelijking te gaan bepalen, gaat men eerst de vergelijking van de ellips bepalen. Deze vergelijking wordt opgesteld met behulp van poolcoördinaten.

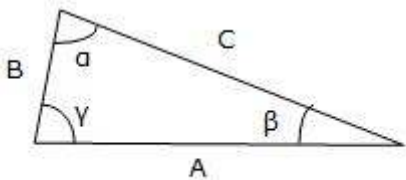


r = voerstraal

$L = F_1QF_2$

$F = F_1F_2$

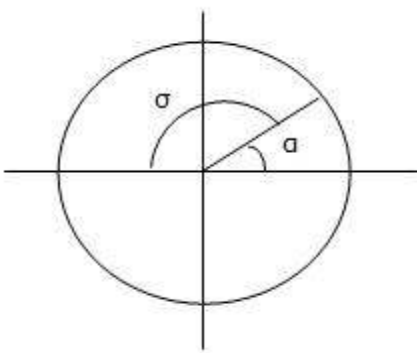
Algemeen:



$$A^2 = B^2 + C^2 - 2 \cdot B \cdot C \cdot \cos \alpha$$

$$B^2 = A^2 + C^2 - 2 \cdot A \cdot C \cdot \cos \beta$$

$$C^2 = A^2 + B^2 - 2 \cdot A \cdot B \cdot \cos \gamma$$



$$\cos \alpha = -\cos \sigma$$

Om te beginnen gaan we de straal bepalen. We weten dat de volledige lengte L de lengte van de straal bevat. Daarom beginnen we met de volledige lengte:

$$L = r + \sqrt{r^2 + F^2 + 2 \cdot r \cdot F \cdot \cos\sigma}$$

$$r^2 + F^2 + 2 \cdot r \cdot F \cdot \cos\sigma = (L - r)^2$$

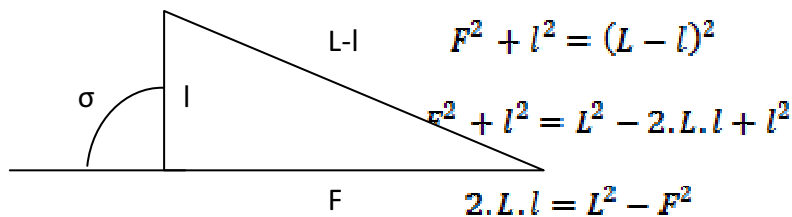
$$r^2 + F^2 + 2 \cdot r \cdot F \cdot \cos\sigma = L^2 - 2 \cdot L \cdot r + r^2$$

$$2 \cdot r \cdot (L + F \cdot \cos\sigma) = L^2 - F^2$$

Zo vinden we als uitkomst:

$$r = \frac{L^2 - F^2}{2(L + F \cdot \cos\sigma)} \quad (1)$$

Stellen we nu $\sigma = 90^\circ$:



$$F^2 + l^2 = (L - l)^2$$

$$F^2 + l^2 = L^2 - 2 \cdot L \cdot l + l^2$$

$$2 \cdot L \cdot l = L^2 - F^2$$

$$l = \frac{L^2 - F^2}{2 \cdot L} \quad (2)$$

Rekenen we nu iets verder formule 1 uit:

$$r = \frac{L^2 - F^2}{2(L + F \cdot \cos\sigma)}$$

teller en noemer delen door $2 \cdot L$

$$r = \frac{\frac{L^2 - F^2}{2 \cdot L}}{\frac{2(L + F \cdot \cos\sigma)}{2 \cdot L}}$$

Steek nu formule (2) in (1):

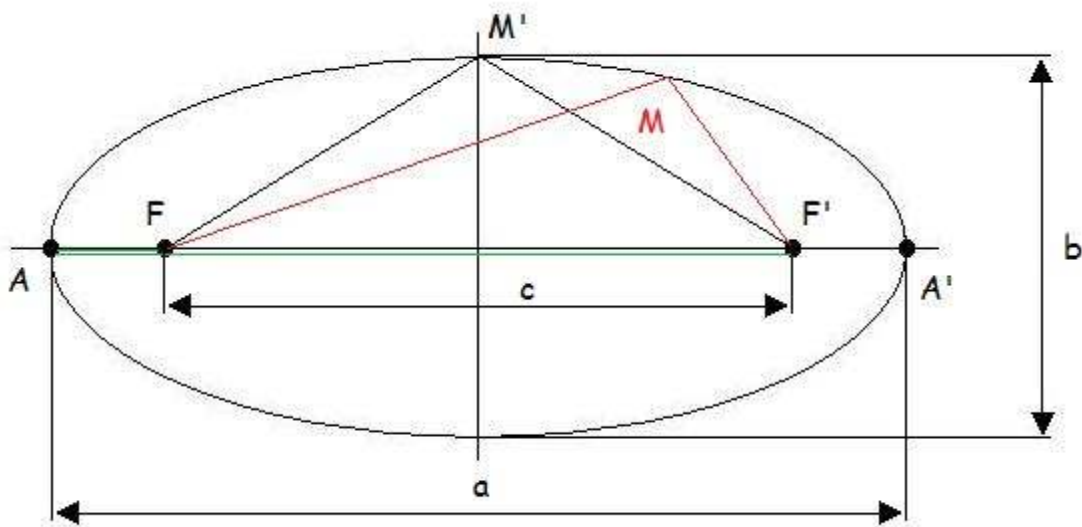
$$r = \frac{l}{\frac{(L + F \cdot \cos\sigma)}{L}}$$

$$1 + \frac{F}{l} \cdot \cos \sigma = \frac{l}{r}$$

Stel $e = \frac{F}{L}$ (excentriciteit)

$$1 + e \cdot \cos \sigma = \frac{l}{r}$$

6.1.7. Formules voor de excentriciteit

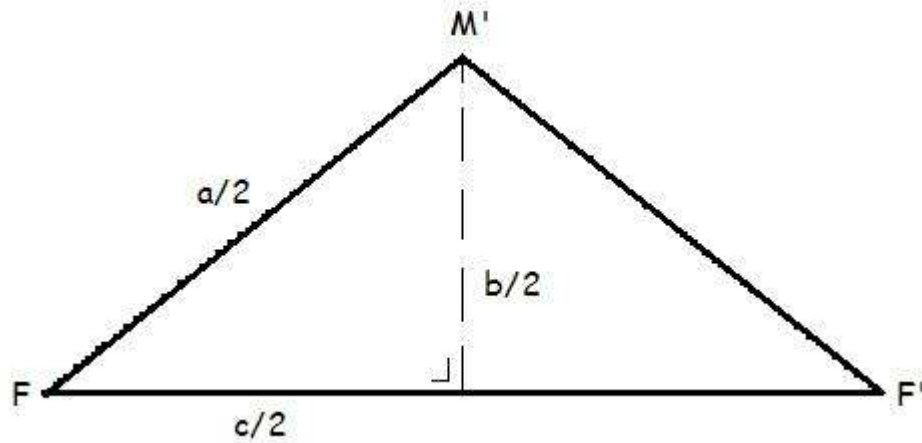


Uit de definitie van de excentriciteit kunnen we afleiden:

$$e = \frac{FF'}{AA'} = \frac{c}{a}$$

Met $FMF' = AA'$ en $FM'F' = AA'$ dus $FM' = F'M' = \frac{AA'}{2}$

Voor $\triangle FM'F'$ kunnen we schrijven:



$$\left(\frac{a}{2}\right)^2 = \left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2$$

$$\frac{a^2}{4} = \frac{b^2}{4} + \frac{c^2}{4}$$

$$a^2 = b^2 + c^2$$

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

Zo komen we tot:

$$e = \frac{FF'}{AA'} = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

6.2. De wetten van Kepler

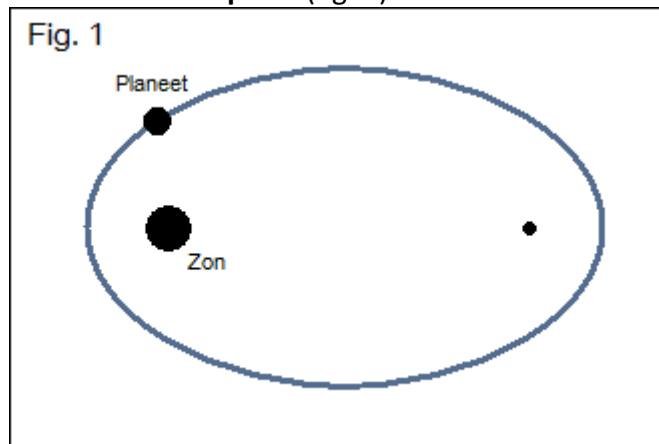
Johannes Kepler (1571-1630) stelde 3 wetten op over de beweging van planeten tegenover de zon.

Kepler publiceerde zijn eerste twee wetten in 1609, zijn derde wet verscheen pas 10 jaar later.

Dankzij het voorstel van **Nicolaus Copernicus** (1473-1543) om de zon als oorsprong van het coördinatenstelsel te kiezen is Kepler er in geslaagd 3 cruciale wetten te ontdekken. Dat deed hij met behulp van zorgvuldige analyse van de astronomische metingen van zijn leermeester: **Tycho Brahe**. (1546-1601)

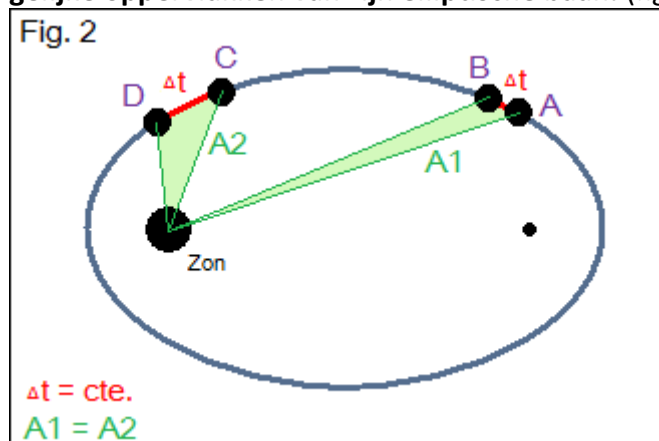
6.2.1. De eerste wet van Kepler

Zijn eerste wet stelt: **Alle planeten bewegen zich rond de zon in een elliptische baan met de zon als brandpunt.** (fig. 1)



6.2.2. De tweede wet van Kepler

De tweede wet van Kepler stelt: **De voerstraal van de planeet beschrijft in gelijke tijden gelijke oppervlakken van zijn elliptische baan.** (fig. 2)



Deze wet staat ook bekend als de **perkenwet**, dit omdat de oppervlakken die de voerstraal beschrijft 'perken' worden genoemd. In de figuur ziet u dat de gemiddelde snelheid in het interval AB kleiner is dan in CD, dit toont aan dat hoe dichter de planeet bij de zon komt, hoe groter de omloopsnelheid wordt. Als regel kan gesteld worden dat de omloopsnelheid maximaal is wanneer de planeet zijn **Perihelium** bereikt en minimaal is wanneer de

planeet zijn **Aphelium** bereikt. Deze wet kan men ook toepassen op manen en kunstmatige satellieten in een baan rond de aarde of andere planeten.

6.2.2.1. Bewijs:

Kepler zelf heeft deze wet nooit wiskundig bewezen, zijn conclusie volgde enkel uit de observaties van **Tycho Brahe**. Deze wet werd later voor de eerste keer bewezen door **Isaac Newton**.

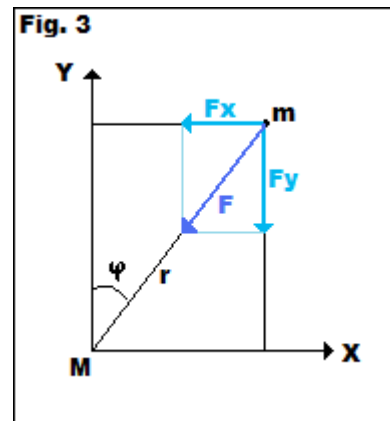
We nemen een planeet met massa m die draait rond een ster met massa M . De twee lichamen trekken elkaar aan met een kracht F

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

We ontbinden deze kracht nu in een x en een y Component:

$$F_x = F \cdot \sin\varphi = -\frac{G.M.m}{r^2} \cdot \frac{x}{r}$$

$$F_y = F \cdot \cos\varphi = -\frac{G.M.m}{r^2} \cdot \frac{y}{r}$$



We weten dat: $F = m \cdot a$ (met a is de versnelling)

Dus:

$$F_1 = m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (1)$$

$$F_2 = m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (2)$$

Daaruit volgt:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{GMm}{r^2} \cdot \frac{x}{r}$$

$$m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{GMm}{r^2} \cdot \frac{y}{r}$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{GM}{r^2} \cdot \frac{x}{r} = -\frac{\mu}{r^3} \cdot x \quad (1)$$

met $GM = \mu$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{GM}{r^2} \cdot \frac{y}{r} = -\frac{\mu}{r^3} \cdot y \quad (2)$$

We vermenigvuldigen (1) met y en (2) met x en trekken dan (2) van (1) af.

$$\frac{d}{dt} \left(y \frac{dx}{dt} - x \frac{dy}{dt} \right) = 0$$

Geïntegreerd:

$$y \frac{dx}{dt} - x \frac{dy}{dt} = 2c \quad \text{met } c \text{ is een constante.}$$

We kunnen dit verder uitwerken:

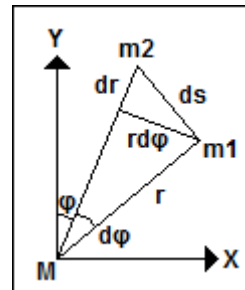
$$\text{stel: } \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{y} \quad \text{dan: } d \operatorname{tg} \varphi = d \frac{x}{y}$$

$$\frac{d\varphi}{\cos^2 \varphi} = \frac{y dx - x dy}{y^2}$$

$$\text{stel: } \cos \varphi = \frac{x}{r} \quad \text{dan: } \frac{1}{\cos^2 \varphi} = \frac{r^2}{x^2}$$

$$d\varphi \frac{r^2}{y^2} = \frac{y dx - x dy}{y^2}$$

$$r^2 \frac{d\varphi}{dt} = \frac{y dx - x dy}{dt} = 2c \quad (3)$$



Wanneer een voorwerp m zich van m1 naar m2 beweegt, dan beschrijft de voerstraal het driehoekje m1m2M waarvan het oppervlak is:

$$\frac{1}{2} r \cdot r d\varphi = \frac{1}{2} r^2 d\varphi \left(+ \frac{1}{2} r d\varphi dr \right) \quad \text{wat tussen haakjes staat is te verwaarlozen}$$

Vergelijking (3) zegt ons dus dat in de tijd, de voerstraal gelijke oppervlakken beschrijft. Men noemt c de oppervlaktesnelheid.

6.2.3. De derde wet van Kepler

De derde wet stelt: **Het kwadraat van de omlooptijd(T) van de planeet is evenredig met de derde macht van de gemiddelde afstand(r) van die planeet tot de zon.**

$$\text{Ofwel in formulevorm: } \frac{T^2}{r^3} = cte.$$

Deze wet wordt ook wel de **harmonische wet** genoemd.

Isaac Newton(1643-1727) voegde later een uitbreiding toe op deze formule die gold voor alle planeten wiens massa veel lichter is dan de zon waarrond hij draait.

$$\text{Meerbepaald: } \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{M \times G} \quad (\text{met: } M = \text{massa van de ster en } G = \text{de universele gravitatieconstante.})$$

6.2.3.1. Bewijs:

We beginnen met $F_c = F_g$ (F_c = middelpuntzoekende kracht, F_g = gravitatiekracht)

Hieruit volgt: $\frac{m \times v^2}{r} = \frac{G \times m \times M}{r^2}$ (v = snelheid van de planeet)

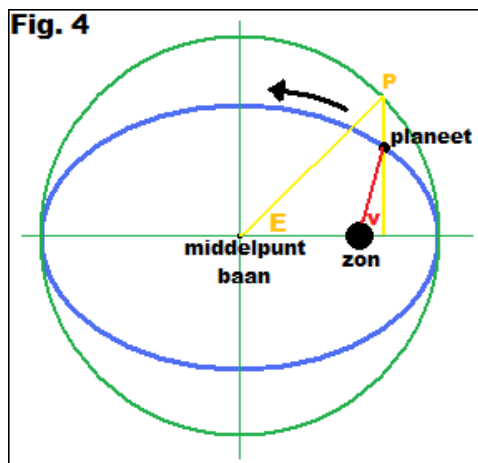
Dus: $v^2 \times r = G \times M$

$v = \frac{2\pi \times r}{T}$ dus: $\frac{4\pi^2 r^2}{T^2} \times r = G \times M$

En zo: $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{M \times G}$

6.2.4. De vergelijking van Kepler

De vergelijking van Kepler beschrijft de niet-uniforme hoeksnelheid die een planeet in haar baan beschrijft. De vergelijking maakt gebruik van de 1^e twee wetten van Kepler en is daarom naar hem vernoemd. Ze drukt dus de verhouding uit tussen de **excentrische anomalie** en de **middelbare anomalie**.



De ware anomalie (v): De georiënteerde hoek Perihelium-zon-planeet.

De excentrische anomalie (E): De georiënteerde hoek Perihelium-middelpunt-planeet.

De middelbare anomalie (M): De denkbeeldige hoek die de planeet zou afleggen op haar baan indien haar hoeksnelheid gelijk zou zijn aan de constante: $360^\circ/\text{omloopsnelheid}$.

De vergelijking van Kepler: $M = E - e \cdot \sin(E)$

(met e = de verhouding tussen de afstand zon-middelpunt en perihelium-middelpunt.)

6.2.4.1. Oplossing:

E kan niet worden uitgedrukt in functie van M door gebruik te maken van normale bewerkingen en functies. De vergelijking kan wel opgelost worden door **iteratieve* benaderingen**.

$$E_0 = M$$

$$E_1 = M + e \cdot \sin(E_0)$$

$$E_2 = M + e \cdot \sin(E_1)$$

...

Als we de **methode van Newton-Raphson** [$f(E) = M - E + e \cdot \sin(E)$] op de vergelijking toepassen, krijgen we een snelle convergentie naar het juiste resultaat:

$$E_0 = M$$

$$E_1 = E_0 + \frac{M - E_0 + e \cdot \sin(E_0)}{1 - e \cdot \cos(E_0)}$$

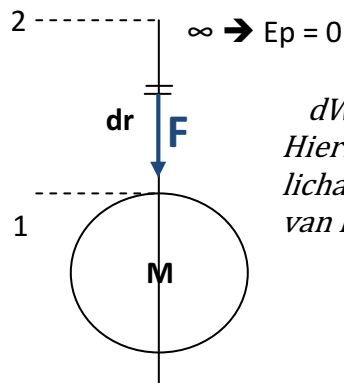
$$E_2 = E_1 + \frac{M - E_1 + e \cdot \sin(E_1)}{1 - e \cdot \cos(E_1)}$$

...

6.3. Energiebalans bij een elliptische beweging

De aantrekkingskracht die een eenheidsmassa ondervindt gelijk aan:

$$F = f \cdot \frac{M}{r^2} \text{ (wet van Newton, } m = 1 \text{)}$$



$dW = F \cdot dr$ met $F = (f \cdot m \cdot M) / r^2$
 Hierbij is m de massa van het lichaam (hier gelijk aan 1) en M de massa van het hemellichaam.

Als we die eenheidsmassa dan over een afstand dr verplaatsen, dan moeten we een arbeid verrichten die gelijk is aan:

$$dW = F \cdot dr = f \cdot \frac{M}{r^2} \cdot dr$$

De totale arbeid die dan nodig is om de eenheidsmassa van r_1 naar r_2 te verplaatsen is dan:

$$W = \int_{r_1}^{r_2} f \cdot \frac{M}{r^2} \cdot dr = -f \cdot M \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

Als r_2 dan oneindig ver van M ligt, dan is de totale arbeid:

$$W = -f \cdot M \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{r_1} \right) = f \cdot \frac{M}{r_1}$$

Omgekeerd is het *arbeidsvermogen* van die eenheidsmassa op een afstand r_1 ten opzichte van een oneindige afstand:

$$Ep = -f \cdot \frac{M}{r_1}$$

Dit arbeidsvermogen geeft men de naam *potentiële energie of energie van plaats* van de eenheidsmassa in het zwaartekrachtveld van M , op een afstand r_1 van M .

Om die eenheidsmassa dan een snelheid v te geven, is een energie nodig die gelijk is aan:

$$E_k = \frac{v^2}{2}$$

Deze energie noemen we de *kinetische energie of energie van beweging* van de eenheidsmassa.

Als een eenheidsmassadeeltje nu een elliptische baan beschrijft rond de massa M , en de voerstraal is op een zeker moment gelijk aan r , en de snelheid is v , dan is de potentiële energie van dit deeltje gelijk aan:

$$E_p = -f \cdot \frac{M}{r}$$

Als dan de halve grote as van de elliptische baan gelijk is aan a , dan is de snelheid:

$$v = \sqrt{f \cdot M \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

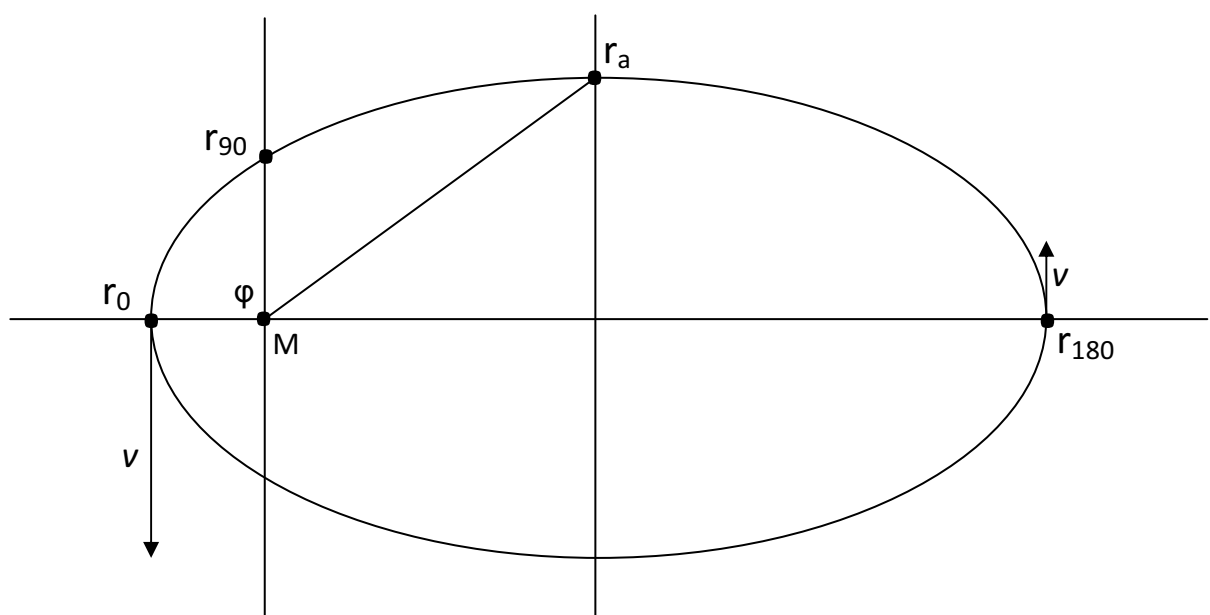
Daaruit volgt dat de kinetische energie:

$$E_k = \frac{v^2}{2} = f \cdot \frac{M}{2} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

De totale energie is dan de som van de kinetische en de potentiële energie, en is dus gelijk aan:

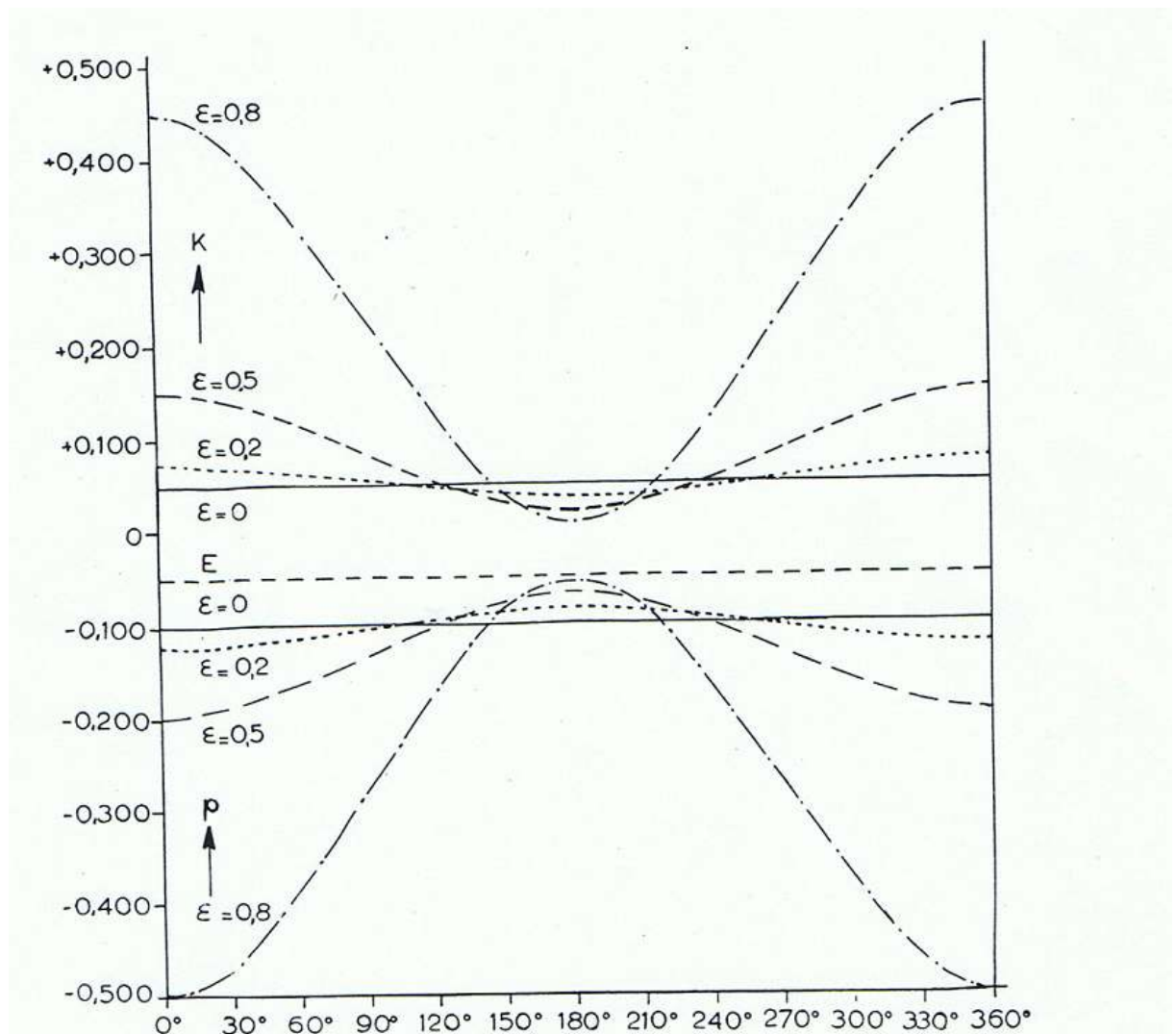
$$E = E_p + E_k = -f \cdot \frac{M}{r} + f \cdot \frac{M}{2} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) = -f \cdot \frac{M}{2a}$$

Hieruit kunnen we waarnemen dat r volledig uit deze vergelijking is weggefallen. Immers, aan het massadeeltje wordt in zijn baan rond de massa M geen energie toegevoerd of onttrokken, en dus moet de totale energie geheel onafhankelijk zijn van de voerstraal. De potentiële en de kinetische energie houden elkaar dus volledig in evenwicht; als de één toeneemt, neemt de ander af. In het pericentrum is de potentiële energie minimaal, en daar moet de kinetische energie dus een maximum bereiken. In het apocentrum is dit net omgekeerd.



Hieronder een tabel met de energiebalans voor een ellips met halve grote as a en excentriciteit gelijk aan ε . φ is de pericentrumhoek.

φ	r	$\frac{E_p}{f \cdot M}$	$\frac{E_k}{f \cdot M}$	$\frac{E}{f \cdot M}$
0°	$a(1 - \varepsilon)$	$-\frac{1}{a(1 - \varepsilon)}$	$\frac{1 + \varepsilon}{2a(1 - \varepsilon)}$	$-\frac{1}{2a}$
90°	$a(1 - \varepsilon^2)$	$-\frac{1}{a(1 - \varepsilon^2)}$	$\frac{1 + \varepsilon^2}{2a(1 - \varepsilon^2)}$	$-\frac{1}{2a}$
Bgcos $(-\varepsilon)$	a	$-\frac{1}{a}$	$\frac{1}{2a}$	$-\frac{1}{2a}$
180°	$a(1 + \varepsilon)$	$-\frac{1}{a(1 + \varepsilon)}$	$\frac{1 - \varepsilon}{2a(1 + \varepsilon)}$	$-\frac{1}{2a}$



Figuur 27: Verloop van energie

Op voorgaande grafiek heeft men het verloop van de potentiële en kinetische energie voor ellipsen met excentriciteiten (dit is hoe “plat” de ellips is) 0,8 – 0,5 – 0,2 en 0 en gelijke grote assen getekend. Een bijzonder punt is waar φ gelijk is aan $\text{Bgc}(\cos(-\varphi))$. De voerstraal is daar namelijk gelijk aan de halve grote as en de kinetische energie is precies de helft van de potentiële energie. We merken op dat hoe groter de excentriciteit is, hoe groter de verschillen van de energieën zijn. Als de excentriciteit 0 is (een cirkel), zijn de energieën constant en is de kinetische energie precies de helft van de potentiële energie. De totale energie E is voor alle hoeken en alle drie ellipsen en de cirkel gelijk. We zien ook duidelijk dat E_k het spiegelbeeld is van E_p , omdat E over de gehele lijn constant moet blijven.

6.3.1. Ontsnappingsnelheid

Nu dat we *energie* besproken hebben kunnen we dit gebruiken om de ontsnappingsnelheid te berekenen. Eerst moeten we de volgende stelling begrijpen: *de aantrekkingskracht van de aarde neemt af naarmate je je verder van haar middelpunt verwijderd*. Voor een bepaalde afstand R wordt de aantrekkingskracht gegeven door de formule van Newton:

$$F = f \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$$

Waarin f de gravitatieconstante is, met een waarde van $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$

M en m zijn respectievelijk de massa's van de aarde en van jezelf. Als we ons verder en verder van de aarde verwijderen worden we minder en minder aangetrokken. Oorspronkelijk bevinden we ons op een afstand R_0 van het middelpunt (op het aardoppervlak), en om ons naar een afstand R te brengen van dit middelpunt is een arbeid nodig die geleidelijk verandert met F . Dit kan met behulp van een integraal zoals we bij *energie* besproken hebben:

$$W = \int_{R_0}^R f \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} dr = f \cdot M \cdot m \int_{R_0}^R \frac{1}{r^2} dr = -f \cdot M \cdot m \left[\frac{1}{r} \right]$$

$$W = -f \cdot M \cdot m \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0} \right) = f \cdot M \cdot m \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R} \right)$$

Indien we ons buiten de aantrekkingskracht van de aarde willen brengen moeten we R oneindig groot nemen, zodat $1/R = 0$.

Bovenstaande vergelijking wordt dan:

$$W = \frac{f \cdot M \cdot m}{R_0}$$

Daarbij moet onze kinetische energie minstens gelijk zijn aan W , zodat:

$$\frac{mv^2}{2} \geq \frac{f \cdot M \cdot m}{R_0}$$

Of nog:

$$v^2 \geq \frac{2 \cdot f \cdot M}{R_0}$$

Vervangen we in bovenstaande vergelijking de symbolen door de numerieke waarden, dan vinden we:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,96 \cdot 10^{24}}{6378 \cdot 10^3}} = 11200 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 40320 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

We moeten dus met een minimumsnelheid van 11,2 km/s bereiken om te kunnen ontsnappen aan de aantrekkingskracht van de aarde. In het deel *karacteristieke snelheden*

zien we hoe de ontsnappingsnelheid verschilt bij iedere planeet. Dit komt doordat elke planeet een andere massa heeft en zo meer of minder aantrekkingskracht uitvoert op een lichaam.

6.3.2. Snelheden bij de elliptische beweging

In dit hoofdstukje zullen we berekenen wat de snelheden zijn in enkele bijzondere punten van de ellips. Bij een ellips krijgen we voor r_0 , dus als $\varphi = 0^\circ$ (ook het pericentrum genoemd):

$$v_0^2 = \mu \left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{a} \right)$$

We weten reeds dat $r_0 = a(1 - \varepsilon)$

Bijgevolg:

$$v_0^2 = \mu \left(\frac{2}{a(1-\varepsilon)} - \frac{1-\varepsilon}{a(1-\varepsilon)} \right)$$

$$v_0^2 = \frac{\mu}{a} \cdot \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}$$

Voor $\varphi = 180^\circ$ (apocentrum):

$$v^2_{180} = \mu \left(\frac{2}{r_{180}} - \frac{1}{a} \right)$$

We weten hier reeds dat $r_{180} = a(1 + \varepsilon)$

Bijgevolg:

$$v^2_{180} = \mu \left(\frac{2}{a(1+\varepsilon)} - \frac{1+\varepsilon}{a(1+\varepsilon)} \right)$$

$$v^2_{180} = \frac{\mu}{a} \cdot \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}$$

Hieruit volgt:

$$\frac{v^2_0}{v^2_{180}} = \frac{\frac{\mu}{a} \cdot \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}}{\frac{\mu}{a} \cdot \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} = \frac{(1+\varepsilon)^2}{(1-\varepsilon)^2}$$

Nu is ook:

$$\frac{r_{180}}{r_0} = \frac{a(1+\varepsilon)}{a(1-\varepsilon)} = \frac{(1+\varepsilon)}{(1-\varepsilon)}$$

Hieruit volgt:

$$\frac{v_0}{v_{180}} = \frac{r_{180}}{r_0}$$

Of:

$$v_0 r_0 = v_{180} r_{180}$$

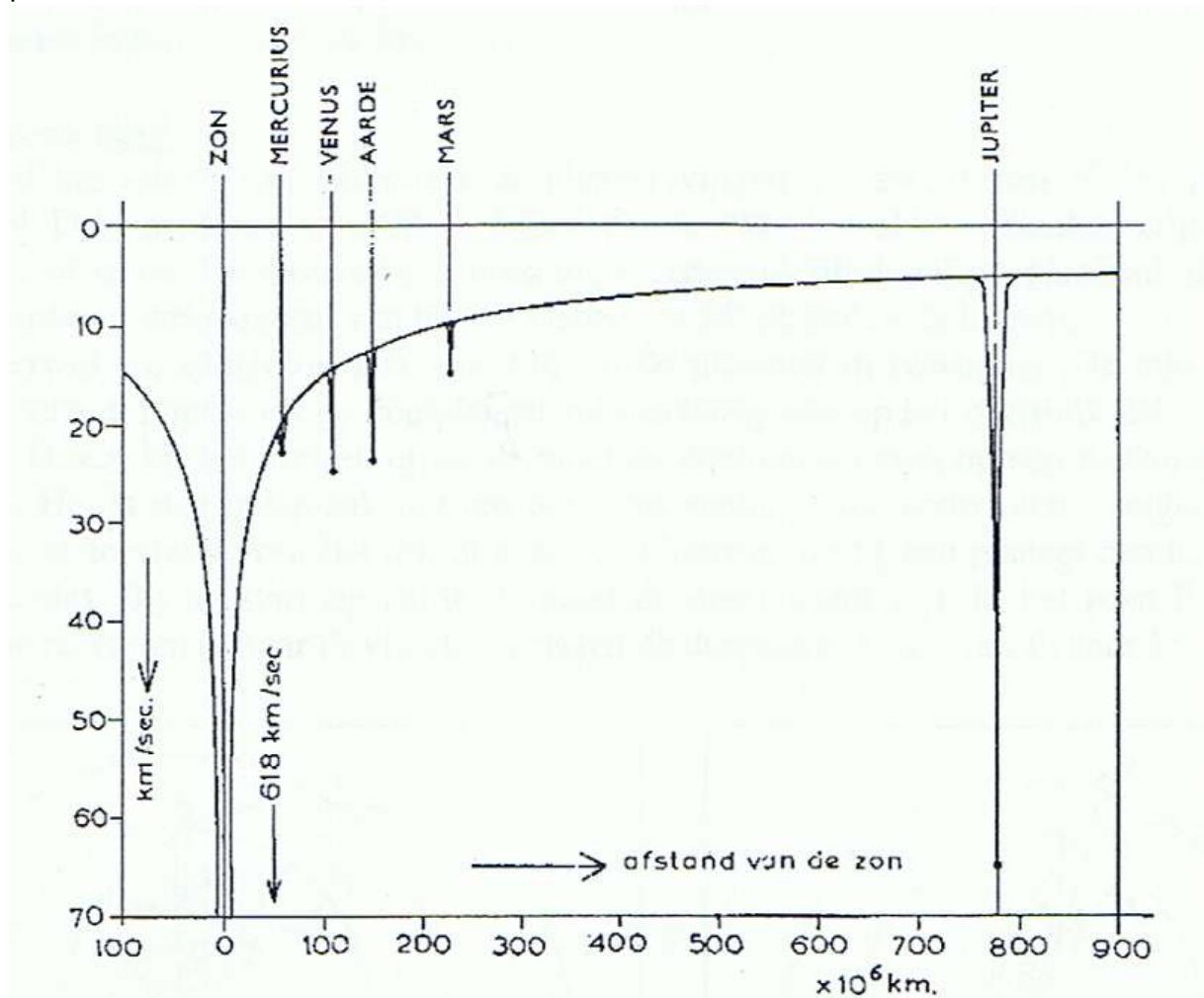
We kunnen ook afleiden dat:

$$\varepsilon = \frac{r_{180} - r_0}{r_{180} + r_0}$$

Hieruit kunnen we dus de excentriciteit van de baan berekenen als we r_0 en r_{180} kennen.

6.3.3. Karakteristieke snelheden

Als we ons in de interplanetaire ruimte willen bewegen, worden onze bewegingen beïnvloed door de zon. De massa van de zon is 332.000 keer groter dan die van onze aarde. Hoe verder we ons van de zon verwijderen, hoe kleiner de aantrekkingskracht van de zon wordt en hoe kleiner de snelheid wordt om te kunnen ontsnappen aan die aantrekkingskracht. In de onderstaande grafiek wordt dit weergegeven voor enkele planeten:



Om vanaf een planeet het zonnestelsel te verlaten moeten we zowel de aantrekkingskracht van de zon als deze van de planeet overwinnen. In bovenstaande grafiek wordt de snelheid weergegeven door de diepe kuil. De kleinere kuiltjes geven de plaatselijke invloed weer van de planeten.

De nodige ontsnappingsnelheid is dus gelijk aan de snelheid om aan de planeet te ontsnappen plus de snelheid om aan de zon te ontsnappen. De som van deze wordt "de absolute" ontsnappingsnelheid genoemd. We merken op dat de y-as naar beneden wijst. Hoe dichterbij de zon, hoe groter de nodige snelheid. Elke snelheidsverandering kost energie, en de nodige energie voor een snelheidsstoot is hier gelijk aan de energie voor eenzelfde snelheidsafname. Het opstijgen kost dus evenveel energie als het vertragen en neerdalen op een planeet.

Als we even bekijken welke snelheidsveranderingen er nodig zijn voor een reis van aarde naar Mars:

- ontsnappingssnelheid van de aarde:	11,2	km/s
- aanpassen van de snelheid aan deze van Mars:	2x 2,5	km/s (versnelling+vertraging)
- <u>ontsnappingssnelheid van Mars:</u>	<u>5,0</u>	<u>km/s</u>
Totaal:	21,2	km/s

Deze som van snelheden noemen we de karakteristieke snelheid, deze geeft aan hoeveel energie we in totaal nodig hebben op de verplaatsing te maken. De energie nodig om van aarde naar Mars te reizen is dus gelijk aan de energie nodig om een snelheid te geven van 21,2 km/s.

6.4. Mogelijke banen

Bij het behandelen van de mogelijke banen die kunnen optreden zullen we zien dat er drie soorten zijn, nl.: de directe, de indirecte en de Hohmannbanen.

Bij deze bespreking zullen we ook moeten aannemen dat:

1. Het grootste gedeelte van de reis is in vrije vlucht, zodanig dat we de periode van versnelling van de motor kunnen verwaarlozen.
2. Er wordt enkel rekening gehouden met aantrekkingskracht van de zon waardoor we de baan van het ruimteschip als een zuivere Keplerbaan mogen beschouwen.
3. De aarde is normaal de planeet van vertrek.

6.4.1. De Directe baan

6.4.1.1. Binnenplaneet

Bij de berekening van de baan naar een binnenplaneet moet de periheliumstraal van de ellips kleiner of hoogstens gelijk zijn aan de straal van de baan van de planeet. De apheliumstraal moet groter of minstens gelijk zijn aan de straal van de aardbaan.

$$r_0 \leq r_2 \text{ en } r_{180} \geq r_1$$

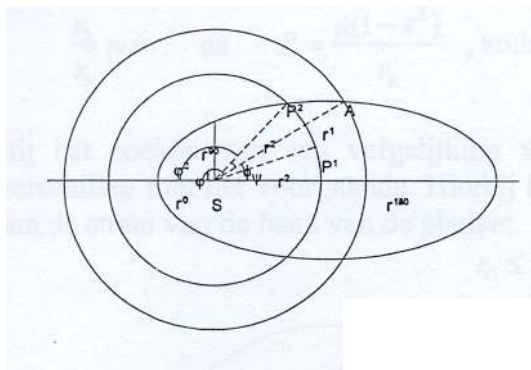


fig.: een binnenplaneet

Eerder hebben we bewezen dat de kegelsneden voldoen aan deze vergelijking.

$$r = \frac{P}{1 + \varepsilon \cos \varphi}$$

Als we nu aannemen bij de ellips dat:

$$P = a(1 - \varepsilon^2) \text{ en } 0 < \varepsilon < 1$$

Uit deze vergelijking kunnen we nu besluiten dat :

$$1. \quad r_0 = \frac{a(1 - \varepsilon^2)}{1 + \varepsilon \cos \varphi} \quad \text{met } \varphi = 0^\circ$$

$$r_0 = \frac{a(1 - \varepsilon)(1 + \varepsilon)}{1 + \varepsilon}$$

$$r_0 = a(1 - \varepsilon)$$

$$2. \quad r_{180} = \frac{a(1 - \varepsilon^2)}{1 + \varepsilon \cos \varphi} \quad \text{met } \varphi = 180^\circ$$

$$r_{180} = \frac{a(1 - \varepsilon)(1 + \varepsilon)}{1 - \varepsilon}$$

$$r_{180} = a(1 + \varepsilon)$$

Als we deze twee waarden nu invullen vinden we:

$$a(1 - \varepsilon) \leq r_2 \text{ en } a(1 + \varepsilon) \geq r_1$$

Na het vermenigvuldigen van de eerste vergelijking met $(1 + \varepsilon)$ en de tweede vergelijking met $(1 - \varepsilon)$, vinden we:

$$a(1 - \varepsilon^2) \leq r_2(1 + \varepsilon) \text{ en } a(1 - \varepsilon^2) \geq r_1(1 - \varepsilon)$$

Wanneer we dit nu delen door r_1 , m.a.w. dit uitdrukken in astronomische eenheden, bekomen we:

$$\frac{a(1 - \varepsilon^2)}{r_1} \leq \frac{r_2(1 + \varepsilon)}{r_1} \text{ en } \frac{a(1 - \varepsilon^2)}{r_1} \geq \frac{r_1(1 - \varepsilon)}{r_1}$$

Om te vergelijking te vereenvoudigen, noemen we:

$$\frac{r_2}{r_1} = n \text{ en } P = \frac{a(1 - \varepsilon^2)}{r_1}$$

Zodat

$$P \leq n(1 + \varepsilon) \text{ en } P \geq (1 - \varepsilon)$$

Bij het zoeken van de vergelijking voor een hyperbolische baan, zien we niet veel verschillen met het voorgaande. Hierbij is de periheliumafstand kleiner of hoogstens gelijk aan de straal van de baan van de planeet.

$$r_0 \leq r_2$$

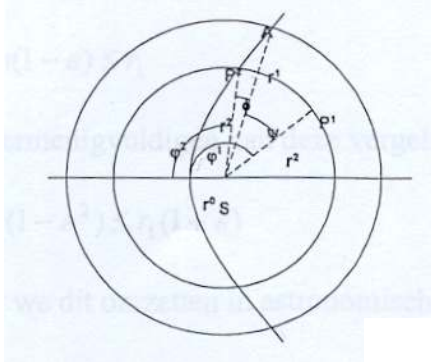


fig.: hyperbolische baan

Met $P = a(\varepsilon^2 - 1)$ en $\varepsilon > 1$ krijgen we:

$$r_0 = \frac{a(\varepsilon^2 - 1)}{1 + \varepsilon \cos \varphi} \quad \text{met } \varphi = 0^\circ$$

$$r_0 = a(\varepsilon - 1)$$

Na invullen van deze vergelijking vinden we:

$$a(\varepsilon^2 - 1) \leq r_2(\varepsilon + 1)$$

Als we deze vergelijking nu ook omzetten in astronomische eenheden, dan wordt dit:

$$P = n(\varepsilon + 1)$$

6.4.1.2. Buitenplaneet

De manier om de vergelijking voor een buitenplaneet te vinden is gelijkaardig aan de binnenplaneten. Hierbij is de periheliumstraal van de ellips kleiner of hoogstens gelijk aan de straal van de aardbaan. De apheliumstraal van de ellips moet groter of minstens gelijk zijn aan de straal van de baan van de planeet.

$$r_0 \leq r_1 \text{ en } r_{180} \geq r_2$$

Als we de vergelijking van een kegelsnede toepassen, dan kunnen we schrijven dat:

1. voor de parabool:

$$a(1 - \varepsilon) \leq r_1 \text{ en } a(1 + \varepsilon) \geq r_2$$

Bij het vermenigvuldigen van het eerste lid met $(1 + \varepsilon)$ en het tweede lid met $(1 - \varepsilon)$, dan krijg je:

$$a(1 + \varepsilon^2) \leq r_1(1 + \varepsilon) \text{ en } a(1 - \varepsilon^2) \geq r_2(1 - \varepsilon)$$

Wanneer we dit terug omzetten in astronomische eenheden, dan bekom je:

$$P \leq (1 + \varepsilon) \text{ en } P \geq n(1 - \varepsilon)$$

2. voor de hyperbolische baan:

$$a(1 - \varepsilon) \leq r_1$$

Bij het vermenigvuldigen van deze vergelijking met $(1 + \varepsilon)$, dan krijgen je:

$$a(1 - \varepsilon^2) \leq r_1(1 + \varepsilon)$$

Wanneer we dit omzetten in astronomische eenheden, dan bekomen we:

$$P \leq (1 + \varepsilon)$$

6.4.1.3. Binnen- en buitenplaneten

Als we nu van de binnen- en buitenplaneten dit alles in een grafiek zetten, kunnen we bemerken dat de kegelsneden elkaar zullen snijden in een gemeenschappelijk punt. Voor de beide gevallen is de parameter van dit punt gelijk aan:

$$P = \frac{2n}{n+1}$$

En is de excentriciteit gelijk aan:

1. binnenplaneet

$$\varepsilon = \frac{n-1}{n+1}$$

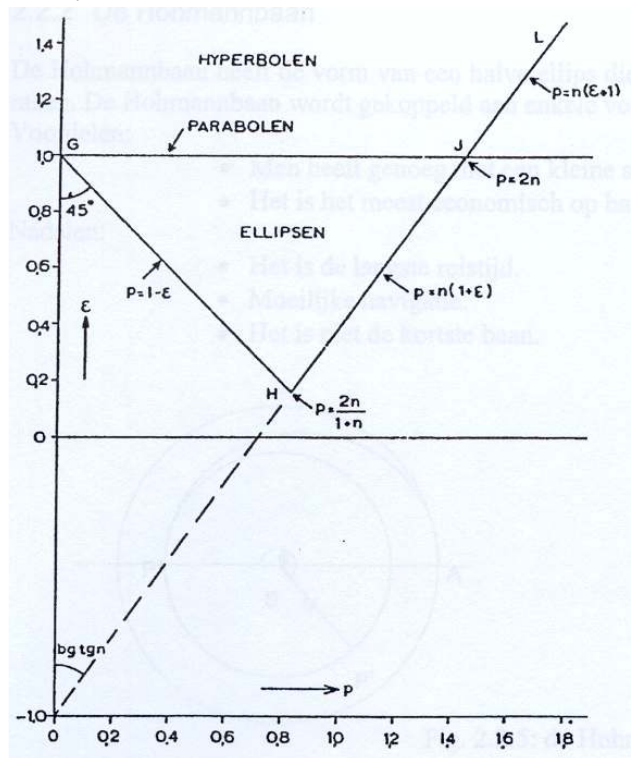


fig.: de binnenplaneten

2. buitenplaneet

$$\varepsilon = -\frac{n-1}{n+1}$$

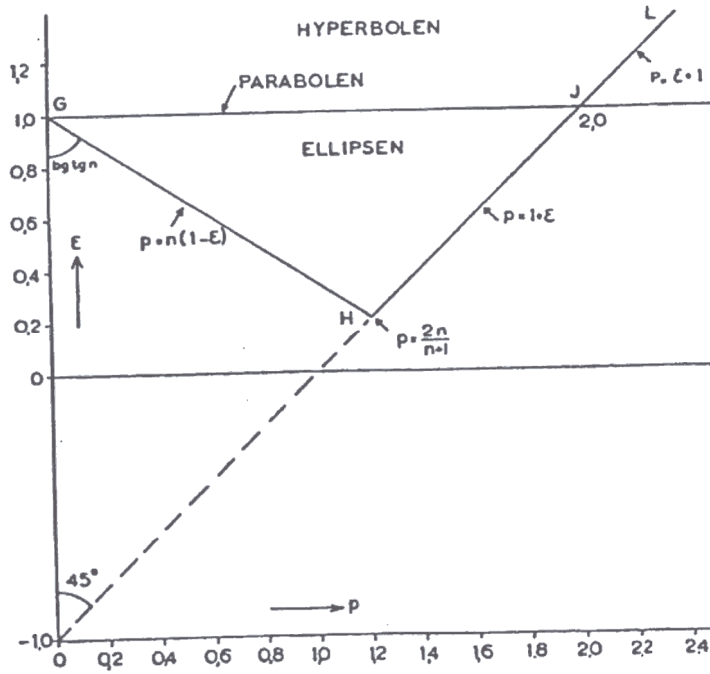


fig.: de buitenplaneten

6.4.2. De Hohmannbaan

De Hohmannbaan heeft de vorm van een halve ellips die de banen van twee planeten zal raken. De Hohmannbaan wordt gekoppeld aan enkele voordelen en nadelen:

Voordelen:

- Men heeft genoeg met een kleine snelheid
- Het is het meest economisch op basis van brandstof

Nadelen:

- Het is de langste reistijd
- Moeilijke navigatie
- Het is niet de kortste baan

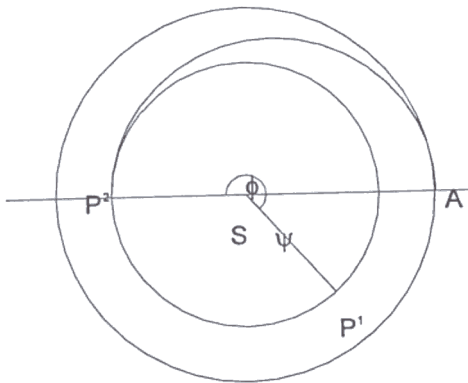


fig.: de Hohmannbaan

Hierbij zal $r_0 = r_2$ en $r_1 = r_{180}$

Op deze vergelijkingen zullen we bewerkingen uitvoeren als bij de directe banen en bekomen we de volgende uitdrukkingen.

Voor binnenplaneten:

$$P = (1 + \varepsilon) \text{ en } P = n(1 - \varepsilon)$$

Hieruit volgt dat:

$$1 + \varepsilon = n(1 - \varepsilon)$$

Uit deze vergelijkingen kunnen we opnieuw het volgende bepalen:

$$P = \frac{2n}{n+1} \text{ en } \varepsilon = -\frac{n-1}{n+1}$$

Voor de buitenplaneten zal enkel de excentriciteit van teken veranderen:

$$\varepsilon = \frac{n-1}{n+1}$$

6.4.3. De indirecte banen

Als je de onderstaande figuur bekijkt, zul je zien dat de ellips in vier punten snijdt. Deze vier punten zullen de vier mogelijke banen opleveren. Zoals men ziet zal de directe baan de kortste baan zijn en afhankelijk van de andere punten waarin de ellips gesneden wordt, zullen er indirecte banen optreden.

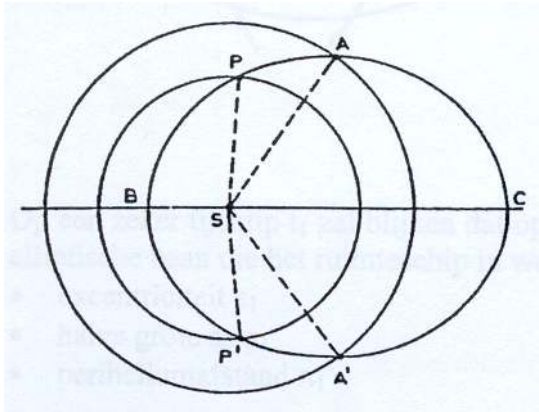


fig.: de indirecte banen

Mogelijke banen:

1. Route AP = de directe baan
2. Route ABP' = de perheliumbaan
3. Route A'CP = de apheliumbaan
4. Route A'CBP' = de omwegbaan

Deze vier banen kan men bemerken dat de tijdsduur verschillend zal zijn, maar de hoeveelheid energie die nodig zal zijn is gelijk.

6.4.4. Baancorrectie

Als men een reis naar een planeet zal maken, zal men eerst de baan die het ruimteschip zal volgen nauwkeurig berekenen. Deze baanberekening is ingewikkelder dan al het voorgaande, want men moet alle storende factoren in rekening brengen zoals:

- De aantrekkingskracht van de planeten, want deze kunnen op miljoenen kilometers noch altijd een invloed uitoefenen.
- De planeten banen lopen niet in het vlak van de ecliptica en zijn ook geen cirkels.

Ook het feit dat we vertrekken vanaf de aarde of een ruimtestation zal de berekening niet makkelijker maken.

Hoe nauwkeurig men ook de baan berekent, er zal altijd een afwijking van baan optreden tijdens de lancering. Tijdens de vlucht zal de piloot dus moeten kunnen ingrijpen om een correctie van de baan aan te brengen.

Daarom zullen we nu de correctie van de banen bespreken.

In de onderstaande figuur zien we de oorspronkelijk bedoelde baan afgebeeld.

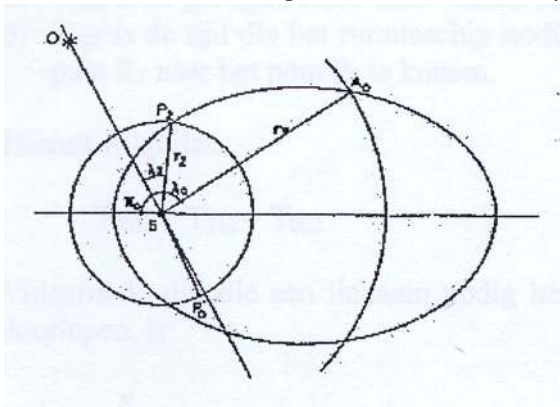


fig.: Oorspronkelijke baan

Op een zeker tijdstip t_1 zal blijken dat op basis van drie waarnemingen de elementen van de elliptische baan die het ruimteschip in werkelijkheid volgt, zijn:

- Excentriciteit ε_1
- Halve grootte as a_1
- Periheliumafstand π_1

In plaats van:

- Excentriciteit ε_0
- Halve grootte as a_0
- Periheliumafstand π_0

Hierdoor moet de piloot de baan wijzigen zodat het ruimteschip de planeet op het oorspronkelijk bedoelde punt P_2 ontmoet. Dit betekent dat de totale duur van de reis onveranderd blijft. De gecorrigeerde baan wordt dan:

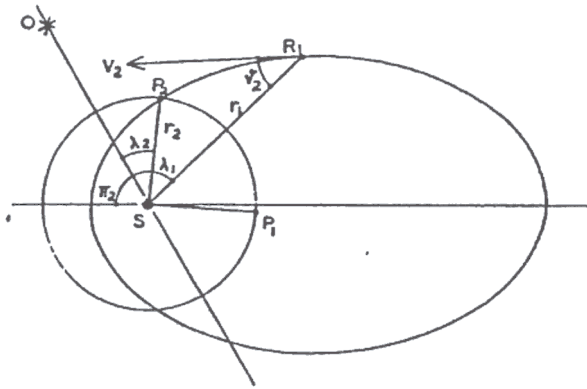


fig.: de gecorrigeerde baan

Om verder te werken zullen we eerst het volgende moeten aannemen:

- T_{002} is de oorspronkelijk berekende duur van de reis.
- T_{X01} is de geregistreerde duur van de reis tot het punt R_1 , dus de tijd $t_1 - t_0$.
- T_{212} is de tijd die het ruimteschip nodig heeft om langs de gecorrigeerde ellips van het punt R_1 naar het punt P_2 te komen.

Hieruit volgt dat:

$$T_{X01} + T_{212} = T_{002}$$

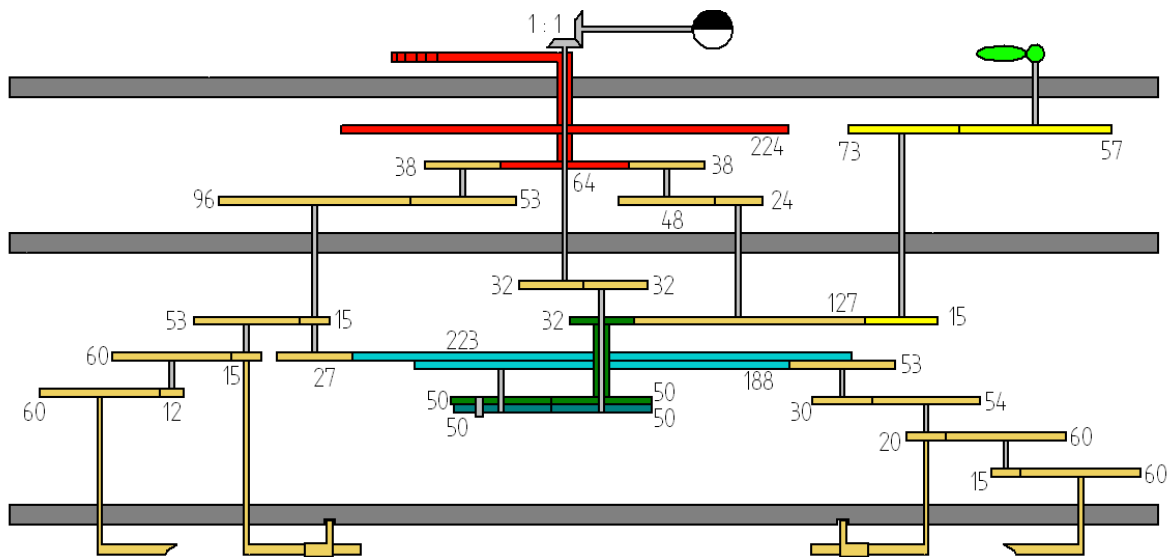
Dit is dus noch een bijkomend probleem, je kan te laat komen. Als je er rekening me houdt en dus vroeger lanceert kan je ook te vroeg komen.

7. Antikythera Mechanisme

7.1. Inleiding: het mechanisme is een voorloper van onze huidige hardware

Toen we de omschrijving lazen als de eerste analoge computer, kregen we interesse in het Antikythera mechanisme. Het werd omschreven als een 2000 jaar oud mechanisme met een correctheid waarbij je toch wel eens vol ongeloof naar kijkt. Men weet nog altijd niet exact vanwaar het mechanisme afkomstig is, wie het gemaakt heeft en op wie zijn theorieën het gebaseerd is. Uit de inscripties van Corintische maanden op het mechanisme, zou men kunnen denken dat het uit Corinthe komt of uit een van haar koloniën op Sicilië, meerbepaald Syracuse en Taurominion. Wanneer men het mechanisme bestudeert kan men er verschillende theorieën in terugvinden, zoals de maantheorie van Hipparchus, de cyclustheorie van Metone, de cyclustheorie van Callippo (een verbetering op die van Metone), de Saros-cyclus die al vele jaren vroeger bekend was in Babylonië, of misschien was een astronomicus uit die tijd, genaamd Possidonius wel de maker, of Archimedes die de grootste relevantie heeft omdat hij in Syracuse woonde? In een oude Griekse legende over de slag bij Syracuse in 212 vr. Chr (waarbij Archimedes stierf) spreekt men over Generaal Marcellus die een gerenommeerd astronomisch instrument meenam als buit, misschien een voorloper van het mechanisme, of misschien het mechanisme zelf? Hoe komt het dat men de wetten van Kepler kan terugvinden in het mechanisme, terwijl die 16 eeuwen later leefde? Hoe kon men in die tijd al met zo'n nauwkeurigheid werken? Het mechanisme is op de dag van vandaag nog steeds een groot mysterie, ook al is er al veel van opgehelderd. In dit hoofdstuk bespreken wij de theorieën, en al zijn gekende eigenschappen. Vast staat dat moest het mechanisme niet verloren gegaan zijn in een schipbreuk, de wereld er heel anders had uitgezien! De nauwkeurigheid van de tandwielen en de volledige constructie kon men pas in de 18e eeuw opnieuw terugvinden, en dat leidde tot de industriële revolutie, stel je eens voor dat we nu 18 eeuwen verder zouden zitten in technologisch opzicht?

7.2. Overzicht tandwielen



7.3. Tijdslijn

7.3.1. 2^{de} -1^{ste} eeuw vChr.

Uit onderzoeken kan men enkele plaatsen aanduiden waar het mechanisme gemaakt zou zijn. Een mogelijke plaats is Rhodos, gekend om de plaatselijke **Possidonius**. In oude teksten spreekt men ook over een astronomisch instrument die zon- en maanstand weergeeft, en tentoongesteld werd op Rhodos. Dat eiland stond toen gekend voor tentoonstellingen in tempels. Een andere mogelijkheid is dus Sicilië omdat er corintische teksten op het mechanisme gevonden zijn. Of zijn er meerdere mechanismes gemaakt? De wetenschappers die het mechanisme bestudeerd hebben zijn het er allemaal eens dat het te ingewikkeld zou zijn om er maar één van te maken.

7.3.2. 70 v. Chr.

Een schip zinkt voor de kust van **het eiland Antikythera**. Het ligt nu net geen 2000 jaar onder water.



7.3.3. 1900

Tijdens een duik op zoek naar spons vinden de duikers een scheepswrak waarin ze het mechanisme vinden. Naast het mechanisme vinden ze ook vazen en andere schatten, grotendeels tentoongesteld in het Grieks Nationaal Archeologisch museum. Ook vonden ze een Epphese, die in perfecte staat was. Later noemden ze die de epphese van Antikythera (een Epphese is een jonge man net voor hij naar het leger moet, dus ong. 18 jaar. Hij wordt altijd erg gespierd afgebeeld).



Ze vonden ook een marmeren standbeeld van een bijna knielende jongeman. Men kan hier goed zien hoe 2000 jaar zee het standbeeld afbrokkelt want het lag voor de helft (die onbeschadigd is) in de bodem, en de andere helft erboven.

7.3.4. 1902

Toen men het mechanisme in 1900 had gevonden, kon men niet zien dat er tandwielen in zaten. Corrosie had alles aangetast. Maar door het naar boven brengen van het mechanisme droogde het uit waardoor het in 1902 splijtte in 6 stukken, die nu tentoongesteld staan in het museum. Na dat het gesplit was begon met zich af te vragen wat precies die tandwielen waren, maar het heeft tot in 1951 geduurd tot er iemand zich mee bezig hield.

7.3.5. 1951

Dit is het jaar waarin **Derek de Solla Price** de overblijfselen van het Antikythera mechanisme bestudeerde. Uit zijn bevindingen maakte hij een model, maar door de hedendaagse technologieën is dit al lang achterhaald.



7.3.6. 1972-1974

In 1972 maakte Price samen met hulp van **Karakalos** een scan van het mechanisme met behulp van X-stralen, dit legde enkele nieuwe vondsten voor. In 1974 stelde Price zijn nieuw model voor.

7.3.7. 1986

Alan Bromley maakt uit nieuwe studies van het mechanisme, en de bevindingen van Price een correcter model, in samenwerking met **Frank Percival**, een klokkenmaker uit Sydney. Michael Wright hielp hem met het maken van veel nauwkeurigere X-scans. Bernard Gardner (een student van Bromley) bestudeerde deze scans nog in 1993.

7.3.8. 2006

Michael Wright, eerst curator van de afdeling mechanische techniek van het Londense Science Museum, nu van het Imperial College, maakte op basis van x-rays een nieuwe studie. Door middel van die x-rays konden ze de brokstukken in 3D voorstellen, en konden door computermiddelen de inscripties vele malen nauwkeuriger bestuderen. Hierbij kwam men een hoop nieuwe eigenschappen te weten. Michael stelt ook dat het mechanisme een planetarium was, die de standen van de toen gekende 5 planeten toonde, maar hierover is er maar weinig bewijs en sommigen spreken hem tegen. Hij maakte een schitterende replica van het mechanisme.

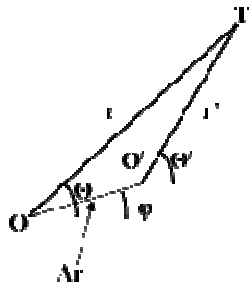


7.4. Tandens berekenen

7.4.1. Methode om het aantal tanden van de brokstukken te bepalen

De hoek Θ_i van tanduiteinden ten opzichte van het center kan gegeven worden volgens het model $a + n \cdot \Delta\Theta$. Een goeie pasvorm kan dan weergegeven worden als parameter $\varepsilon = \sum_n (\Theta_n - (a + n \cdot \Delta\Theta))^2$ waar Θ_n gekozen is als theoretisch modelpunt dat het dichtst bij het werkelijke centerpunt ligt. De verschuivingsparameter a wordt gebruikt om ε te minimaliseren, door te vereisen dat $\sum_i \Theta_i = \sum_i (a + i \cdot \Delta\Theta)$. We onderzoeken dan hoe $\frac{1}{\varepsilon}$ verloopt als een functiewaarde van $\Delta\Theta = \frac{360}{T}$, waar T het totale aantal tanden zijn op het tandwiel, om te zoeken hoe we de waarde ε moeten minimaliseren. Als de fouten in de gegevens normaal volgens de Gauss-curve zijn, zou dit een "maximumwaarschijnlijkheids" raming van de ware aantal tanden moeten geven. De tellingen zijn gevoelig voor het plaatsen van het veronderstelde centrum van het tandwiel. Dit kan door transformatie van een gemeten reeks gegevens worden onderzocht (zie onderstaand model), en wij pogen om de "beste" pasvorm, d.w.z. sterkste piek te vinden in $\frac{1}{\varepsilon}$ voor redelijke variatie van de centrumpositie. In sommige gevallen geeft een unieke tandtelling een zeer duidelijke geïsoleerde piek, in andere gevallen impliceert een waaier van pieken een waaier van mogelijke aantal totale tanden.

Overweeg een gemeten tanduiteinde T bij hoek Θ van een bepaald centrum O, met een gemeten afstand r van het centrum aan het tanduiteinde. Verplaats nu het centrum naar O' door een afstand Δr onder een hoek φ .



In driehoek OO'T geldt : $\widehat{OO'T} = 180^\circ - (\Theta' - \varphi)$

In driehoek OTO' geldt : $\widehat{OTO'} = 180^\circ - (\Theta - \varphi) - \widehat{OO'T} = \Theta' - \Theta$

sinusregel :

$$\frac{r}{\sin(180^\circ - (\Theta' - \varphi))} = \frac{\Delta r}{\sin(\Theta' - \Theta)}$$

$$\sin(\Theta' - \Theta) = \frac{\Delta r}{r} \cdot \sin(\Theta' - \varphi) \quad \sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta - \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\sin \Theta' \cdot \cos \Theta - \cos \Theta' \cdot \sin \Theta = \frac{\Delta r}{r} \cdot (\sin \Theta' \cdot \cos \varphi - \cos \Theta' \cdot \sin \varphi)$$

$$\sin \Theta' \cdot \left(\cos \Theta - \frac{\Delta r}{r} \cdot \cos \varphi \right) = \cos \Theta' \cdot \left(\sin \Theta - \frac{\Delta r}{r} \cdot \sin \varphi \right)$$

$$\Theta' = A \tan \left(\frac{\sin \Theta - \frac{\Delta r}{r} \cdot \sin \varphi}{\cos \Theta - \frac{\Delta r}{r} \cdot \cos \varphi} \right)$$

Dit is de formule die in de analyse van het zoeken naar het "beste" centrum wordt gebruikt. Een nuttige benadering kan voor kleine Δr geschreven worden als:

stel $\Theta' - \Theta = \Delta\Theta$ en is klein, dan

$$\sin(\Theta' - \Theta) = \frac{\Delta r}{r} \cdot \sin(\Theta + \Delta\Theta - \varphi) = \frac{\Delta r}{r} \cdot (\sin(\Theta - \varphi) \cdot \cos\Delta\Theta - \cos(\Theta - \varphi) \cdot \sin\Delta\Theta)$$

$$\sin\Delta\Theta \approx \Delta\Theta \quad \cos\Delta\Theta \approx 1 - \frac{\Delta\Theta}{2}$$

$$\sin(\Theta' - \Theta) = \frac{\Delta r}{r} \cdot \left(\sin(\Theta - \varphi) \cdot \left(1 - \frac{\Delta\Theta}{2}\right) - \cos(\Theta - \varphi) \cdot \Delta\Theta \right)$$

aangezien $\Delta\Theta$ en $\frac{\Delta r}{r}$ beiden klein zijn volgt daaruit :

$$\sin(\Theta' - \Theta) \approx \Delta\Theta \approx \frac{\Delta r}{r} \cdot \sin(\Theta - \varphi)$$

$$\Theta' \approx \Theta + \frac{\Delta r}{r} \cdot \sin(\Theta - \varphi)$$

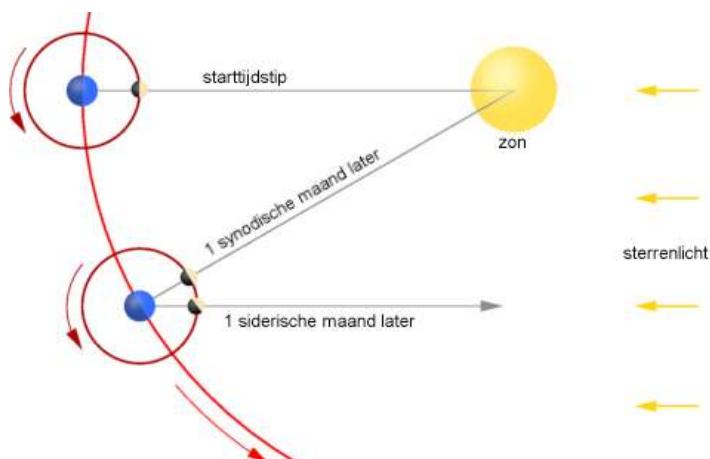
$$\Delta\Theta' \approx \Delta\Theta \cdot \left\{ 1 + \frac{\Delta r}{r} \cdot \cos(\Theta - \varphi) \right\}$$

$$n' = \frac{2\pi}{\Delta\Theta'} \quad n = \frac{2\pi}{\Delta\Theta}$$

$$\frac{n}{n'} = \frac{\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \left(1 + \frac{\Delta r}{r} \cdot \cos(\Theta - \varphi) \right) \cdot d\Theta}{\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} d\Theta} = \frac{\pi - 2 \cdot \frac{\Delta r}{r}}{\pi}$$

$$\frac{n}{n'} \approx 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\Delta r}{r} \quad \Delta n \approx n \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\Delta r}{r}$$

7.4.2. Bewijs: $1 + \lambda = \mu$



1 synodische maand duurt: 29,5 dagen

1 siderische maand duurt 27,25 dagen

sterrenlicht

Gezien van op de aarde, laat dan

a = de hoeksnelheid van de maan ten opzichte van de aarde (groot)

b = de hoeksnelheid van de zon (klein)

c = de hoeksnelheid van de maan ten opzichte van de zon

dan is:

$$c = a - b$$

$$b + c = a$$

$$1 + \frac{c}{b} = \frac{a}{b}$$

$$1 + \lambda = \mu$$

hierbij is λ dan het aantal synodische maanden per jaar en is μ het aantal siderische maanden per jaar.

7.5. Cyclussen

7.5.1. De cyclus van Metone

7.5.1.1. Theoretisch

De Griek Metone heeft een kalender geconstrueerd waarbij maanden van 29 en 30 dagen elkaar afwisselden. Deze cyclus bedraagt 19 jaar, en bezit 7 schrikkelmaanden. Van die 7 schrikkelmaanden bestaan er 6 uit 30 dagen en 1 uit 29 dagen. Waar een schrikkeljaar in de zonnejaar-rekening valt wordt ook een extra dag toegevoegd aan het bijzondere maanjaar.

Een gewoon maanjaar telt 354 dagen maar de werkelijke tijd bedraagt 12 maanomlopen en dus 354,3670652765 dagen.

Metone ontdekte dat negentien tropische jaren vrijwel gelijk zijn aan 235 synodische maanden, het verschil bedraagt slechts 0,0866 dag. Het is ook vrijwel gelijk aan 255 draconische maanden en aan 235 synodische maanden. Om de negentien jaar vallen de maanfasen dientengevolge op bijna dezelfde data. Op basis van deze bevindingen stelde Metone een tijdrekenkundige cyclus voor. Deze cyclus begon op 13 juli 432 v.Chr.

De cyclus van Metone bevat 6940 dagen of 125 maanden van 30 dagen en 110 maanden van 29 dagen ($125 \times 30 + 110 \times 29 = 3750 + 3190 = 6940$), en bestond uit normale jaren van twaalf maanden en uit schrikkeljaren van dertien maanden. De schrikkeljaren waren de jaren 3, 5, 8, 11, 13, 16 en 19 van de cyclus. De nauwkeurigheid van de Metonische cyclus blijkt uit de volgende vergelijking.

Duur van het jaar bij Metone:

$$365^d 6^h 18^m 57^s$$

Duur van een maand:

$$29^d 12^h 45^m 57,5^s$$

Duur van een tropisch jaar:

$$365^d 5^h 48^m 45,17^s$$

Duur van een synodische maand:

$$29^d 12^h 44^m 2,8^s$$

1.1.1.1. Gulden getal φ

Het gulden getal wordt aan een jaar toegerekend volgens de tijdrekening gebaseerd op de Metonische cyclus. Het jaar waarin nieuwe maan op 1 januari valt krijgt het getal 1, het volgende jaar 2 etc. Het gulden getal is van belang voor het bepalen van de kerkelijke paasdatum.

$$\varphi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1,62$$

Bewijs:

Het gulden getal is de verhouding waarvoor geldt:

$$\frac{|AS|}{|SB|} = \frac{|AB|}{|AS|}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{a+b}{a}$$

$$\varphi = \frac{a+b}{a} = 1 + \frac{1}{\varphi}$$

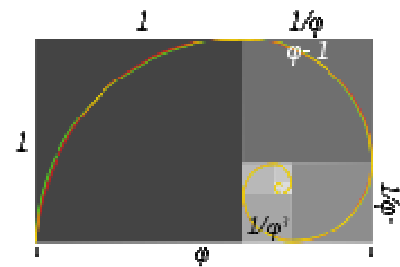
$$\varphi^2 = \varphi + 1$$

$$\varphi^2 - \varphi - 1 = 0$$

$$D = b^2 - 4 \cdot a \cdot c = (-1)^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-1) = 5$$

$$\varphi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$

$$\left(\varphi = \frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right)$$



Wiskundige benadering:

$$\varphi = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\dots}}}}$$

Deze is beter bekend als de rij van Fibonacci

7.5.1.2. Algoritme om het aantal synodische maanden per jaar te berekenen

Per 19 jaar zijn er 235 synodische maanden:

Laat S de opeenvolging zijn van het aantal nieuwe maanden van elk jaar voor een periode van 50 jaar.

$$S = \{12\}, 13, 12, 12, 13, 12, 13, \dots$$

Laat dS de afgeleide opeenvolging zijn van de stappen van iedere 13 tot de volgende.

$$dS = 3, \{2\}, 3, 3, 3, 2, 3, \dots$$

Herhaal het proces.

$$dS^2 = 2, \{1\}, 1, 2, 1, 2, \dots$$

$$dS^3 = 3, \{2\}, 3, 2, 3, 2, 2, 3, \dots$$

$$dS^4 = \{2\}, 2, 3, \dots$$

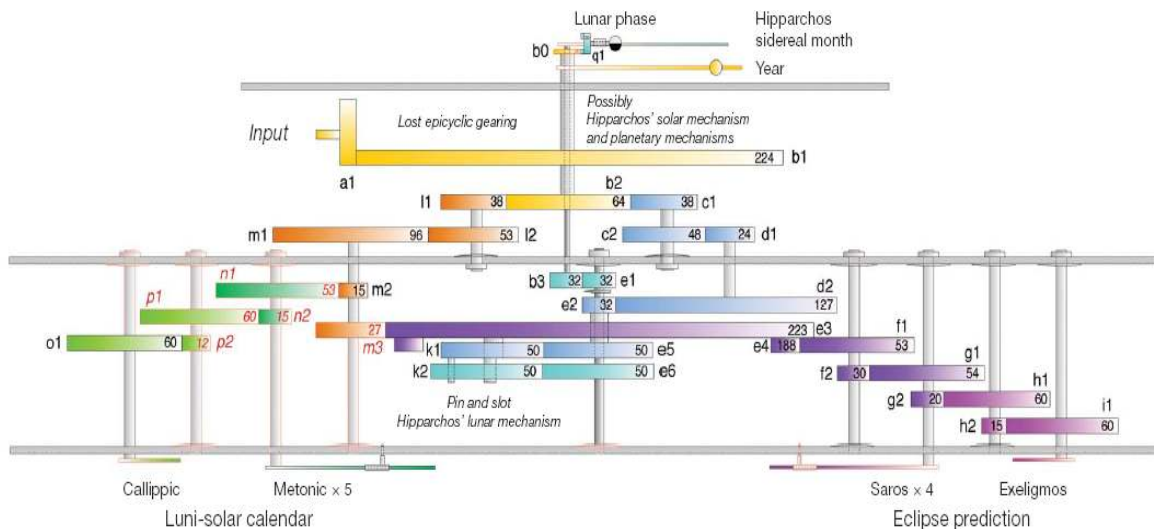
men kan dS^n beschouwen als de wijzergetallen van een kettingbreuk.

$$\lambda = \{12\} + \frac{1}{\{2\} + \frac{1}{\{1\} + \frac{1}{\{2\} + \frac{1}{\{2\}}}}$$

$$\lambda = \frac{228 + 7}{19} = \frac{235}{19}$$

we hebben reeds bewezen dat $1 + \lambda = \mu$

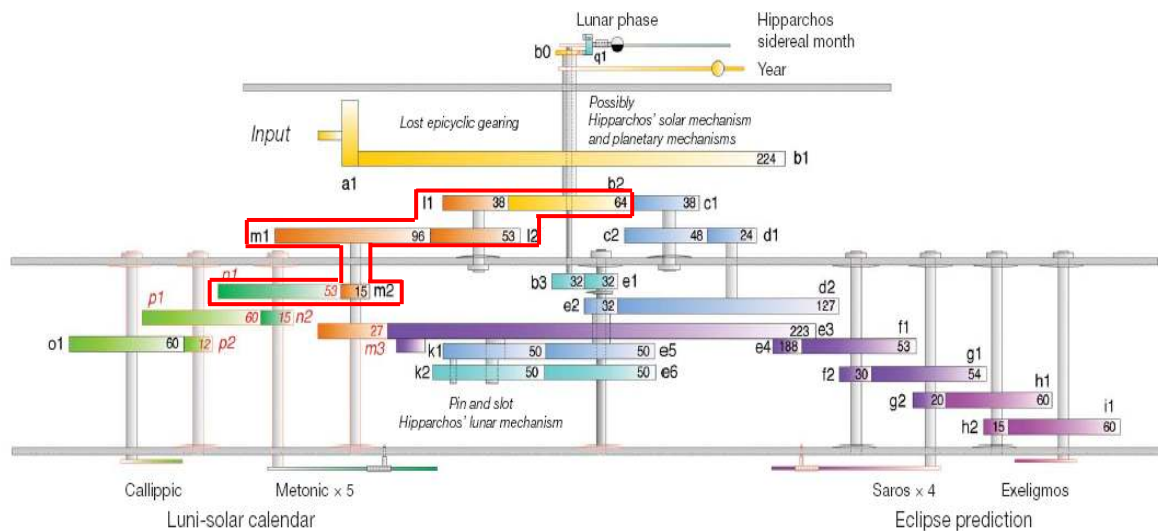
$$\mu = \frac{254}{19}$$



Als we nu eens het schema bekijken dan kunnen we besluiten dat tandwiel e2 het aantal siderische maanden per jaar voorstelt want:

$$\begin{aligned} \text{tandwieloverbrenging} &= \frac{B2}{C1} \cdot \frac{C2}{D1} \cdot \frac{D2}{E2} \\ &= \frac{64}{38} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{127}{32} \\ &= \frac{254}{19} \\ &= \mu \end{aligned}$$

7.5.1.3. Praktisch



We weten dat de cyclus van Metone 6940 dagen bedraagt.

Deze cyclus beslaat dus:

$$\frac{6940 \text{ dagen}}{365,24 \text{ dagen}} = 19,00120469 \text{ jaar}$$

Nu gaan we bekijken welke tandwieloverbrenging het Antikythera mechanisme hiervoor gebruikt.

$$\frac{53}{15} \times \frac{96}{53} \times \frac{38}{64} = 3,8 \text{ jaar}$$

Op de achterplaat kunnen we zien dat de wijzer 5 toeren moet doen eer het een metonische cyclus heeft doorlopen.

$$3,8 \times 5 = 19 \text{ jaar}$$

We bekommen dus dat dit nagenoeg perfect gelijk is.

Het mechanisme loopt dus 0,00120469 jaar achter per jaar.

Dit is dus:

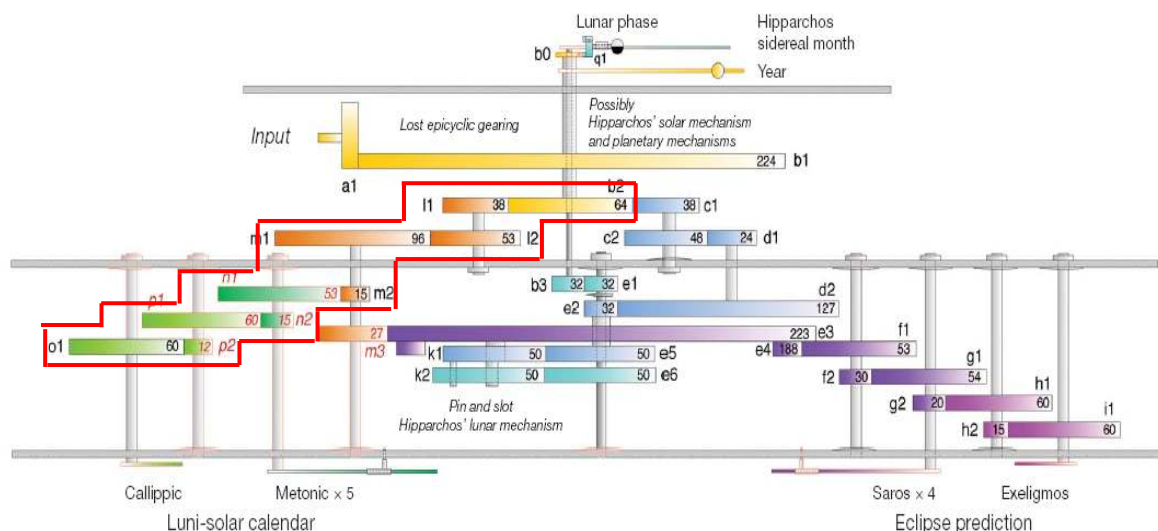
$$\begin{aligned} \frac{0,00120469}{19,00120469} &= 6,340071694 \times 10^{-5} \frac{\text{jaar}}{\text{jaar}} = 0,0231564779 \frac{\text{dagen}}{\text{jaar}} \\ &= 0,5557554685 \frac{\text{uur}}{\text{jaar}} = \frac{33 \text{ min } 21 \text{ sec}}{\text{jaar}} \end{aligned}$$

7.5.2. De cyclus van Callippus

7.5.2.1. Theoretisch

Een eeuw na Metone verbeterde Callippus de Metonische cyclus door deze te vermenigvuldigen met 4. Dit zodat de 365d 6h 18min 56s of ong. 365d +1/4d van de Metonische cyclus per jaar veranderd in 4jaar inclusief 1 schrikkeljaar van de cyclus van Callippus. De volledige Callippus cyclus beslaat 76jaar of omgerekent 27 759 dagen. Maar er is 1 probleem met dit alles, door de benadering van 365d+1/4d komt het dat we per jaar 8minuten tekortkomen om het perfect juist te krijgen. Dit is dus dat op een gemiddelde maancyclus deze ongeveer 1minuut en 9seconden voorloopt per maanmaand. Hieruit volgt dus dat deze cyclus niet zo correct is.

7.5.2.2. Praktisch



We weten dat de cyclus van Callippus 4 keer een metonische cyclus beslaat.

Hieruit volgt dus dat:

$$4 \times 19,00120469 \text{ Jaar} = 76,00481876 \text{ jaar}$$

In het mechanisme is dit:

$$\frac{60}{12} \times \frac{60}{15} \times \frac{53}{15} \times \frac{96}{53} \times \frac{38}{64} = 76 \text{ jaar}$$

Hieruit kunnen we dus afleiden dat ook deze cyclus nagenoeg correct wordt weergegeven. Hij loop dus 0.00481876 jaar achter per 76 jaar, wat diezelfde 33min21sec zijn als bij de metonische cyclus.

7.5.3. De Saros-Cyclus

7.5.3.1. Theoretisch

De Saros-Cyclus was al bekend in de tijd van de Babyloniërs, met name als een beschrijving van maansverduisteringen, maar hij kan ook zonsverduisteringen voorspellen. In Griekenland ontdekten Metone en Euctemon de Saros in 432 v.Chr.

Met de Saros-cyclus kun je de regelmaat van zowel zons- als maansverduisteringen beschrijven.

Een Saros-cyclus beschrijft een periode van ± 223 maanden of 18 jaar + 10 of 11 dagen afhankelijk van of er 4 of 5 schrikkeljaren in deze periode zitten. Preciezer beschrijft een Saros-cyclus 6585,3 dagen. Dit betekent dat om de 18 jaar (+10 of 11 dagen) zon, maan en aarde vrijwel dezelfde posities ten opzichte van elkaar innemen dus dat alle zons- en maansverduisteringen zich om de 18 jaar (+10 of 11 dagen) herhalen. Maar dan 120° verschoven t.o.v. de aard-as.

Moest de verhouding tussen de maanden en jaren perfect $223/18$ zijn dan zouden de verduisteringen zich onbeperkt herhalen. Maar aangezien de werkelijke verhouding afwijkt van de ideale treden er verschuivingen op. Bovendien verandert de baan van de maan voortdurend. De Saros-cyclus van 18 jaar is in dit laatste opzicht relatief zeer gunstig en dit door de 2 overheersende effecten:

- een periodieke verandering in de excentriciteit van de maanbaan (periode van bijna 6 jaar)
- een draaiing van het baanvlak van de maan (periode ruim 18 jaar).

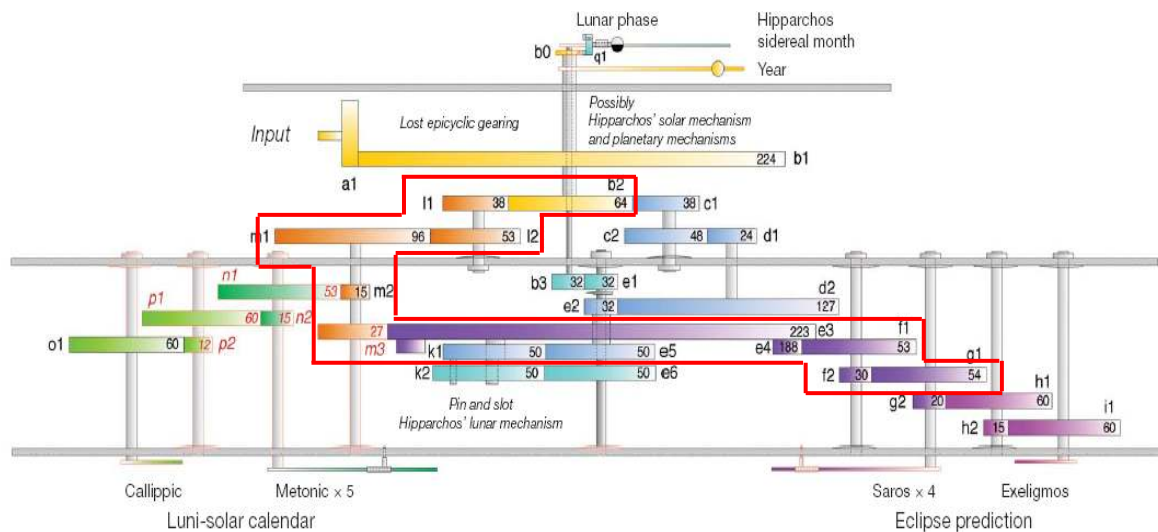
Een Saros-cyclus is een reeks bij elkaar horende verduisteringen en beslaat een tijdvak van 1226 tot 1550 jaar. Hierin vindt 69 tot 87 keer een eclips plaats waarvan 40-60 totale eclipsen zijn. Dit wil zeggen dat de zon volledig wordt afgeschermd door de maan.

De "8 uur" (zie 6585,3 dagen $1/3$ dag = 8uur) zorgt er voor dat steeds na drie maal de Saros-periode de zons- en maansverduisteringen weer te zien zijn op dezelfde plaats op aarde (= Exeligmos). Zo was het in februari 1961 een bijna totale zonsverduistering dus $3 \times 18 = 54$ en $1961 + 54 = 2015$ hieruit volgt dat in 2015 op de ongeveer zelfde plaats een bijna totale zonsverduistering te zien zal zijn.

Dit zal echter ong. 1 maand later zijn (3 x (10 of 11) dagen is één maand later) in dit geval $2 \times 10 + 1 \times 11$ dus 31 dagen of 1 maand.

Iedere Saros-reeks begint met een gedeeltelijke verduistering aan een van beide polen. Telkens achttien jaar later vindt er een verduistering plaats die steeds verder naar de andere pool opschuift en aanvankelijk steeds vollediger wordt. Maar duizenden jaren geleden kwam het ook wel eens voor dat na verloop van tijd de verduisteringen, ook wel eclipsen genoemd, weer "terug schoven" naar de pool waarvandaan zij begonnen waren; dit kwam doordat de aardbaan toen meer elliptisch was dan tegenwoordig. Hetzelfde is ook het geval met maansverduisteringen in die periode. Omdat de aardbaan geleidelijk aan steeds "ronder" zal gaan worden in de loop van de komende duizenden jaren, kunnen "heen en weer" gaande Saros-reeksen daarom nooit meer voorkomen, maar alléén maar "voortuitgaande" Saros-reeksen. Aan het eind van de serie valt de schaduw weer gedeeltelijk buiten de aarde en is de verduistering weer gedeeltelijk.

7.5.3.2. Praktisch



We weten uit de theorie dat de Saros-cyclus welgeteld 6585,3 dagen telt. Dit betekent:

$$\frac{6585,3 \text{ dagen}}{365,24 \text{ dagen}} = 18,03006242 \text{ jaar}$$

Bij het mechanisme is dit:

$$\frac{54}{30} \times \frac{53}{188} \times \frac{223}{27} \times \frac{96}{53} \times \frac{38}{64} = 4,507446809 \text{ jaar}$$

Op de achterplaat kunnen we zien dat de wijzer 4 toeren moet doen eer het een metonische cyclus heeft doorlopen.

$$4,507446809 \times 4 = 18,02978723 \text{ jaar}$$

Dit betekent dus dat er een afwijking op zit van:

$$18,03006242 - 18,02978723 = 2,7519 \times 10^{-4} \text{ jaar}$$

Dit is per jaar dus:

$$\frac{2,7519 \times 10^{-4}}{18,03006242} = 1,526284233 \times 10^{-5} \frac{\text{jaar}}{\text{jaar}} = 0,0055746005 \frac{\text{dagen}}{\text{jaar}}$$

$$= 0,1337904128 \frac{\text{uur}}{\text{jaar}} = \frac{8 \text{ min } 2 \text{ sec}}{\text{jaar}}$$

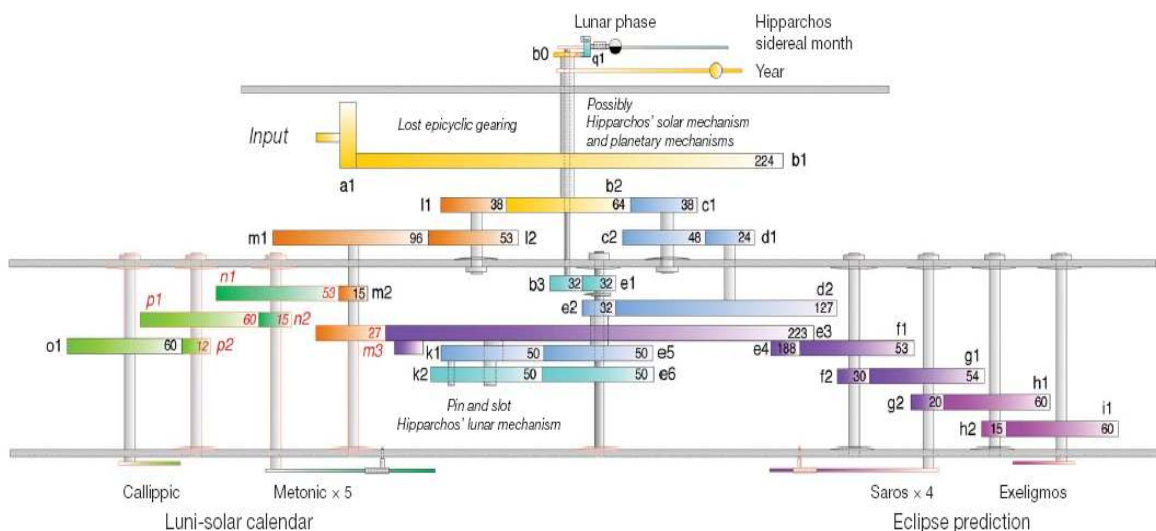
Hieruit kunnen we reeds besluiten dat het mechanisme een nauwkeurigere Saros-cyclus heeft dan zijn Metonische cyclus.

7.5.4. Exeligmos-cyclus

7.5.4.1. Theorie

Deze cyclus is in feite een 3 dubbele Saros-cyclus. Dit heeft als voordeel dat we met een geheel aantal maanden zitten waardoor na 1 Exeligmos-cyclus te hebben doorlopen de eclips op bijna exact dezelfde plaats weer zichtbaar is. Deze cyclus duurt welgeteld 54 jaar en 1 maand. ($3 \times 18j + 10 \text{ of } 11d$).

7.5.4.2. Praktisch



We weten dat een exeligmos-cyclus 3 Saros-cyclussen beslaat.

Een exeligmos-cyclus beslaat dus:

$$3 \times 18,03006242 = 54,09018726 \text{ jaar}$$

In de cyclus bedraagt deze:

$$\frac{60}{15} \times \frac{60}{20} \times \frac{54}{30} \times \frac{53}{188} \times \frac{223}{27} \times \frac{96}{53} \times \frac{38}{64} = 54,0893617 \text{ jaar}$$

Uiteindelijk zitten we dan ook weer met diezelfde afwijking als bij de Saros-cyclus van 8min2sec.

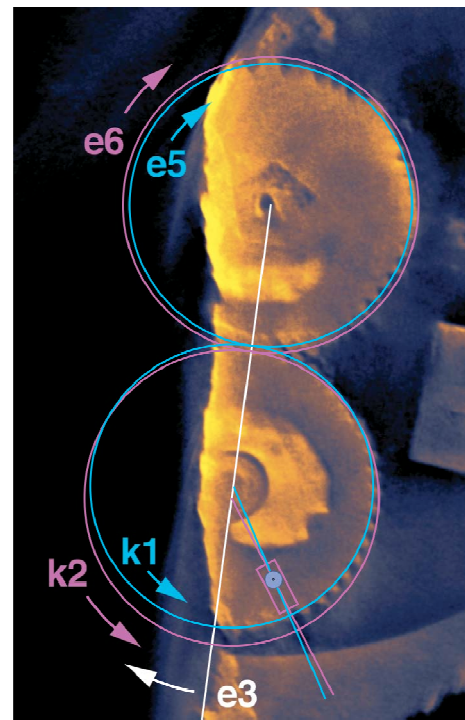
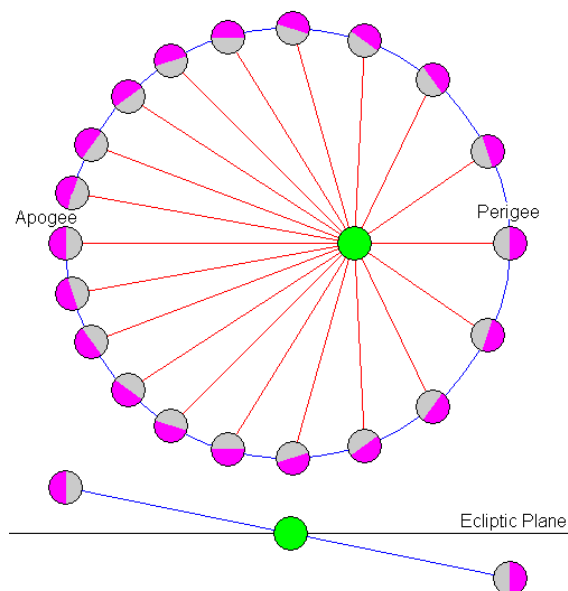
7.5.5. De cyclus van Hipparchus

De cyclus van Hipparchus is een verbetering op de cyclus van Callippus, die op zijn beurt een verbetering was op die van Metone. Dit komt doordat Hipparchus ontdekt had dat een jaar rond de evenaar ongeveer $1/300$ korter is dan de $365 + 1/4d$ die Callippus beschreef. Hierdoor kwam hij op het idee om na 4 Calippus-cycli (= 304 jaar), 1dag af te trekken. Hieruit volgt dat de Hipparchus-cyclus een lengte had van 304 jaar = 3760 maanmaanden = 111035 dagen. Dus heeft hij t.o.v. de Calippus-cyclus slechts een afwijking van 0,014 dagen maar is wel 1,37dagen langer dan 304 jaar rond de evenaar.

De cyclus van Hipparchus is eigenlijk de cyclus waarop dit hele mechanisme opgebouwd is, maar het is echter wel een mysterie waarom zijn cyclus hier dan niet op weergegeven wordt.

7.6. Maantheorie van Hipparchus

De maantheorie van Hipparchus kan men eigenlijk definiëren als een voorloper op de tweede wet van Kepler. In de praktijk vindt men de maantheorie terug bij de 4 tandwielen met elk 50 tanden die een cirkelvormige beweging omzet naar een elliptische beweging.



De bedoeling van dit stukje mechanisme is om een a: maken wanneer er zich een perigeo (Maan dichtst bij de Aarde) of een apogeo (Maan verst van de Aarde verwijderd) voordoet.

$$e = \frac{\text{apogeo}}{\text{perigeo}} = \frac{\pm 405500 \text{ km}}{\pm 363345 \text{ km}} \approx 1,1$$

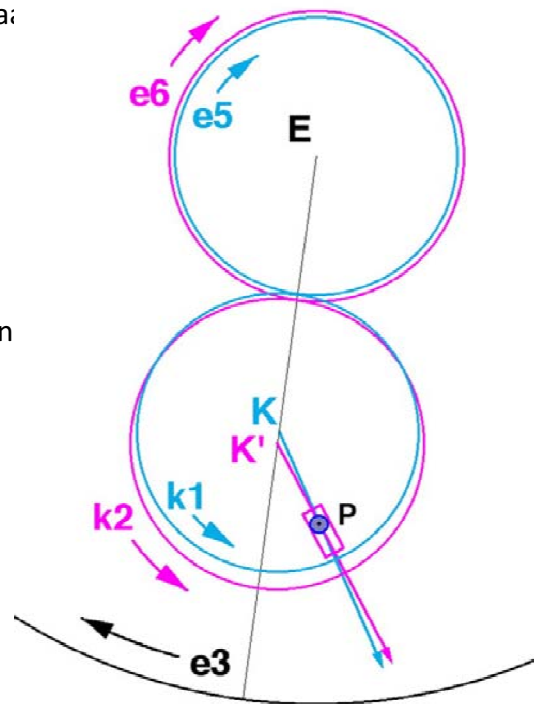
We kunnen ook een functie opstellen van hoe de pin P zich beweegt ten opzichte van K':

$$f(x) = \pm \text{Arc tan} \frac{e}{d}$$

met :

$$e = |kp|$$

$$d = |k'p|$$



7.7. Praktische realisatie

7.7.1. Tandwielen

7.7.1.1. Theorie

1) Soorten tandwieloverbrengingen

De meest voorkomende tandwieloverbrengingen zijn:



Overbrengingen met uitwendige cilindrische tandwielen. De tandwielen kunnen zijn uitgevoerd met rechte of met schuine tanden. De aslijnen van de tandwielen lopen evenwijdig met elkaar. Eén van de 2 tandwielen kan ook een tandlat zijn, waarbij de aslijnen terug evenwijdig met elkaar lopen, alleen wordt over de ene een cilindrische beweging gemaakt en bij de andere een axiale beweging.

Overbrengingen met uitwendige conische tandwielen. De tandwielen kunnen zijn uitgevoerd met rechte, schuine of gebogen tanden. De aslijnen hebben een snijpunt met elkaar.



Overbrengingen met uitwendige schroefvormige tanden.

De aslijnen zijn kruisend met elkaar. Een andere toepassing hierop is indien het ronsel slechts één of enkele tand(en) heeft, dan noemen we dit een wormwieloverbrenging.



2) Overbrengverhouding.

Net zoals bij kettingoverbrengingen is de overbrengverhouding bij tandwieloverbrengingen:

$$i = \frac{n_{Drijver}}{n_{Volger}} = \frac{Z_{Volger}}{Z_{Drijver}}$$

Hierin is:

$n_{Drijver}$ de rotatiefrequentie van de drijver

n_{Volger} de rotatiefrequentie van de volger

$Z_{Drijver}$ het aantal tanden de drijver (rondsel of worm)

Z_{Volger} het aantal tanden de volger (wiel)

3) Grondbeginsel tandflankvorm

Eis is dat de overbrengingsverhouding "i" bij tandwieloverbrengingen constant is en daaraan wordt alleen voldaan als:

$$i = \frac{n_{Drijver}}{n_{Volger}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{Drijver}}{2 \cdot \pi \cdot n_{Volger}} = \frac{\omega_{Drijver}}{\omega_{Volger}}$$

Hierin is:

$\omega_{Drijver}$ de hoeksnelheid van de drijver

ω_{Volger} de hoeksnelheid van de volger

M.a.w. als $\omega_{Drijver}$ constant is moet ω_{Volger} ook constant zijn. Of hieraan wordt voldaan, hangt af van de vorm van de samenwerkende tandflanken. De samenwerkende drijver-en volgertandflanken raken elkaar in punt C (zie afbeelding). In dat punt is $v_{Drijver}$ de omtreksnelheid van de drijver en v_v de omtreksnelheid van de volger. In de afbeelding zijn deze omtreksnelheden ontbonden volgens de richting van de raaklijn door het gemeenschappelijk raakpunt C van beide tandflanken ($v_{DrijverR}$ en $v_{VolgerR}$) en in de richting loodrecht daarop ($v_{DrijverN}$ en $v_{VolgerN}$). De loodrechte snelheden $v_{DrijverN}$ en $v_{VolgerN}$ moeten gelijk zijn anders zouden de tandflanken in elkaar dringen of zich van elkaar verwijderen. Als de snelheden $v_{DrijverR}$ en $v_{VolgerR}$ gelijk zouden zijn, zou dat ideaal zijn, maar zo niet, dan zullen de tandflanken langs elkaar glijden. Dat kan zonder meer, maar hoe groter het snelheidsverschil, des te groter is de kans op slijtage van de tandflanken. Uit de twee stellen gelijkvormige driehoeken (zie afbeelding) volgt dat:

$$v_{Drijver} : v_{DrijverN} = r_{cd} : a_{Drijver}$$

$$v_{DrijverN} = \frac{v_{Drijver} \cdot a_{Drijver}}{r_{cd}}$$

$$v_{Volger} : v_{VolgerN} = r_{cv} : a_{Volger}$$

$$v_{VolgerN} = \frac{v_{Volger} \cdot a_{Volger}}{r_{cv}}$$

$$\text{met } v_{DrijverN} = v_{VolgerN}$$

$$\frac{v_{Drijver} \cdot a_{Drijver}}{r_{cd}} = \frac{v_{Volger} \cdot a_{Volger}}{r_{cv}}$$

$$\text{met } \omega_{Drijver} = \frac{v_{Drijver}}{r_{cd}} \text{ en } \omega_{Volger} = \frac{v_{Volger}}{r_{cv}}$$

$$\omega_{Drijver} \cdot a_{Drijver} = \omega_{Volger} \cdot a_{Volger}$$

$$\frac{\omega_{Drijver}}{a_{Volger}} = \frac{\omega_{Volger}}{a_{Drijver}}$$

$$a_{Volger} : a_{Drijver} = r_{Volger} : r_{Drijver}$$

$$\frac{a_{Volger}}{a_{Drijver}} = \frac{r_{Volger}}{r_{Drijver}}$$

$$\frac{\omega_{Drijver}}{\omega_{Volger}} = \frac{r_{Volger}}{r_{Drijver}}$$

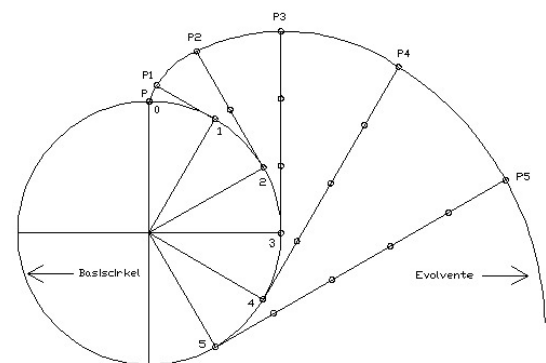
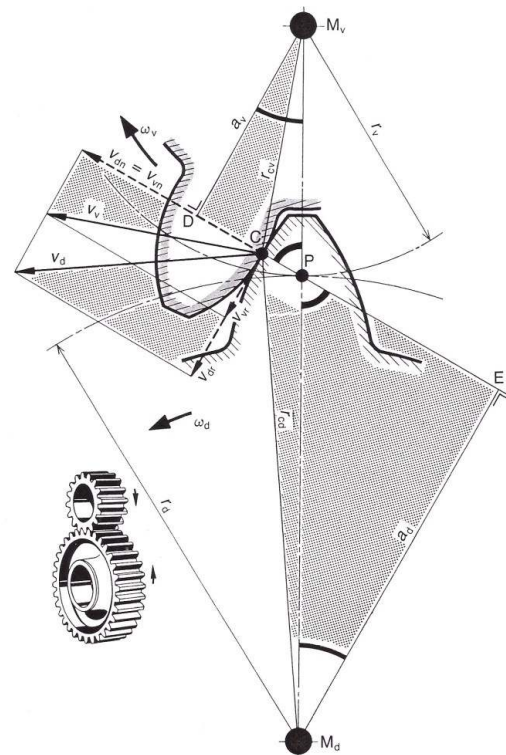
$$\frac{\omega_{Drijver}}{\omega_{Volger}} = \frac{r_{Volger}}{r_{Drijver}}$$

omdat $\frac{\omega_{Drijver}}{\omega_{Volger}} = i$ constant moet zijn, geldt dat ook voor $\frac{r_{Volger}}{r_{Drijver}}$.

Daaraan wordt alleen voldaan als zowel $r_{Drijver}$ als r_{Volger} constant zijn. Dat zal alleen het geval zijn als punt P niet van plaat verandert. Daarom moet voor samenwerkende tandflanken aan de normen van de afbeelding worden voldaan.

4) Evolvente

De meest voorkomende tandflankvorm is de evolvente. Het is een kromme die wordt beschreven door een punt E van een strak gespannen draad af te wikkelen rond de basiscirkel waarrond hij gewonden is.



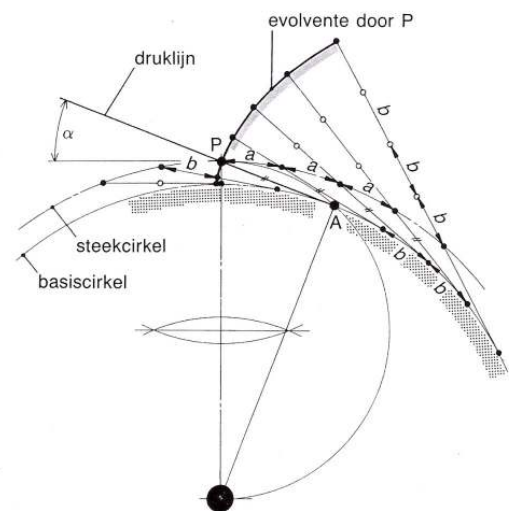
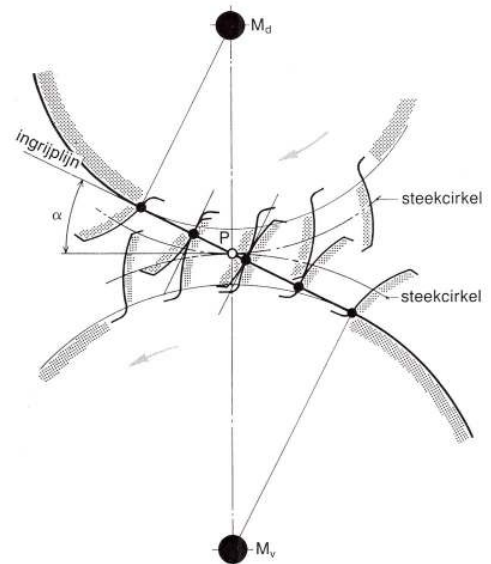
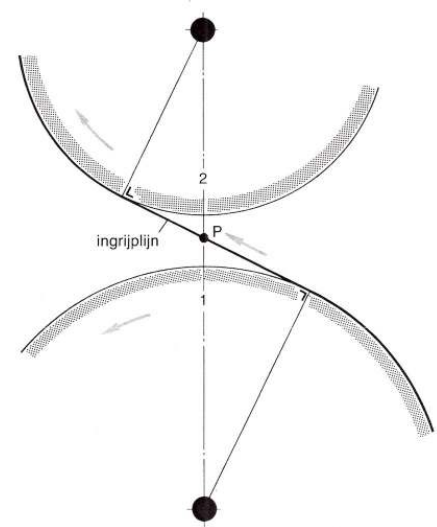
De denkbeeldige draad die om de basiscirkels 1 en 2 is gewonden, bewerkstelligt dat basiscirkel 1 wordt aangedreven wanneer basiscirkel 2 gaat draaien (de draad van basiscirkel 1 wordt overgewonden op basiscirkel 2).

Die denkbeeldige draad noemen we de ingrijplijn of druklijn van een tandwiel. De hoek $\alpha = 20^\circ$ is de drukhoek, dit is een universele hoek, terwijl die vroeger 14° was. Aangezien de ingrijplijn altijd door de pool P gaat, wordt bij de toepassing van tandwieloverbrengingen met evolvente tanden aan het grondbeginsel voldaan en is:

$$i = \frac{\omega_{Drijver}}{\omega_{Volger}} = \text{constant}$$

De cirkels die elkaar raken in pool P, heten de steekcirkels, in bedrijf rollen ze over elkaar en worden daarom ook wel rolcirkels genoemd.

De constructie van een evolvente tandflank door pool P, op een gegeven steekcirkel bij een gegeven drukhoek α , is uitgevoerd in deze bijhorende afbeelding. In deze figuur is tevens aangegeven hoe de straal van de basiscirkel en het raakpunt A van de druklijn hieraan, kan worden geconstrueerd. Vanuit P is op de steekcirkel een aantal willekeurige gelijke afstanden a afgepast. Met de aldus verkregen punten als straalpunt is steeds de afstand AP omgecirkeld op de basiscirkel. Er zijn lijnen getrokken door punten op de steekcirkel en op de basiscirkel die bij elkaar horen (raaklijnen



aan de basiscirkel). Elk van deze raaklijnen is te beschouwen als een denkbeeldige draad die één of meer afstanden b ten opzichte van de druklijn is afgewonden. Door vanaf de steekcirkel op de raaklijnen respectievelijk naarbuiten of naarbinnen het aantal afstanden b af te passen, dat de raaklijn ten opzichte van de ingrijplijn is afgewonden, wordt een aantal punten van de evolvente verkregen. Een vloeiende lijn door die punten geeft de evolvente tandflank.

5) Tandsteek en modulus

De langs de steekcirkel gemeten afstand tussen overeenkomende tandflanken van twee op elkaar volgende tanden, wordt de steek p (ook wel p_n = normaalsteek) genoemd. Is de steekcirkeldiameter d , dan is de omtrek daarvan $\pi \cdot d$. Het aantal steken komt overeen met het aantal tanden z . De omtrek van de steekcirkel is dus ook $z \cdot p$. Hieruit volgt dat

$$\pi \cdot d = z \cdot p$$

$$d = z \cdot \frac{p}{\pi}$$

daarbij noemen we de modulus $m = \frac{p}{\pi}$, om zo een genormeerde in gehele mm's waarde te krijgen die voor de industrie makkelijk te volgen is (voor genormaliseerde moduluswaarden zie NEN 1630).

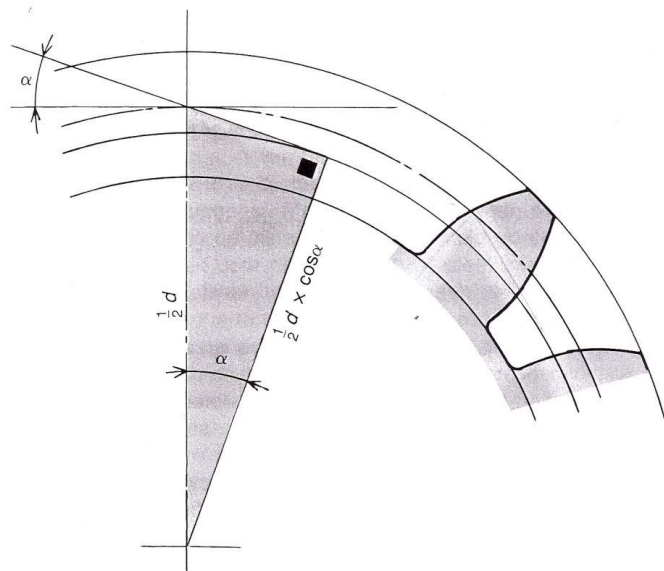
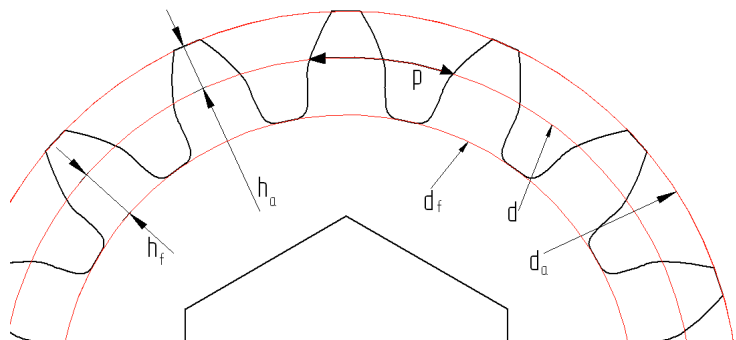
De keuze van een moduluswaarde geeft dus bij uitwendige tandwielen met rechte tanden een steekcirkeldiameter met een ronde maat.

Kophoogte $h_a = m$
 Voethoogte $h_f = 1,25m$
 Tandhoogte $h = h_a + h_f = 2,25m$
 Tandsteek $p = \pi \cdot m$
 Topcirkeldiameter $d_a = d + 2m$
 Voetcirkeldiameter $d_f = d - 2,5m$
 Basiscirkeldiameter $d_b =$

$d \cdot \cos \alpha$

Asafstand

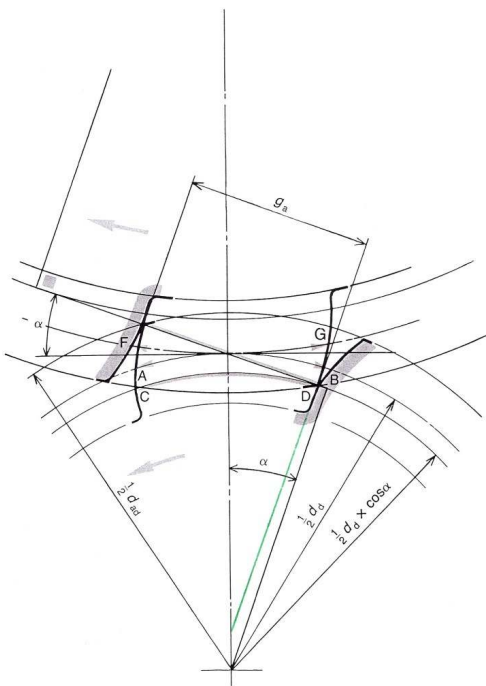
$$a = \frac{1}{2} \cdot (d_{\text{Drijver}} + d_{\text{Volger}})$$



6) Ingrijpweg, ingrijpboog en ingrijpverhouding

De twee uiterste standen waarbij een stel samenwerkende tandflanken elkaar raken, is afgebeeld in een van de vorige figuren. Het gedeelte van de ingrijplijn waarover twee tandflanken met elkaar samenwerken is de ingrijpweg g_a . Deze ligt tussen de kopcirkels van de drijver en de volger.

De uiterste standen waarbij twee samenwerkende tandflanken elkaar nog juist raken kun je zien op de afbeelding hiernaast. De steekcirkelbogen AB en FG worden de ingrijpbogen genoemd. Omdat de steekcirkels zonder slip over elkaar afrollen, geldt dat de booglengte AB gelijk is aan de booglengte FG. De ingrijpweg g_a is dan de basisbooglengte CD. Voorts geldt:



$$AB : CD = \frac{1}{2} d_{Drijver} : \frac{1}{2} d_{Drijver} \cdot \cos \alpha$$

$$AB : g_a = \frac{1}{2} d_{Drijver} : \frac{1}{2} d_{Drijver} \cdot \cos \alpha$$

$$AB = \frac{g_a \cdot \frac{1}{2} d_{Drijver}}{\frac{1}{2} d_{Drijver} \cdot \cos \alpha} = \frac{g_a}{\cos \alpha}$$

Indien de ingrijpboog kleiner zou zijn dan de tandsteek p , kunnen twee tandwielen niet goed samenwerken. Aan het einde van de ingrijping van een tandenpaar zou er dan namelijk geen volgend tandenpaar zijn om de overbrenging zonder onderbreking voort te zetten. Eis voor een constante overbrenging is, dat voordat de samenwerking van een

tandenpaar is beëindigd, reeds een volgend tandenpaar met elkaar samenwerkt. Dan geldt voor de ingrijpverhouding ε :

$$\varepsilon = \frac{\text{ingrijpboog}}{\text{tandsteek}} = \frac{g_a}{p \cdot \cos \alpha} > 1$$

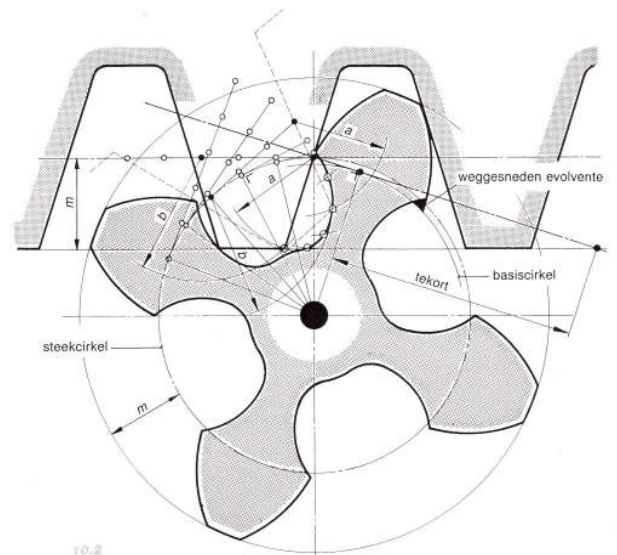
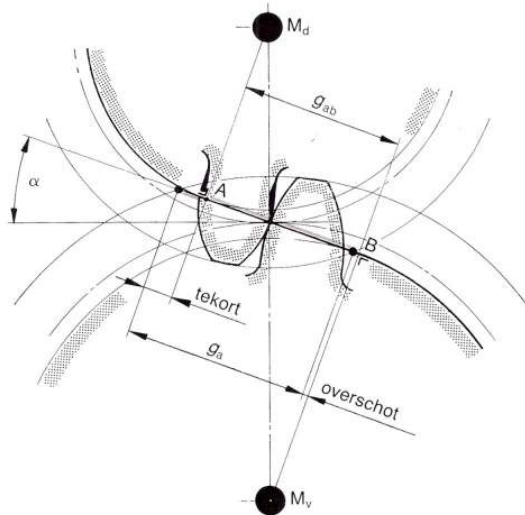
$$\varepsilon = \frac{g_a}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha} > 1$$

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{d_{ad}^2 - d_{bd}^2} + \sqrt{d_{av}^2 - d_{bv}^2} - 2a_w \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \pi \cdot m \cdot \cos \alpha}$$

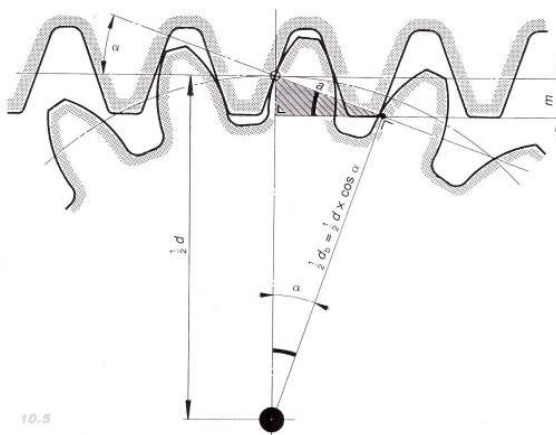
De afleiding van deze laatste formule blijft hier achterwege en in normale gevallen is de asafstand $a_w = a$ en $\alpha_w = \alpha$. Hoe groter de ingrijpverhouding, des te langduriger zullen twee tandenparen gelijktijdig samenwerken. Gedurende die tijd is de belasting per samenwerkende tandenpaar lager en loopt de overbrenging als geheel rustiger.

7) Valse ingrijping of ondersnijding

Het kan gebeuren dat g_{ab} beschikbaar is terwijl g_a nodig is. De benodigde ingrijpweg is dus groter dan de beschikbare. Maar toch is er een gering overschot aan de zijde van punt B en aan de zijde van punt A is er een tekort. Tot punt A, waar de ingrijplijn de basiscirkel van de drijver raakt, worden door de gemeenschappelijke raakpunten der tandflanken evolventen beschreven ten opzichte van de beide basiscirkels en wordt voldaan aan het grondbeginsel. Links van A echter is de denkbeeldige draad reeds om de basiscirkel gewonden, zodat vanaf A niet meer aan het grondbeginsel kan voldaan worden en zogenaamde valse ingrijping of ondersnijding optreedt. De tandknoppen van de volger dringen hierbij in de tandvoeten van de drijver, hetgeen uiteraard ontoelaatbaar is. Maximale ondersnijding treedt op als met een tandheugel (heeft oneindig grote steekcirkeldiameter) als snijgereedschap, een tandwiel met een gering aantal tanden wordt gefabriceerd. In welke mate de heugeltanden zich in de tandvoet van het tandwiel dringen, is te zien in onderstaande figuren. Als de benodigde ingrijpweg g_a binnen de beschikbare lijn ligt, is er geen valse ingrijping of ondersnijding. Vergroting van de drukhoek α vermindert de kans op ondersnijding, maar geeft een meer puntige tandvorm en een kortere ingrijpweg en vermindert de ingrijpverhouding.



8) Minimum toegestaan aantal tanden



De samenwerking van heugel en tandwiel in volgende afbeelding is zodanig, dat nog juist dat nog geen ondersnijding optreedt, uit de gearceerde driehoek volgt dat :

$$\sin \alpha = \frac{m}{a} \quad \text{of} \quad a = \frac{m}{\sin \alpha}$$

Volgens de gelijkvormige driehoek geldt:

$$\sin \alpha = \frac{a}{\frac{1}{2}d} \quad \text{of} \quad a = \frac{1}{2}d \cdot \sin \alpha$$

Laten we nu het aantal tanden waarbij nog juist geen ondersnijding optreedt, gesteld op z_{\min} , dan is:

$$d = z_{\min} \cdot m$$

$$a = \frac{1}{2} \cdot z_{\min} \cdot m \cdot \sin \alpha$$

$$\frac{m}{\sin \alpha} = \frac{1}{2} \cdot z_{\min} \cdot m \cdot \sin \alpha$$

$$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$$

algemeen nemen we voor $\alpha = 20^\circ$

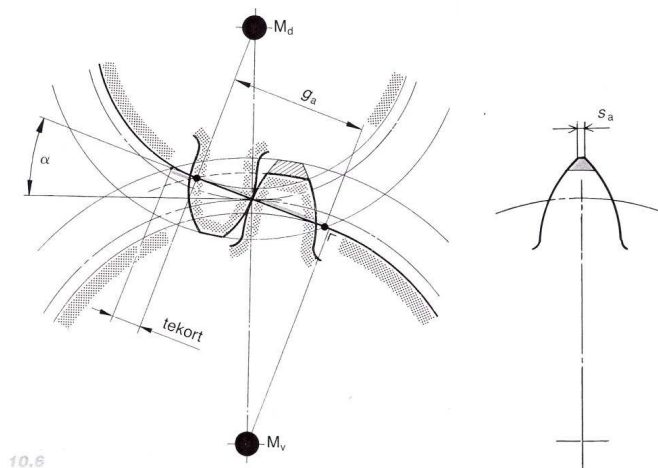
$$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 20^\circ} = 17,1$$

afgerond betekend dat 18 tanden

Er treedt dus valse ingrijping op bij een tandwiel met minder dan 18 tanden en gefabriceerd onder een drukhoek van 20° .

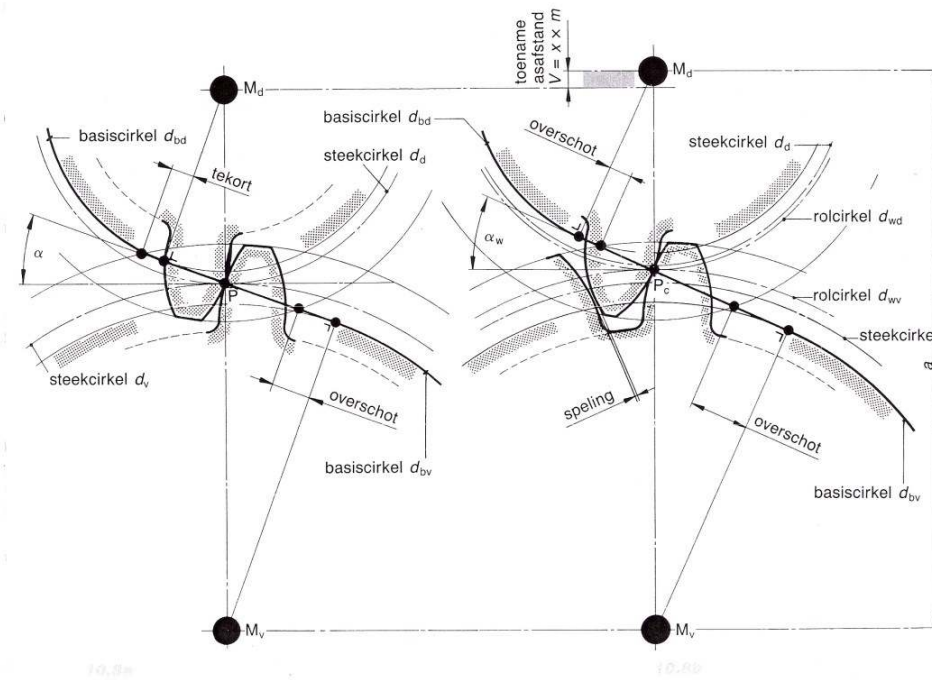
Om dit vermijden kan met dus ofwel de drukhoek α vergroten, of de kophoogte h_a verkleinen of een tandcorrectie toepassen

De tandhoogte van de volger is in de afbeelding hiernaast verkleind, daarmee blijkt het tekort aan ingrijpweg te zijn opgeheven. Nadelen hiervan zijn uiteraard dat de ingrijpweg, en dus ook de ingrijpboog en de ingrijpverhouding, kleiner worden. Echter in sommige gevallen, als de tandtopdikte $s_a < 0,2m$, is kopinkorting niet te vermijden.



Kopinkorting = $k \cdot m$
(met k is de
kopinkortingsfactor).

Positieve tandcorrectie is het meest voor de hand liggende middel om ondersnijding te voorkomen. Wordt de snijheugel over een zodanige afstand teruggetrokken, dat geen ondersnijding meer optreedt. Bij de dun getekende heugelstand is er ondersnijding. Wort de heugel ten opzichte van deze stand verplaatst over een afstand $V =$ de profielverschuiving, dan treedt geen ondersnijding meer op. In feite gaat bij positief gecorrigeerde tanden van dezelfde evolvente een grotere lengte deel uitmaken van de actieve tandflank. De basiscirkel, de steekcirkel en de fabricagedrukhoek α blijven dezelfde als bij niet positief gecorrigeerde tanden.



Steekcirkels en fabricagedrukhoek in de rechtse figuur zijn gelijk aan die van de linkse figuur; de rolcirkels worden bepaald door de ligging van de pool P_c .

$$i = \frac{z_{Volger}}{z_{Drijver}} = \frac{d_{wVolger}}{d_{wDrijver}} \text{ met } d_{wVolger} = \text{rolcirkelmiddellijn volger, en } d_{wDrijver} = \text{rolcirkelmiddellijn drijver}$$

$$d_{wDrijver} = \frac{2a}{1+i} \quad d_{wVolger} = \frac{2a \cdot i}{1+i}$$

De bedrijfsdrukhoek $\alpha_w >$ de fabricagedrukhoek α

Negatieve gevolgen van positieve tandcorrectie zijn:

- De asafstand word V groter.
- De grotere bedrijfsdrukhoek α_w heeft vermindering van de ingrijpweg en de ingrijpboog en dus ook van de ingrijpverhouding tot gevolg.
- Speling tussen de tanden van drijver en volger. Bij één draairichting behoeft dit geen bezwaar te zijn. Door de asafstand a te verminderen kan de speling bovendien worden opgeheven. Enige speling tussen de tanden is overigens altijd nodig uit oogpunt van smering.

Bij de met een tandwiel samenwerkende heugel in onderstaande figuur is ter vermindering van ondersnijding bij het tandwiel een positieve profielverschuiving $V = x \cdot m$, we noemen dan x de profielverschuivingsfactor.

Uit de tekening volgt

$$x = \frac{V}{m}$$

$$m = a + V \quad m = a + x \cdot m$$

$$a = b \cdot \sin \alpha$$

$$b = \frac{1}{2} d \cdot \sin \alpha$$

$$a = \frac{1}{2} d \cdot \sin^2 \alpha$$

$$m = \frac{1}{2} d \cdot \sin^2 \alpha + x \cdot m$$

met $d = z \cdot m$ is

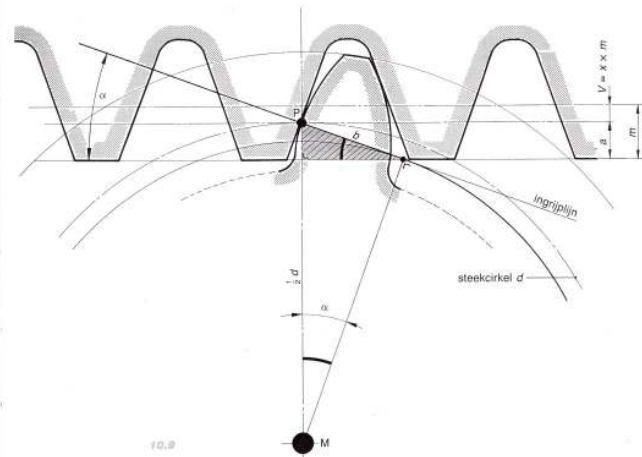
$$m = \frac{1}{2} z \cdot m \cdot \sin^2 \alpha + x \cdot m$$

$$1 = \frac{1}{2} z \cdot \sin^2 \alpha + x$$

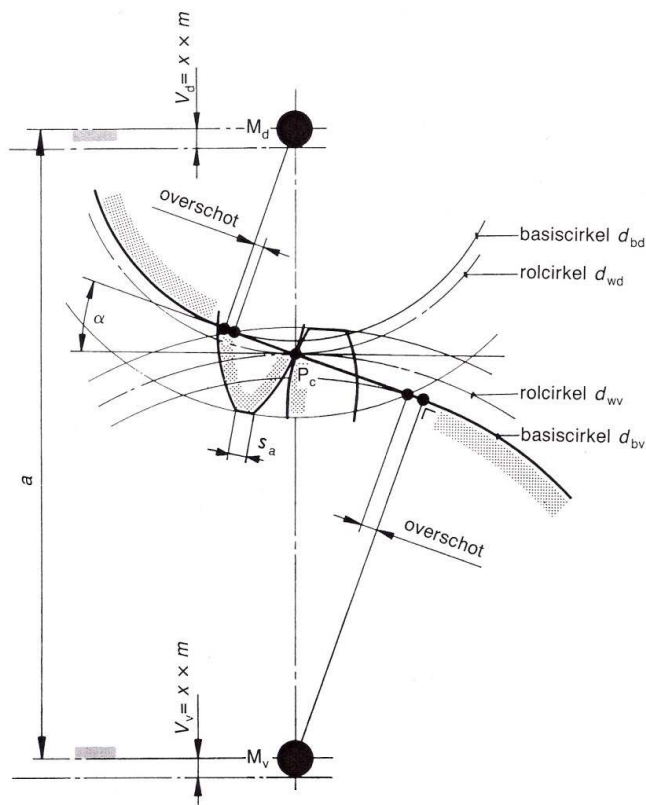
met $z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha} \quad \frac{1}{z_{\min}} = \frac{\sin^2 \alpha}{2}$ is

$$1 = z \cdot \frac{1}{z_{\min}} + x$$

$$x = 1 - \frac{z}{z_{\min}}$$



Wanneer men een drijvertandwiel positief corrigeert, wordt de asafstand daardoor groter



dan normaal. Is dat een bezwaar, dan kan dat worden vervangen door de tanden van de volger negatief te corrigeren. Bij zo'n negatieve correctie van de wieltanden wordt de snijheugel ten opzichte van de steekcirkel $V_{\text{Volger}} = V_{\text{Drijver}}$ naar het hart van de volger verplaatst. Top- en voetcirkelmiddellijnen worden bij positieve tandcorrectie $2V$ groter dan normaal. Bij negatieve tandcorrectie worden ze $2V$ kleiner. Er moet voorkomen worden dat bij positieve drijvertandcorrectie en even grote negatieve volgercorrectie, opheffing van drijverondersnijding wordt omgezet in volgerondersnijding.

In de figuur hier links zijn de drijvertanden positief gecorrigeerd (profielverschuiving $V_{Drijver}$), de volgertanden zijn evenveel gecorrigeerd ($V_{Volger} = V_{Drijver}$). Daardoor is bijna ondersnijding ontstaan.

Veel constructeurs passen ook in gevallen waarbij dat niet strict noodzakelijk is, zowel bij drijver als bij de volger, positieve profielverschuiving toe.

De positieve gevolgen hiervan zijn :

- Brede tandvoet, dus sterkere tanden
- De gemiddelde tandflankkromming van de tanden wordt minder evenals de contactspanning tussen de samenwerkende tandflanken.

Is de negatieve profielverschuiving van de volger gelijk aan de positieve profielverschuiving van de drijver, dan kan de asafstand a in principe onveranderd blijven.

$$a = \frac{1}{2} m \cdot (z_{Drijver} + z_{Volger}) + V_{Drijver} + V_{Volger} \text{ en } V_{Volger} \text{ is negatief}$$

Wil men de tandspeling, die zowel bij positieve als bij negatieve profielverschuiving ontstaat, opheffen, dan wordt de asafstand:

$$a_w = \frac{1}{2} m \cdot (z_{Drijver} + z_{Volger}) \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

$$\text{inv} \alpha_w = \text{inv} \alpha + 2 \cdot \frac{x_{Drijver} + x_{Volger}}{z_{Drijver} + z_{Volger}} \cdot \tan \alpha$$

$$\text{inv} \alpha = \tan \alpha - \alpha$$

In de formule is α in radialen uitgedrukt

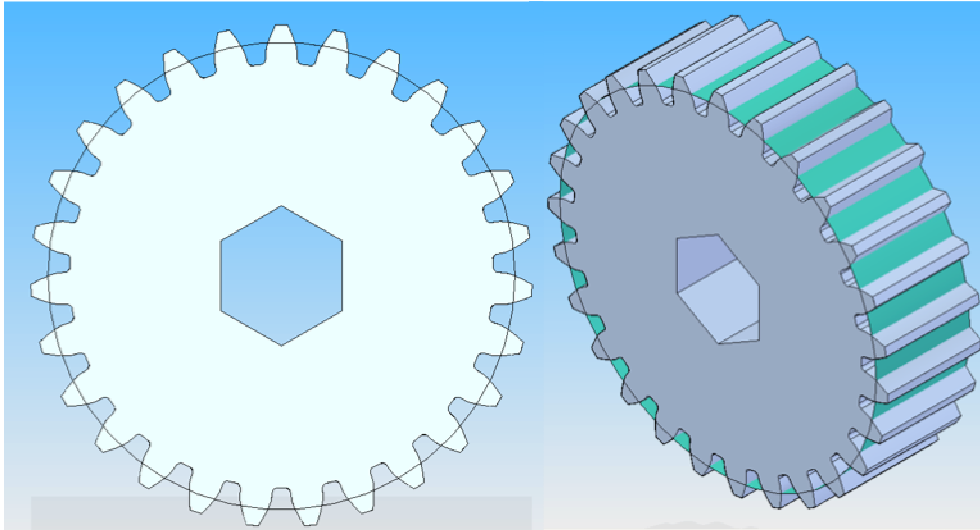
inv= evolventefunctie (gebruik daarvoor onderstaande tabel).

Omdat $\alpha_w > \alpha$ wordt de ingrijpverhouding ε kleiner.

α°	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
10	0,00179	0,00185	0,00191	0,00196	0,00202	0,00208	0,00214	0,00220	0,00227	0,00233
11	0,00239	0,00246	0,00253	0,00260	0,00267	0,00274	0,00281	0,00289	0,00296	0,00304
12	0,00312	0,00320	0,00328	0,00336	0,00344	0,00353	0,00362	0,00370	0,00379	0,00388
13	0,00398	0,00407	0,00416	0,00426	0,00436	0,00446	0,00456	0,00466	0,00477	0,00487
14	0,00498	0,00509	0,00520	0,00531	0,00543	0,00554	0,00566	0,00578	0,00590	0,00603
15	0,00615	0,00628	0,00640	0,00653	0,00667	0,00680	0,00693	0,00707	0,00721	0,00735
16	0,00749	0,00764	0,00778	0,00793	0,00808	0,00823	0,00839	0,00854	0,00870	0,00886
17	0,00903	0,00919	0,00936	0,00952	0,00969	0,00987	0,01004	0,01022	0,01040	0,01058
18	0,01076	0,01095	0,01113	0,01132	0,01152	0,01171	0,01191	0,01210	0,01231	0,01251
19	0,01272	0,01292	0,01313	0,01335	0,01356	0,01378	0,01400	0,01422	0,01445	0,01467
20	0,01487	0,01514	0,01537	0,01561	0,01585	0,01609	0,01634	0,01659	0,01684	0,01709
21	0,01735	0,01760	0,01787	0,01813	0,01840	0,01866	0,01894	0,01921	0,01949	0,01977
22	0,02005	0,02034	0,02063	0,02092	0,02122	0,02151	0,02182	0,02212	0,02243	0,02274
23	0,02305	0,02337	0,02368	0,02401	0,02433	0,02466	0,02499	0,02533	0,02566	0,02601
24	0,02635	0,02700	0,02705	0,02740	0,02776	0,02812	0,02849	0,02885	0,02922	0,02960
25	0,02998	0,03036	0,03074	0,03113	0,03152	0,03192	0,03232	0,03272	0,03312	0,03353
26	0,03395	0,03436	0,03479	0,03521	0,03564	0,03607	0,03651	0,03695	0,03739	0,03784
27	0,03829	0,03874	0,03920	0,03966	0,04013	0,04060	0,04108	0,04156	0,04204	0,04253
28	0,04302	0,04351	0,04401	0,04452	0,04502	0,04554	0,04605	0,04657	0,04710	0,04763
29	0,04816	0,04870	0,04925	0,04979	0,05034	0,05090	0,05146	0,05203	0,05260	0,05317
30	0,05375	0,05434	0,05492	0,05552	0,05612	0,05672	0,05733	0,05794	0,05856	0,05919
31	0,05981	0,06044	0,06108	0,06172	0,06237	0,06302	0,06368	0,06434	0,06501	0,06569
32	0,06636	0,06705	0,06774	0,06843	0,06913	0,06984	0,07055	0,07127	0,07199	0,07272
33	0,07345	0,07419	0,07493	0,07568	0,07644	0,07720	0,07797	0,07874	0,07952	0,08031
34	0,08110	0,08189	0,08270	0,08351	0,08432	0,08514	0,08597	0,08604	0,08764	0,08849
35	0,08934	0,09020	0,09107	0,09194	0,09282	0,09370	0,09459	0,09549	0,09640	0,09731

7.7.1.2. Realisatie

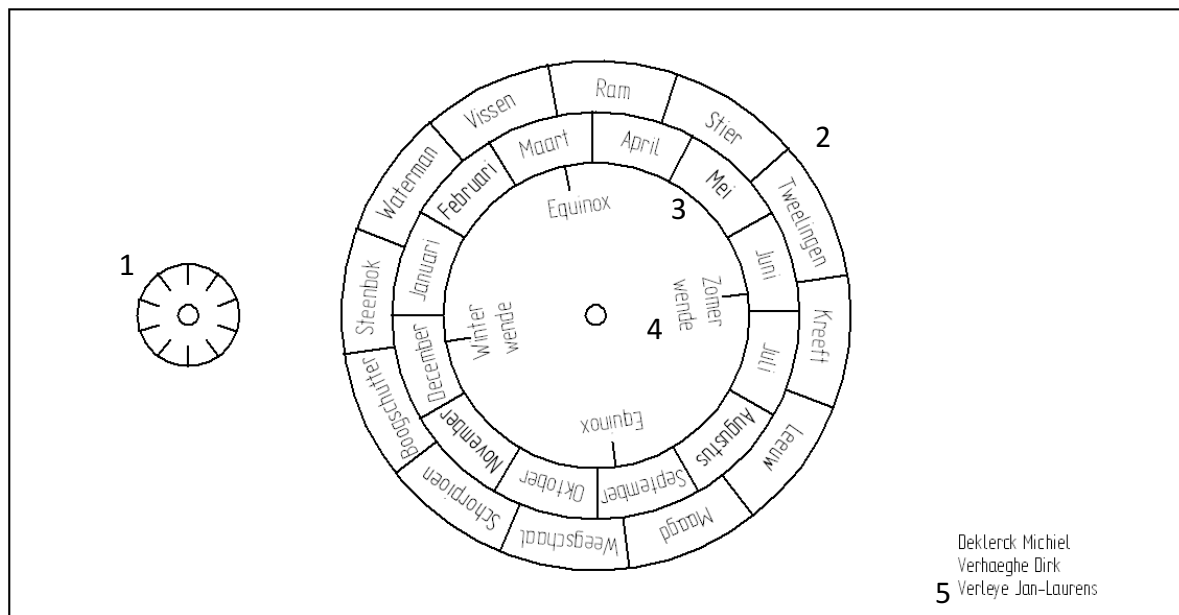
Voor de praktische realisatie van ons mechanisme maken we gebruik van uitgelaserde plexiglazen (8mm dik) tandwielen, waarbij we dus zelf het tandwiel tekenen in Solid Edge V21, en we brengen deze tekeningen tot bij de fabricant ervan in Beernem (Actual Laser)



In bijna alle tandwielen is er een zeskantboring voorzien, om het tandwiel te laten vastzitten op de zeskantas, maar om toch een axiale verschuiving te kunnen maken.

7.7.2. Frontplaat

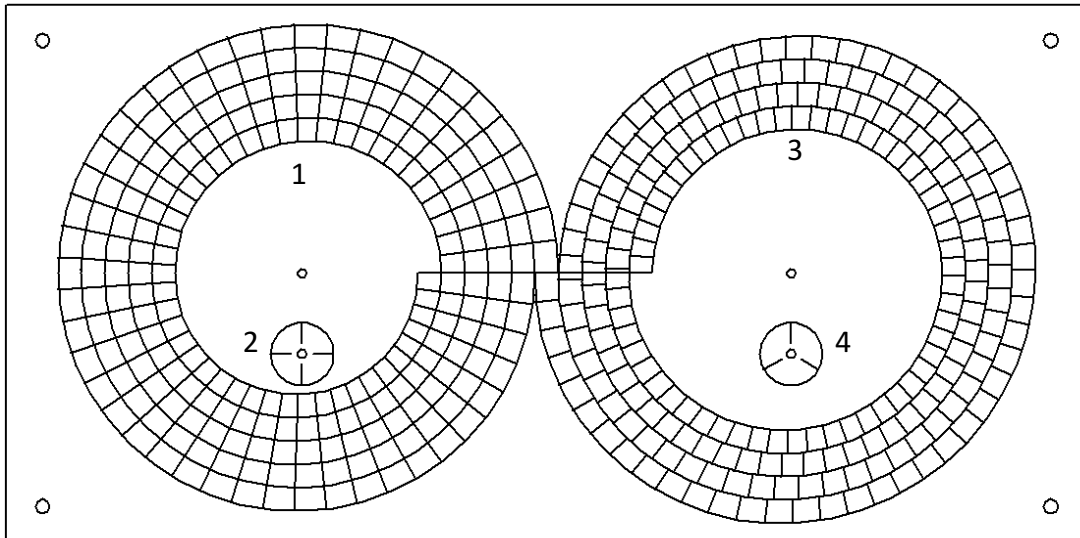
De frontplaat zal ook worden uitgelaserd uit Plexiglas (8mm dik), en daarna zal het laserapparaat ook de tekeningen er in graveren. Deze omvatten de namen van de medewerkers, een jaarkalender, een dierenriemkalender, en de vier belangrijkste data inzake afstand maan en zon (winterzonnewende, equinox en zomerzonnewende) en een 10 dagen-aanduiding. Voor de frontplaat worden de maanfasen weergegeven door een bol die vastgemaakt is op een as, die op zijn beurt vastgemaakt is aan een as die volgens een ecliptische beweging ronddraait, ondersteund door 2 conische tandwielen.



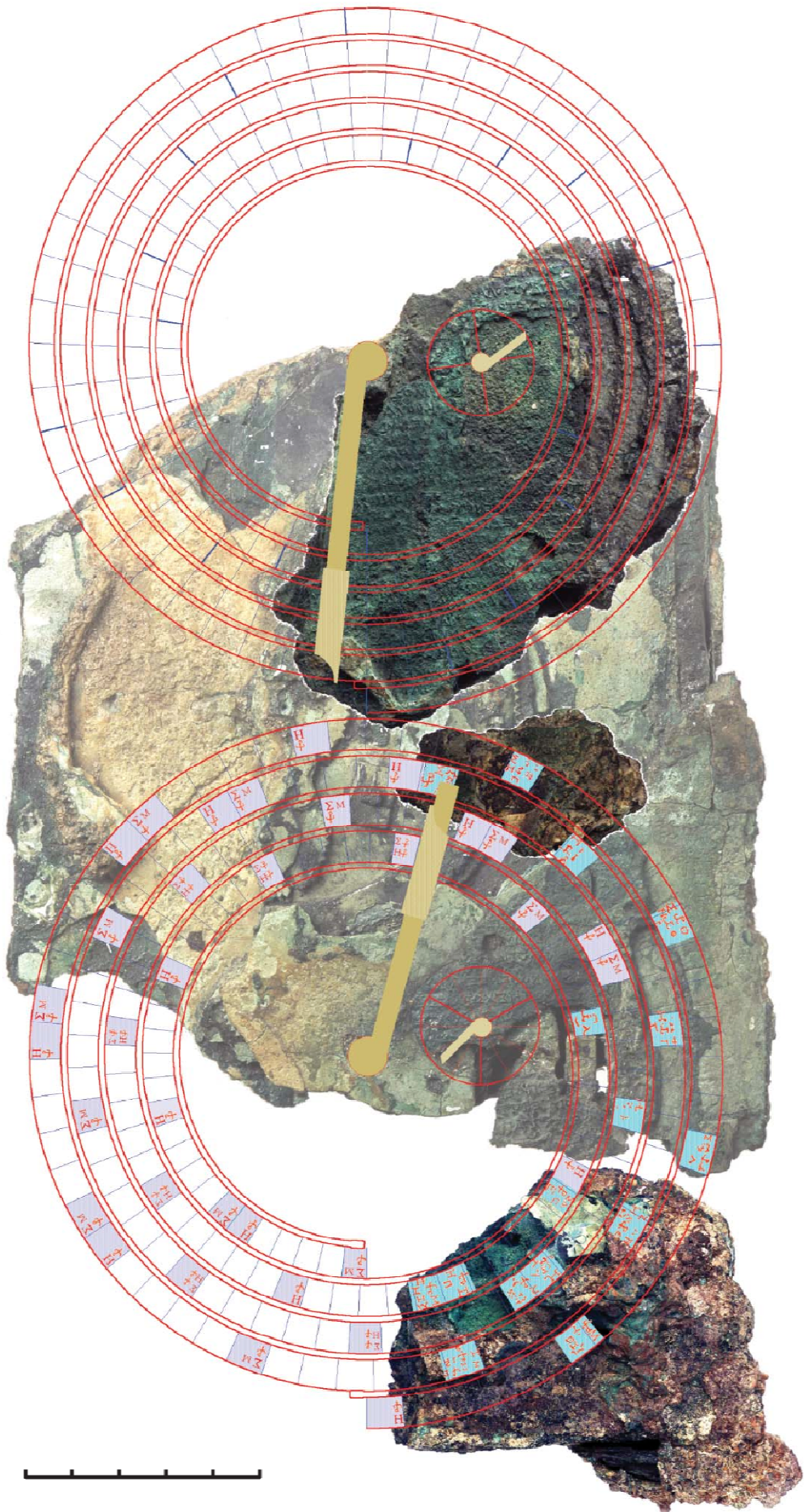
- 1) 10 dagen-aanduiding (1 rotatie staat voor 10 dagen reël)
- 2) Dierenriemkalender
- 3) Jaarkalender
- 4) Belangrijke data
- 5) Namen van de medewerkers

7.7.3. Achterplaat

De achterplaat is ook terug gemaakt uit plexiglas (8mm dikte). Deze is uitgelaserd op format en daarna zijn er lijnen uitgefreesd waar de wijzers van de cyclussen in bewegen. De gefreesde tekeningen geven het volgende weer: de saros-cyclus, de exeligmos-cyclus, de cyclus van Metone en de cyclus van Callippo.

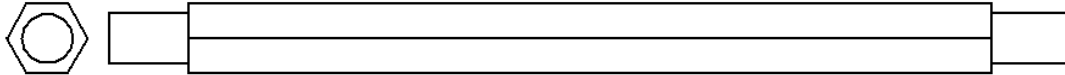


- 1) Cyclus van Metone (19 jaar of 235 maanden verdeeld over 5 rotaties)
- 2) Cyclus van Callippo (76 jaar verdeeld over 1 rotatie)
- 3) saros-cyclus (18 jaar \pm 10 of 11 dagen of 223 maanden verdeeld over 4 rotaties)
- 4) exeligmos-cyclus (54 jaar en 1 maand, verdeeld over 1 rotatie)



7.7.4. Assen

Voor het mechanisme gebruiken we zeskantassen maat 7, die we op het uiteinde afdraaien tot 5mm om het zo te laten ronddraaien in de plexiglazen platen. De assen zijn gemaakt uit aluminium.



Naast de zeskantassen gebruiken we ook enkele gewone cilindrische assen/ bussen.

7.7.5. Stukkenlijst

Stuknummer	Benaming	Materiaal	Aantal
1	Frontplaat	ACRYLAAT	1
2	Tussenplaat 1	ACRYLAAT	1
3	Tussenplaat 2	ACRYLAAT	1
4	Tussenplaat 3	ACRYLAAT	1
5	Tussenplaat 4	ACRYLAAT	1
6	Achterplaat	ACRYLAAT	1
7	Tandwiel 224 tanden	ACRYLAAT	1
8	Tandwiel 223 tanden	ACRYLAAT	1
9	Tandwiel 188 tanden	ACRYLAAT	1
10	Tandwiel 127 tanden	ACRYLAAT	1
11	Tandwiel 96 tanden	ACRYLAAT	1
12	Tandwiel 73 tanden	ACRYLAAT	1
13	Tandwiel 64 tanden	ACRYLAAT	1
14	Tandwiel 60 tanden	ACRYLAAT	4
15	Tandwiel 57 tanden	ACRYLAAT	1
16	Tandwiel 54 tanden	ACRYLAAT	1
17	Tandwiel 53 tanden	ACRYLAAT	3
18	Tandwiel 50 tanden	ACRYLAAT	1
19	Tandwiel 50 tanden	ACRYLAAT	1
20	Tandwiel 50 tanden	ACRYLAAT	1
21	Tandwiel 50 tanden	ACRYLAAT	1
22	Tandwiel 48 tanden	ACRYLAAT	1
23	Tandwiel 38 tanden	ACRYLAAT	2
24	Tandwiel 32 tanden	ACRYLAAT	1
25	Tandwiel 32 tanden	ACRYLAAT	1
26	Tandwiel 32 tanden	ACRYLAAT	1
27	Tandwiel 30 tanden	ACRYLAAT	1
28	Tandwiel 27 tanden	ACRYLAAT	1
29	Tandwiel 24 tanden	ACRYLAAT	1
30	Tandwiel 20 tanden	ACRYLAAT	1
31	Tandwiel 15 tanden	ACRYLAAT	4
32	Tandwiel 12 tanden	ACRYLAAT	1

33	Conisch tandwiel 22 tanden	STAAL	2
34	Zeskantas 9	STAAL	1
35	Zeskantas 7	ALUMINIUM	1
36	Zeskantas 7	ALUMINIUM	2
37	Zeskantas 7	ALUMINIUM	1
38	Zeskantas 7	ALUMINIUM	2
39	Zeskantas 7	ALUMINIUM	2
40	Zeskantas 7	ALUMINIUM	1
41	Zeskantas 7	ALUMINIUM	3
42	Zeskantas 7	ALUMINIUM	2
43	Cilindrische as	STAAL	1
44	Excentrische as	ALUMINIUM	1
45	Pin	ALUMINIUM	1
46	Afsluiting excentrische as	ALUMINIUM	1
47	Koperen bus	KOPER	2
48	Koperen bus	KOPER	1
49	Koperen bus	KOPER	1
50	Koperen bus	KOPER	2
51	Zwengel	ALUMINIUM	1
52	Hefboom Zwengel	ALUMINIUM	1
53	Zon	STAAL	1
54	Maan	ALUMINIUM	1
55	Hefboom maan	STAAL	1
56	Scharnierblok	STAAL	1
57	Kleine wijzer	ALUMINIUM	2
58	Hefboom grote wijzer	ALUMINIUM	2
59	Schuiver grote wijzer	ALUMINIUM	2
60	Volger grote wijzer	ALUMINIUM	2
61	Afstandsbusas	ALUMINIUM	4
62	Afstandsbus 72	ALUMINIUM	4
63	Afstandsbus 40	ALUMINIUM	8
64	Afstandsbus 24	ALUMINIUM	8
65	Dopmoer M8	INOX	8
66	Afsluitmoer M5	ALUMINIUM	1
67	Koperen bus	KOPER	1
68	Koperen bus	KOPER	1
69	Koperen bus	KOPER	1

8. Website

8.1. Waarom?

Er was een vraag van de klasgroep om een website te maken.

Ik (Tom Hollevoet) voelde mij wel geroepen om de website te ontwerpen en deze te onderhouden.

Websites maken is voor mij een hobby, dus was het voor mij terug een zeer leuke ervaring om deze te ontwerpen en deze te onderhouden.

De website heeft als doel om contact te houden buiten de schoolmuren, om elkaars ideeën te verzamelen op één centrale plaats waar je mooi gestructureerd kan zien waarmee we de klas bezig is en waar de klasgenoten via het forum problemen van hun werk konden opzetten.

Ook had de website als doel om andere bezoekers en geïnteresseerden informatie te informeren, de bezoeker kon real-time zien waarmee we juist bezig waren, daarover straks meer.

8.2. www.gip2009.be



Het domeinnaam www.gip2009.be is gekozen door de klas.

Daarna was het mijn beurt om dit domein aan te maken bij een erkende server. Ik heb al redelijk veel ervaring op website gebied en was terug van plan mijn website te plaatsen op de server van one.com.

8.3. Server one.com

Waarom heb ik nu voor server one.com gekozen?

Er bestaan vandaag de dag heel veel servers die websites van particulieren kunnen hosten maar er bestaan hier heel veel verschillen tussen.

Bij deze servers bestaan er verschillende pakketten, waarvoor de particulier kan kiezen.

Deze pakketten zijn afhankelijk waarvoor de website moet dienen en hoeveel deze website eventueel zou worden bezocht.

Ik vind persoonlijk dat one.com vandaag de beste is als men naar de verhouding kijkt van prijs/kwaliteit.

Ook heb ik al veel ervaring met one.com omdat ik al mijn websites die ik ooit heb gemaakt bij one.com heb geplaatst, het is een zeer stabiele server die weinig of geen problemen heeft.



Ik heb voor het lichtste pakket bij one.com gekozen, dit pakket heeft de volgende kenmerken:

Ruimte opslag: 3 Gb of 3 000 Mb. Ongelimiteerd data-verkeer (dus er mag ongelimiteerd data worden uitgewisseld tussen bezoeker en server). Ook kan men ongelimiteerd aantal e-mailadressen aanmaken op het domein dat je gekozen hebt, daarover straks meer. De serverkosten bedragen bij one.com circa 32 euro voor het eerste jaar en 28 euro voor de daaropvolgende jaren, met het .be domeinnaam inbegrepen. Want in theorie betaal je apart voor de server en apart voor het .be domeinnaam.

One.com is een bedrijf uit Denemarken.

One.com is voor een groot gedeelte ontworpen is door de bekende computerfabrikant HP. Deze heeft al jaren ervaring in het hosten van websites.

Er zijn er verschillende bedrijven van one.com opgericht in andere landen (o.a. in Nederland).

dns.be

Domein details	
Domein	
Naam	gip2009
Status	REGISTERED
Registratie	12 september 2009
Laatste wijziging	12 september 2009 12:39
Licentienemer	
Naam	Tom Hollevoet
Organisatie	VTI Torhout (GIP 61W 2009-2010)
Taal	Nederlands
Adres	Papebrugstraat 8A 8820 Torhout België
Telefoon	+32.3247272873
E-mail	hollevoet.tom@gmail.com
Technische contactpersonen van de registrar	
Naam	One.com Hostmaster
Organisatie	One.com A/S
Taal	Engels
Adres	Kalvebod Brygge 45 1560 København V Denemarken
Telefoon	+45.46907100
Fax	+45.70205872
E-mail	hostmaster@b-one.nu
Registrar	
Organisatie	One.com A/S
Website	www.one.com
Nameservers	
	ns01.one.com
	ns02.one.com

Maar de server waar de websites op staan blijven in Denemarken staan.

Dit kan je ook zien als je een test doet op (dns.be).

Dns.be is de beheerder van alle Belgische domeinnamen (.be) hierop kan je zien wie de eigenaar van het domein is en wie de "registrar" is van het domein (dit is de eigenaar van de server waarop de website staat).

Op dns.be kan je zo elk Belgisch domein opzoeken en daarvan de gegevens bekijken.

Verder kun je nog zien wanneer de website is opgericht en wie de licentienemer is van het domein, dit is de eigenaar.

Ook kan je nog enkele technische specificaties zien

van de servers. Hier zie je ook de nameservers staan.

Dit zijn de servers die een domeinnaam dus bijvoorbeeld www.gip2009.be omzetten in een IP adres. Omdat elke domeinnaam aan een IP adres verbonden is.

Want elke website, computer of apparaat die met het internet verbonden is heeft een uniek IP adres op de wereld.

8.4. E-mailadressen

Op server one.com is er de mogelijkheid om een ongelimiteerd aantal e-mailadressen aan te maken voor het domein dat je in bezit hebt, bij ons is dit dus het domein gip2009.be. Mijn idee was om aliases aan te maken zodat mijn klasgenoten gemakkelijker naar elkaar konden e-mailen en geen e-mailadressen van elke klasgenoot moesten opzoeken. Het was simpel, als je moet mailen naar bijvoorbeeld een klasgenoot dan typte je de voornaam en daarna @gip2009.be. Dan ziet het adres er zo uit → voornaam@gip2009.be.

Wat is nu juist een alias?

Het is een soort e-mailadres deze is niet gelinkt naar de server waarop het domein is geregistreerd, dus dit wil dus zeggen als je een mail stuurt naar voornaam@gip2009.be dat niet wordt opgeslagen op de server van one.com.

De mails worden doorverbonden met een ander e-mailadres.

Deze e-mailadressen kan men instellen op het configuratiescherm van de server one.com. De mail wordt bijvoorbeeld doorverbonden met de server van Hotmail, Gmail, Skynet, Telenet, etc.

Dus als een klasgenoot een mail stuurt naar voornaam@gip2009.be dan wordt deze mail doorgestuurd naar naam@hotmail.com.

Voor mijn klasgenoten is dit een handig systeem waarmee men snel kan mailen naar een ander klasgenoot.

8.5. Maken van de website



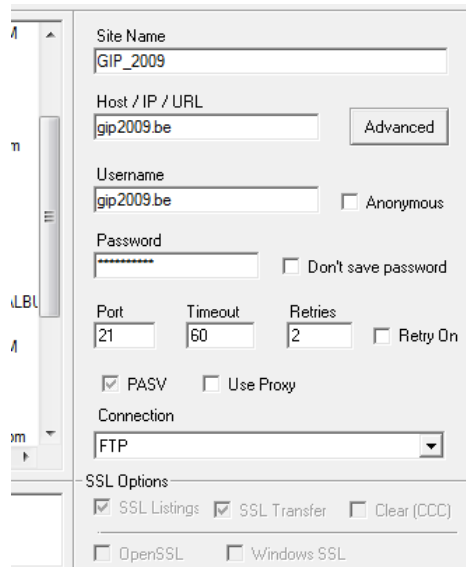
Door de ervaring was het voor mij niet meer zoveel werk om op te zoeken hoe een website moet worden gemaakt.

Standaard maak ik een website met verschillende programma's o.a. Dreamwaver, Photoshop, Paint, programma's om flash objecten te maken....

Ik probeer altijd een website te maken die voor alle bezoekers zo simpel mogelijk is om deze te bezoeken, dat de bezoeker niet eerst moet zoeken waar hij moet klikken en hoe de website in zijn werk gaat.

Ik vind dat een website gestructureerd en strak moet zijn zodat alles snel terug te vinden is. Ook dat er op de startpagina wordt weergegeven wat de laatste vernieuwingen zijn van de website dat vind ik ook heel belangrijk, straks daarover meer.

Als je een website maakt en deze opslaat op je computer moet deze natuurlijk nog naar de server van one.com worden gestuurd.



Daarvoor gebruik ik het programma CoreFTP, een programma waar je naar het FTP-adres kan gaan van de website en via een gebruikersnaam en wachtwoord kan inloggen. Het FTP adres is de website proberen openen zoals je een map op een computer opent maar dan met een gebruikersnaam en wachtwoord zodat er geen andere persoon op onze server toegang heeft.

Daarna kan je zoals je een bestand van de computer naar een USB stick zet alle bestanden van de computer naar de server in Denemarken overzetten. De snelheid van het uploaden (van het doorsturen), is afhankelijk van de uploadsnelheid van jouw internet provider. Deze is hier in België in de meeste gevallen niet zo heel groot, dus kan het soms

eventjes duren voordat de bestanden zijn doorgespeeld naar de server in Denemarken.

8.6. Opmaak van de website

Voor de website heb ik de kleuren proberen te gebruiken die je snel associeert met de ruimtevaart zodat de bezoeker zich helemaal in de sfeer voelt van de ruimtevaart.

Dit zijn dus hier donkerblauwe kleuren met hier en daar een lichtblauwe schijn.

Ik heb geen speciaal lettertype gebruikt zodat de tekst van de website vlot te lezen is. Het lettertype van de website is Trebuchet MS.

Heb ervoor gezorgd dat de pagina's van de website snel te bereiken zijn door de menubalk op bijna elke pagina (uitzondering forum en blog) bovenaan elke pagina te plaatsen zodat men snel altijd op de gewenste knop kan klikken om op de gewenste pagina uit te komen.

Alle pagina's zijn in codetaal .html geschreven met uitzondering van het forum, deze is in .php geschreven.

8.7. Pagina's van de website

8.7.1. Startpagina

De startpagina dient ervoor de bezoeker te verwelkomen en kort te vermelden waarmee we bezig zijn en wie we juist zijn.

Op de startpagina kan men ook aan de onderkant een RRS HTML reader terugvinden.

Deze dient ervoor dat de bezoeker snel kan zien wat de vernieuwingen zijn van de blog van de website. Alle nieuws die er over onze GIP uitkomt.

Kom via onze blog online te staan, straks hierover meer.

8.7.1.1. RSS HTML reader



RSS is een nog niet zo oude methode om via .xml pagina's de bezoeker op de hoogte te houden wat de vernieuwingen zijn van een specifieke website.

Er bestaan vandaag de dag heel veel RSS readers die je kan installeren op je computer, daarna kan je in de opties van dit programma het gewenste adres van de RSS pagina van de website invoeren die je graag zou willen volgen.

Ook zitten RSS reader vandaag de dag in de meeste internetbrowsers (o.a. Internet Explorer, Firefox, Safari,...).

Dit kan je gemakkelijk herkennen aan het RSS icoontje die oplicht bij een website, dit is het oranje icoontje. Dit icoon is terug te vinden naast deze blok tekst.

Maar omdat er nog sommige mensen de RSS methode niet kennen vond ik dat de vernieuwingen op een gemakkelijker manier moesten tevoorschijn komen.

Daarom heb ik gezocht om een applicatie die de RSS gegevens moest kunnen omzetten in een .html pagina zodat ik deze als gewone tekst kon integreren in de startpagina.

Dit heb ik ook gevonden bij de volgende website : www.feedforall.com

Vanaf er iets nieuws op het blog komt dan wordt automatisch de RSS pagina geupdate en ook direct de HTML pagina die je kan terug vinden op de startpagina.

De bezoeker kan terugvinden wat er juist is veranderd en ook het tijdstip wanneer het bericht werd geplaatst door één van mijn klasgenoten.

8.7.2. Onze klas

Deze pagina stelt onze klas en onze school voor.

Hier kan de bezoeker zien wie wij juist allemaal zijn met een foto van ons allen, welke richting wij doen, wat onze toekomst is en in welke school wij zitten.

8.7.3. Projecten

Hier kan de bezoeker per onderwerp (alle onderwerpen die in dit GIP boek staan), een korte tekst vinden over wat het onderwerp juist gaat.

Deze pagina projecten is dus onderverdeeld in verschillende sub-pagina's.

Per onderwerp is er een sub-pagina waarvoor de bezoeker kan kiezen.

Deze pagina kon worden aangepast door elke klasgenoot via het CMS systeem (zie 8.9.), elke groepsverantwoordelijke kon zelf zijn tekst typen en zo zelf bepalen wat hij uiteindelijk op de website plaatste.

8.7.4. Verslagen

Hier kan de bezoeker de verslagen lezen die de klasgenoten maken en online plaatsen.

Deze verslagen gaan over excursies die wij maken voor het maken van onze raket, of ook voor klasuitstappen.

Alle verslagen die je hier kan terugvinden zijn ook geplaatst op het blog waarover straks meer. Deze pagina dient als samenvatting van alle verslagen die op het blog zijn gekomen.

Deze pagina was ook te beheren via het CMS systeem (zie 8.9.).

8.7.5. Fotoalbum



Hier kan de bezoeker alle foto's bekijken die online geplaatst zijn ofwel door mij ofwel door een klasgenoot.

Deze foto's gaan over onze excursies, onze klasuitstappen of over de werken die wij uitvoeren in klas om onze raket te maken.

Zoals ik zei kunnen de klasgenoten ook foto's op het fotoalbum zetten.

Dit kan heel gemakkelijk.

Elke klasgenoot heeft een gebruikersnaam en een wachtwoord waarmee hij zich kan inloggen op het fotoalbum systeem. Daar kan hij foto's uploaden en eventueel foto's verwijderen hij op het fotoalbum heeft geupload.

Er werd gebruik gemaakt van de fotoalbummaker van de one.com server.

8.7.6. Gastenboek



De bezoeker kan reacties posten wat hij/zij van onze GIP vindt, van de website vindt, of als hij/zij opmerkingen heeft.

De bezoeker kon indien hij dit wenste ook zijn e-mailadres en website nalaten, dit kwam ook terecht in het gastenboek bij het bericht dat hij had gepost. Het gastenboek had een CAPTCHA beveiliging (letters en cijfers overtypen), dit moest ervoor zorgen dat enkel reële mensen een bericht konden zetten in het gastenboek en geen SPAM robots, wat de laatste tijd een echte ergernis aan het worden is bij de meesten gastenboeken.

Er werd gebruik gemaakt van de service <http://youreon.nl/> die een zeer goeie gastenboekcomponent heeft. Deze service maakt voor jou een gastenboek aan en je krijgt een uniek website adres waar jouw gastenboek op staat.

Om het gastenboek in de lay-out van de site van GIP614 te krijgen werd gebruikt gemaakt van een I-Frame, dit is een frame die men in de HTML code kan zetten, in dit frame kun je de gewenste websitepagina laten tonen in jouw website layout, zo kan je ook bijvoorbeeld de website Google in de lay-out van onze website steken.

Het gastenboek werd veel gebruikt tijdens de lancering van onze raket, veel mensen bezochten de website tijdens de tweedaagse naar Nederland en hadden dan ook iets in het gastenboek gezet om ons te steunen.

8.7.7. Forum



Het forum is de plaats waar de klasgenoten berichten kunnen posten, deze berichten kunnen bijlagen bevatten zoals documenten, excelbladen, filmpjes, afbeeldingen, Solid Edge tekeningen...

Elke klasgenoot kon zich aanmelden en kreeg een uniek gebruikersnaam en wachtwoord waarmee men zich op het forum kon aanmelden.

Het forum werd ingedeeld in de

verschillende groepen die men ook kan terug vinden in dit GIP boek, ook werden deelonderwerpen gemaakt voor de raket en ook voor de hoofdvakken.

Het forum was het medium voor elke klasgenoot waar men iets kon op zetten als men een probleem had met een bepaald onderwerp of ook een klasgenoot kon helpen die met een probleem zat, ook was het forum een handig component voor de GIP vergadering voor te bereiden, elke groepsverantwoordelijke kon zo de PowerPoint van zijn groep op het forum uploaden en kon iedereen zien hoe het stond met de volledigheid van de presentatie. Ook werd het forum gebruikt om problemen op te lossen voor een bepaald lesvak.

Op het forum werden er ook enkele rechten toegekend.

Zo had één iemand van de klas beheerdersrecht, deze kon ingrijpen als ik er op dat moment niet was. Hij kon dan bijvoorbeeld berichten verwijderen of berichten aanpassen als dit nodig was of hij kon ook aan klasgenoot helpen om iets aan zijn bericht te doen als hij dit niet zelf kon oplossen, deze beheerder had recht op alle deelgroepen van het ganse forum.

De groepsverantwoordelijke van elke groep kreeg een gedeeltelijk beheerderrecht en had een beheerderrecht enkel en alleen over zijn groep.

De andere klasgenoten kregen het gebruikersrecht en konden berichten posten op het forum en hun eigen berichten aanpassen en ook verwijderen.

Ook kon de gebruiker zijn forumprofiel aanpassen door bijvoorbeeld een eigen avatar te kiezen of zijn profielgegevens aan te passen.

Voor het forum werd gebruik gemaakt van een PHP forumcomponent gemaakt door <http://phpBB.nl>, op deze website kon met een .rar bestand downloaden (Bestand met allemaal deelbestanden in), met installatiebestanden die men op de FTP server van de website kon zetten.

Eenmaal de bestanden op de server stonden, kon men het forum configureren en werd door de PHP server het forum volledig geïnstalleerd.

Nadeel hieraan was dat men door de PHP configuratie van server one.com enkel bestanden van 10 Mb kon posten op het forum en niet meer.

Ook kreeg ik te maken met heel veel spamrobots die zich probeerden aan te melden op het forum, maar omdat ik deze gebruikers moest accepteren hadden deze geen toegang tot het forum.

8.7.8. Chatbox

Op deze pagina is er een chatbox, deze kan worden gebruikt door elke bezoeker en elke klasgenoot.

Er staat geen gebruikersnaam en wachtwoord op en is dus voor iedereen toegankelijk.

Deze werd wel niet veel gebruikt.

De klas hield meestal contact via het forum of via mail.

8.7.9. Blog



De blog heeft als doel de bezoeker op de hoogte te houden met het voorloop van onze GIP.

Mijn klasgenoten proberen deze zoveel mogelijk te gebruiken om de bezoekers van de website op de hoogte te houden.

Het blog is ingedeeld in de verschillende deelonderwerpen die men hier in dit GIP boek kan terug vinden, ook is er een onderwerp algemeen te vinden en ook een onderwerp raket.

De blog is gelinkt met een RSS pagina (zie punt 1.7.1.1.) deze staat ook in verbinding met de startpagina, zodat de bezoeker snel van op de

startpagina kan zien als er iets nieuws te lezen is dat door een klasgenoot op het blog is geupload.

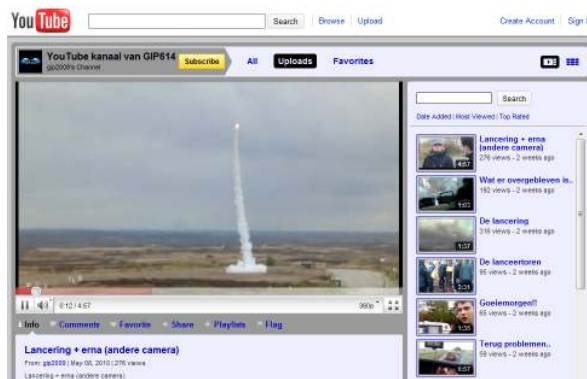
Alle klasgenoten hebben een gebruikersnaam en wachtwoord waarmee hij zich kan inloggen op het blog, daarna kan hij een bericht typen en ook het onderwerp kiezen waarmee dit bericht gelinkt is. Ook kan hij in dit bericht kleine fotoalbums aanmaken of een foto plaatsen bij zijn bericht.

Of hij kan ook documenten van Word uploaden of Excel rekenbladen.

De bezoeker kan deze daarna downloaden.

Er werd gebruik gemaakt van de blogservice van de one.com server.

8.8. YouTube kanaal



De website heeft ook een YouTube kanaal. Tijdens onze tweedaagse naar Nederland kon de bezoeker ons real-time volgen doormiddel van ons YouTube kanaal. Op de startpagina van de website stond een RSS HTML reader die gelinkt stond met de RSS pagina van ons YouTube kanaal, vanaf er een nieuwe upload was naar ons YouTube kanaal kwam dit automatisch en direct op onze startpagina terecht, de gebruiker kon op de link klikken en werd zo

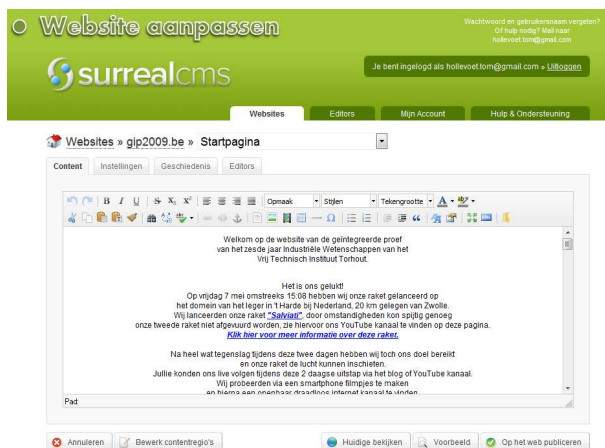
doorverbonden naar het nieuwe filmpje die wij maakten in Nederland.

Alle filmpjes werden gemaakt via een iPhone, via het programma van UStream Broadcaster kon men filmpjes opnemen lokaal op de iPhone en kon men deze versturen van zodra er ergens een WiFi kanaal te vinden was, ook kon men een stream doen zodat de kijker live kon meekijken, maar hiervoor had men dus ook een realtime WiFi kanaal nodig.

Het filmpje werd eerst geupload naar de server van UStream, deze stuurde het dan door naar YouTube.

Het YouTube kanaal was een heel groot succes! De lancering van onze raket werd 300 keer bekeken.

8.9. CMS System



Het CMS systeem of met andere woorden het content management system dient ervoor dat de inhoud van de pagina's van de website van de GIP gemakkelijk kunnen beheerd kunnen worden.

Elke klasgenoot kreeg een gebruikersnaam en wachtwoord waar men zich op dit CMS systeem kon inloggen.

Daarna kon men een menu zien met de verschillende pagina's zien welke men kon aanpassen.

Als men op een pagina klikt kan men de pagina aanpassen zoals men een Word document aanpast, daarna kan de klasgenoot deze opslaan en staat deze online.

Indien er ook fouten gebeurd kunnen zijn kan men altijd vroegere versies van pagina's terugroepen.

De klasgenoten konden enkel de pagina's aanpassen en bijvoorbeeld niet verwijderen.

De klasgenoten konden elke groepspagina aanpassen die te vinden was onder de pagina "Projecten", en ook de pagina "Verslagen" kon men aanpassen.

Er werd gebruik gemaakt van de Surreal CMS Service <http://surrealcms.com/>

Een gemakkelijke online service die het mogelijk maakt een online CMS systeem te verkrijgen door de gegevens van de FTP server in te voeren.

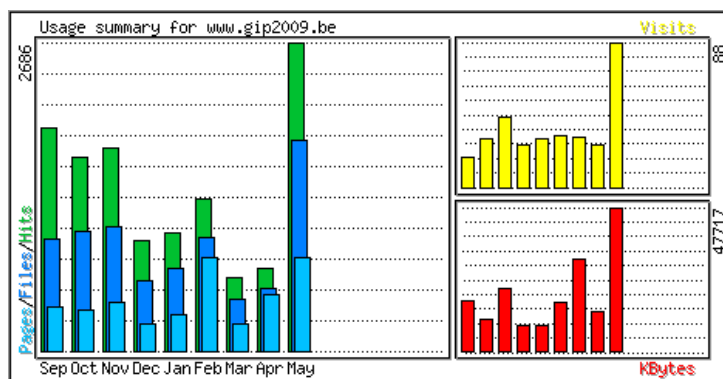
Daarna zet men in de HTML code van de pagina die men wenst in het CMS systeem te plaatsen bepaalde “tags” en daarmee wijs je de aanpasbare regio aan waar men met het CMS systeem de tekst/afbeeldingen mag wijzigen.

Het CMS systeem is te bereiken op onze website via <http://gip2009.be/aanpassen>

8.10. Bezoekersaantallen

Via de bezoekersstatistieken op het configuratiescherm van de One.com server kan men gemakkelijk zien hoeveel bezoekers de website hebben bezocht.

Ik zal hier de bezoekersaantallen bespreken van het volledige schooljaar tot en met 28 mei. Ik heb geprobeerd dit stuk op het laatste te typen om zo een (bijna) volledig overzicht te krijgen van de bezoekersaantallen van het volledige schooljaar.



Op deze grafiek kan men alle maanden zien dat de website online is geweest.

De groene balk stelt het aantal “Hits” voor, hiermee bedoelt men het aantal aanvragen die gemaakt zijn bij de website, dit kan bijvoorbeeld een Javascript zijn of een code dat men heeft opgeroepen op de website.

De donkerblauwe balk stelt de “Files” voor, dit is het totaal aantal hits dat iets heeft terug gestuurd naar de aanvrager, zoals een .html die stuurt het beeld van de internetpagina door naar de bezoeker en dit wordt dan als file geteld.

Ook afbeeldingen die in de .html pagina zitten worden meegeteld als een “File”, want dit wordt ook doorgestuurd naar de gebruiker zodat deze dit kan zien.

De lichtblauwe balk stelt de “Pages” voor, dit zijn de aantal pagina’s dat de bezoeker heeft opgevraagd. Meestal worden de .html pagina’s voor “Page” gezien want dit is meestal de extensie voor een website pagina.

De gele balk stelt de “Visits” voor, dit zijn de unieke bezoekers van de website.

Een unieke bezoeker wordt gezien als je de website 1 keer bezoekt per halfuur.

Dus als een bezoeker vanaf dezelfde PC en hetzelfde IP de website 10 keer bezoekt in het halfuur wordt dit gezien als 1 unieke bezoeker.

De rode balk stelt het aantal kilobytes dat de server heeft uitgewisseld met de bezoekers van de website.

Als men deze gegevens in tabellen uitwerkt krijgt men het volgende van de server:

History										
Month	Average/day					Totals				
	Hits	Files	Pages	Visits	KBytes	Hits	Files	Pages	Visits	KBytes
May 2010	2685	1836	817	87	47717	75196	51429	22901	2459	1336064
Apr 2010	723	550	488	25	13166	21700	16518	14641	767	394979
Mar 2010	644	453	241	30	30656	19973	14063	7474	955	950351
Feb 2010	1325	997	820	31	16216	37104	27940	22982	877	454059
Jan 2010	1030	727	318	29	8472	31956	22565	9875	928	262625
2010	1256	895	526	40	22960	185929	132515	77873	5986	3398078
Dec 2009	959	617	235	25	8327	29739	19152	7297	792	258143
Nov 2009	1780	1092	430	43	20978	53426	32779	12907	1302	629341
Oct 2009	1697	1039	357	29	10520	52618	32221	11093	929	326121
Sep 2009	1951	974	390	18	16450	58558	29228	11718	556	493503
2009	1592	929	352	29	13993	194341	113380	43015	3579	1707108
total	1408	910	447	35	18908	380270	245895	120888	9565	5105187

De kolom van Average/day is het gemiddelde verkeer van die maand.

En de kolom van Totals is het totale verkeer van die maand.

Dus in principe heeft de website een gemiddeld aantal bezoekers gehad van 35 unieke bezoekers per dag

En in totaal heeft de website 9565 unieke bezoekers gehad.

De drukste maand was maand mei en dit was de maand van de lancering.

In deze maand hadden we op de lanceerdag (7 mei) een topdag van 244 bezoekers.

Daily Statistics					
Day	Hits	Files	Pages	Visits	KBytes
1	1158	878	490	58	9430
2	675	557	186	64	46835
3	3039	1587	1579	58	27483
4	3729	2641	1935	71	65225
5	3614	2635	735	110	76793
6	5028	3452	941	161	46892
7	11008	5793	2031	244	68214
8	6290	4386	1101	187	79356
9	4547	3422	812	141	53574
10	6710	4789	3144	122	75049
11	3674	2814	1855	96	102566

9. Raket

9.1. 3-D ontwerpen

We hadden een raket als voorbeeld bij ons dat we dus makkelijk konden bekijken en meten. Voor we al de stukken konden maken moesten ze toch eerst getekend worden en bespreken in welk materiaal we alles zouden maken. Maar natuurlijk kwamen we tot de vaststelling dat we alles best in aluminium zouden maken. Maar er zijn natuurlijk ook stukken zoals de ring die boven het elektrisch paneel moet komen die best in een andere stof zou zijn, hier hebben we teflon gekozen. Nadat we alle stukken hadden getekend konden we van start in de werkplaats.

9.2. Buizen

We zijn begonnen met de correcte aluminium buizen te zoeken, na drie dagen zoeken hadden we dan uiteindelijk oude verkeerspalen gevonden die we konden gebruiken als omhulsel van onze raket. Deze buizen hebben we dan afgedraaid naar een wanddikte van 2 mm, maar jammer genoeg was er iets mis met deze buizen, de wanddikte hadden niet overal dezelfde wanddikte. Dus voor de buizen waren we terug bij af. Daarna gingen we terug zoeken en hebben we buizen gevonden maar wel met het nadeel dat je ineens 6 meter buis mag kopen.

9.3. Het parachutelui

De buis waar de parachute zal in zitten, moet natuurlijk ook openen en sluiten om de parachute te kunnen gebruiken. Dit wordt gedaan door gebruik te maken van een simpele stang die aangedreven wordt door het servo systeem . De stang gaat door een gat aan het luid en wanneer de servo in werking treed gaat de stang omhoog en kan de het luid open waardoor de parachute in werking treedt. Binnenin de parachutebuis moet de buis wel verstevigd worden en moet de parachute kunnen vasthangen. Dit gebeurt doordat de parachute vastgemaakt wordt aan een bout die op zijn beurt vasthangt aan de bovenste tussenring.

9.4. Andere componenten

Er zijn ook nog enkele componenten waar er niet zoveel werk aan is om te verbeteren of om te veranderen zoals de onderste buis waar de motor in zit. Of de twee tussenringen (ringen die tussen de buizen zitten zodat de buizen mooi aan sluiten aan elkaar) die gewoon moeten veranderd worden van diameter.

9.5. De camera

We wilden ook een camera in de raket plaatsen. Daarvoor hebben we gezocht op internet naar erg kleine camera's maar deze vonden we nogal duur voor wat ze eigenlijk konden. Maar toen had iemand van onze klas het idee om een oude camera die nog bij hem thuis lag te gebruiken. Maar deze moesten we dan nog natuurlijk vast maken in het elektrisch paneel. We hebben daarna gekozen om de camera tussen de U-profielen te bevestigen.

9.6. De batterij

Onze batterij is een Li-ion batterij die we kennen uit de GSM - en foto – toestellen. Deze batterij is een 11,1 V batterij en heeft een capaciteit van 1100 mAh. De batterij wordt gebruikt voor het aansturen van alle componenten : de R-Das, servo-systeem en zoemer.

Schakeling 1

Het R-Das signaal, ingang spanning en de Opto-koppelaar dienen als galvanische scheiding tussen de 2 kringen. Werking: als de led oplicht dan zal de transistor zich gedragen als een gesloten schakelaar om je processor te beschermen.

Schakeling 2

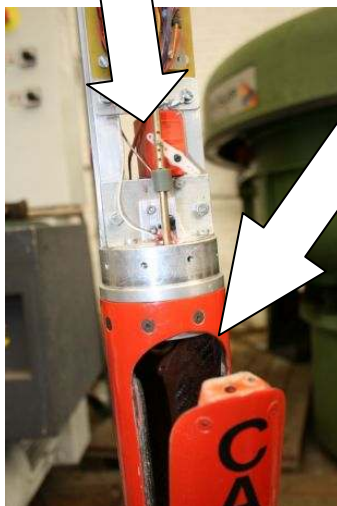
De bruggelijkrichter zorgt ervoor dat bij het omdraaien van de polen van de batterij er geen schade komt aan de microprocessor die de voeding regelt. De IC 7805 heeft als functie om de spanning te stabiliseren met een vaste spanningswaarde van 5V, het heeft ook een kortsluitbeveiliging. De condensatoren hebben als functie de mogelijke storingen weg te werken, soort "filter" voor HF-storingen.

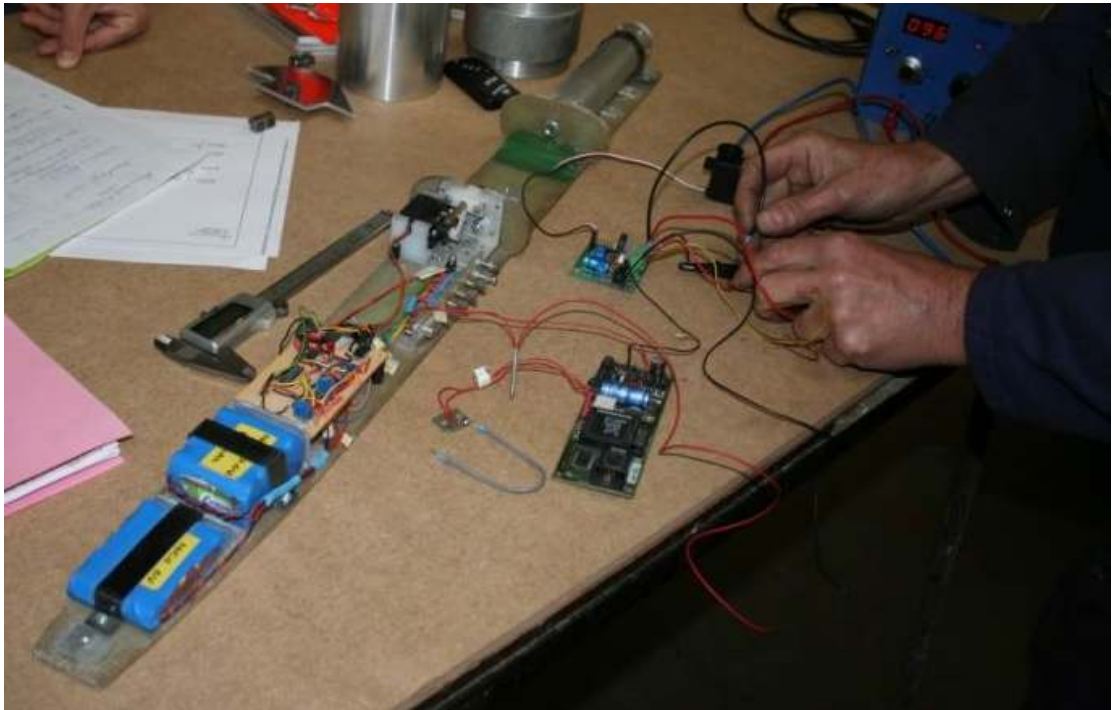
Foto servo:



Servo

Parachute compartiment





9.2.2. Werking van servomotoren

Een servomechanisme (vaak afgekort tot servo) is een apparaat om automatisch een mechanisch systeem te regelen, zonder directe mechanische verbinding. De mechanische installatie bepaalt met welke parameters, zoals koppel, inertie (massatraagheid), toerental er rekening moet worden gehouden. Van hieruit kan de elektrische besturing worden bepaald.

De aansturing van een servomotor gaat door middel van een servostuurcomponent (*motion-drive*). Een volledig servo-systeem bestaat uit:

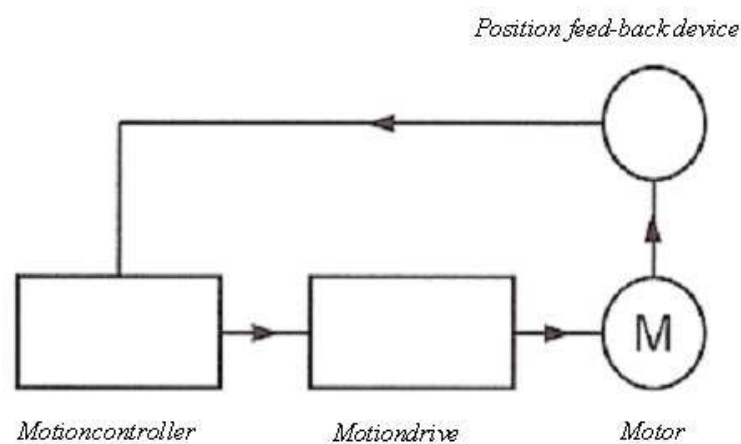
- ⇒ een servobesturingseenheid (*Motion-controller*);
- ⇒ een servo-stuurcomponent (*Motion-drive*);
- ⇒ een motor (*Motor*);
- ⇒ een positie-terugkoppelingscomponent (*Position feedback device*).

Werking

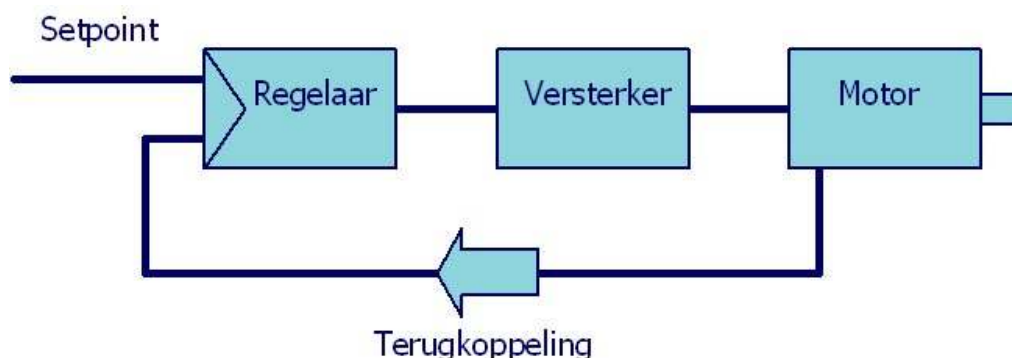
De rotatiefrequentie van de servomotor wordt gemeten door een positieterugkoppelingscomponent (*Position feedback device*). Meestal betreft het hier een tachometer en/of een encoder. Encoder (pulsgever) is een elektronisch toestel met een draaibare as, dat pulsen genereert als de as verdraait. De pulsen worden geteld, en omgezet naar een rotatiehoek. Door twee pulstreinen (een reeks pulsen met de dezelfde karakteristiek) te gebruiken die 90 graden in fase zijn verschoven kan de elektronica van de encoder ook de richting van de beweging afleiden uit de pulstreinen.

Tachograaf(tachometer) is eigenlijk een toestel waarmee men de rijsnelheid kan meten van een voertuig en kan een controlerende functie hebben of gewoon een toerental meten. De tachometer geeft een spanning afhankelijk van het toerental. De encoder is in staat om naast het toerental ook de stand van de rotor en de draairichting aan te geven.

De servoversterker (*Motion-controller*) vergelijkt de ingestelde rotatie- frequentie met de rotatiefrequentie gemeten door de tachometer en/of vergelijkt de actuele positie gemeten door de encoder met de ingestelde positie. Met deze gegevens berekent de servobesturingseenheid een stuursignaal. Dit stuursignaal wordt doorgegeven aan de servo-stuur- component (*Motion-drive*). (*Motion-drive*). De servo-stuurcomponent zorgt voor de spanning naar de servomotor (*Motor*).



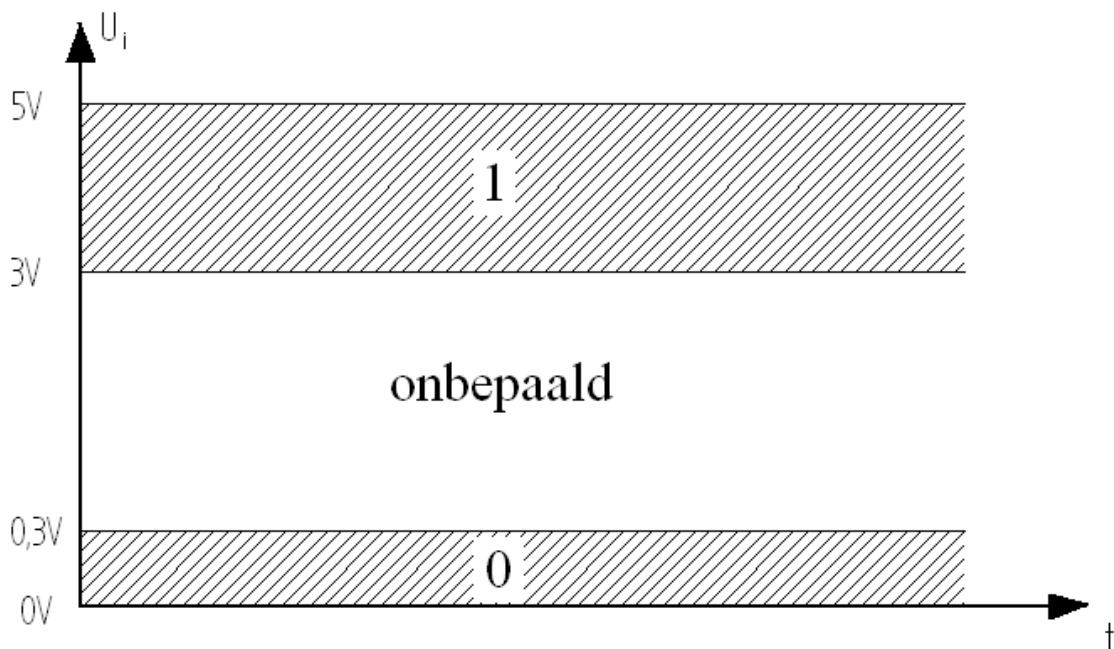
De servoversterker vergelijkt de werkelijke waarde met de gewenste waarden van de positioneermodule of een motioncontroller aan de hand van de encodergegevens. Nu kan de servoversterker de servomotor met het juiste vermogen aansturen om aan de gewenste waarden te voldoen. De schematische weergave van een servo-gestuurde motor ziet er als volgt uit:



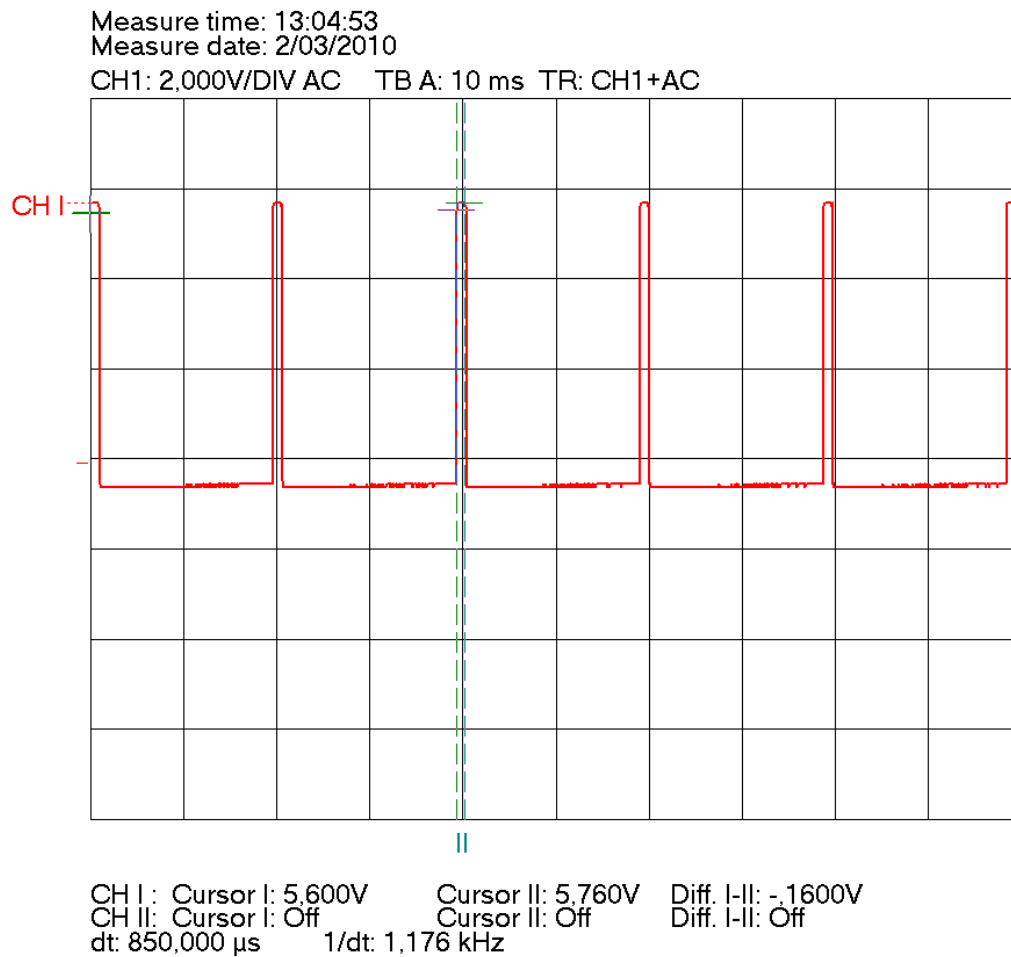
9.2.3. Flowcode (besturing servo)

Om de servomotor aan te sturen, geeft de PIC-processor een signaal door aan de servomotor. De servomotor heeft signalen van om en bij de 5 V nodig om duidelijke signalen te hebben. Deze PIC-processor geeft deze signalen door, niet door een sinusoïdale golf maar door een blokgolf. de spanning, die over het signaal staat, bezit een frequentie van 50 Hz. Dit wil zeggen dat een periode 20 miliseconden duurt.

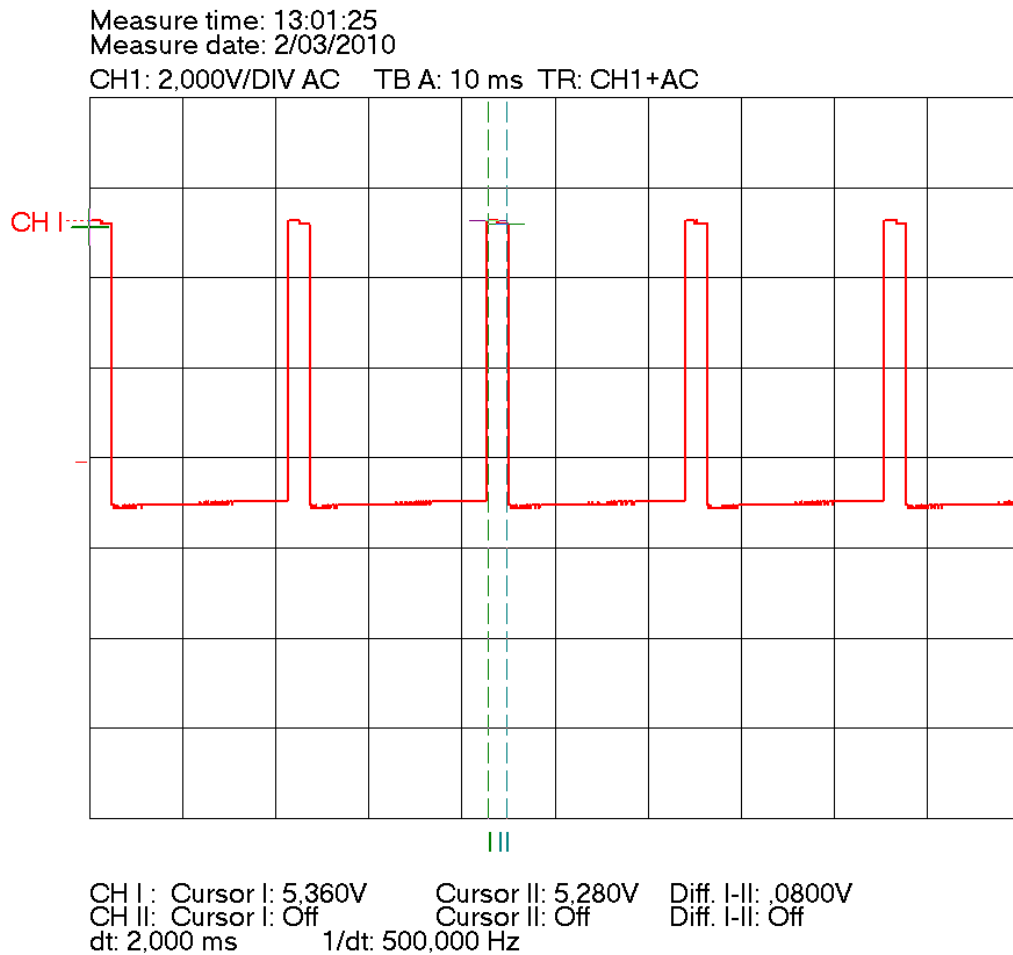
Deze periode heeft een maximum- en een minimumwaarde. De tijd van deze waarden geven aan de servo een signaal van hoe deze moet staan. Deze signalen, die ondersteund worden door een spanning, moeten een bepaalde waarde onder- en overschrijden. Als dit niet gebeurt, worden de waarden niet gelezen als logisch '1' of logisch '0' maar worden onbepaald verklaard.



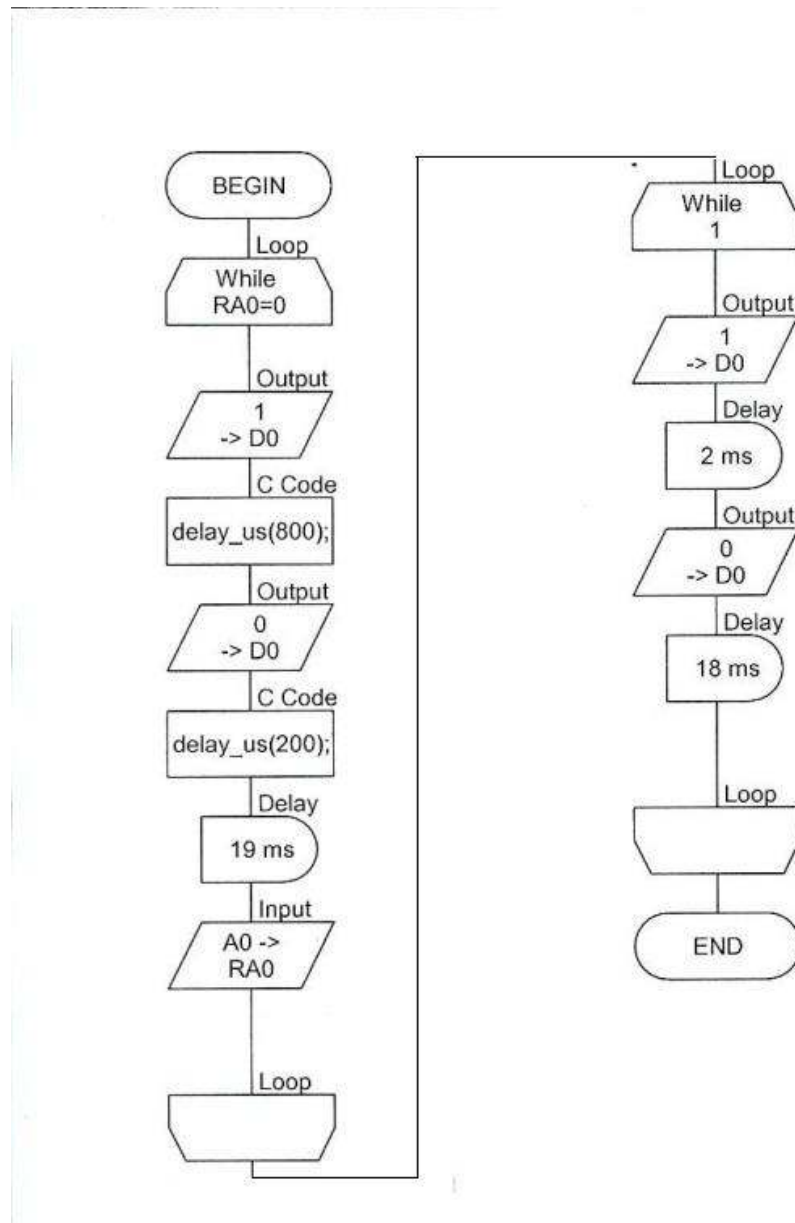
Het signaal dat uitgezonden wordt is zoals reeds vermeld een blokgolf. Door metingen hebben we vastgesteld dat onze servo in de begintoestand staat als de tijd van de impuls (wanneer het signaal een logisch "1" bevat) een tijd van 0,850 miliseconden bedraagt. De periode bedraagt nog steeds 20 miliseconden.



Om de servo te gaan verdraaien naar zijn eindtoestand, moet de tijd van de impuls verlengd worden naar 2 miliseconden. De tijd waar het signaal een logisch "0" bezit, is dan 18 miliseconden.



De signalen worden uitgestuurd uit de PIC-processor, maar om de juiste gegevens uit te zenden is er een programma nodig dat in de Processor is geladen. Dit programma wordt ingeladen door een programma Flowcode. Dit is een programma dat stap voor stap de stappen die de processor moet volgen in een blokschema weergeeft. Door dit programma gaan we eenvoudig een blokschema opstellen. Het blokschema is hieronder weergegeven.



9.2.3.1. Uitleg van het schema

We beginnen met het begin (in schema "begin") gevolgd door een lus ("Loop"). Deze lus moet herhaald worden totdat de ingang A ("Input") van logisch "0" naar logisch "1" verandert doordat de Rdas een signaal geeft (dit gebeurt door het culminatiepunt bereikt te hebben). Uit metingen (zie hierboven) moet de logisch "1" om en bij de 0,800 miliseconden bedragen. Eerst gaan we een signaal geven aan de processor, dat de uitgang logisch "1" moet worden (zie "Output"). Daarna gebruiken we hiervoor een C-code (zie "C Code") omdat de delay geen kommagetallen aanvaardt. We doen dit nu opnieuw voor uitgangssignaal (zie "Output") logisch "0". We gaan hier ook weer gebruik maken van een C-code (zie "C Code") die 0,200 miliseconden lang is, maar nu gaan we ook de delay gebruiken (zie "Delay"). Deze gaat 19 miliseconden duren. Op het einde van deze lus gaan we gaan controleren of het ingangssignaal niet veranderd is naar een logisch "1". Als dit het geval is, gaan we over naar de tweede lus (zie rechts). Anders keren we terug naar het begin van deze lus, en starten we deze opnieuw.

Bij de tweede lus is het principe hetzelfde. Het enige dat verandert zijn de tijdsduren van de uitgangen (zie "Output" en "Delay") en wordt er hier niet meer gecontroleerd welke waarde de ingangsspanning heeft. Deze lus is dus oneindig en wordt stopgezet wanneer we de spanning eraf halen of we resetten.

9.3. R-das

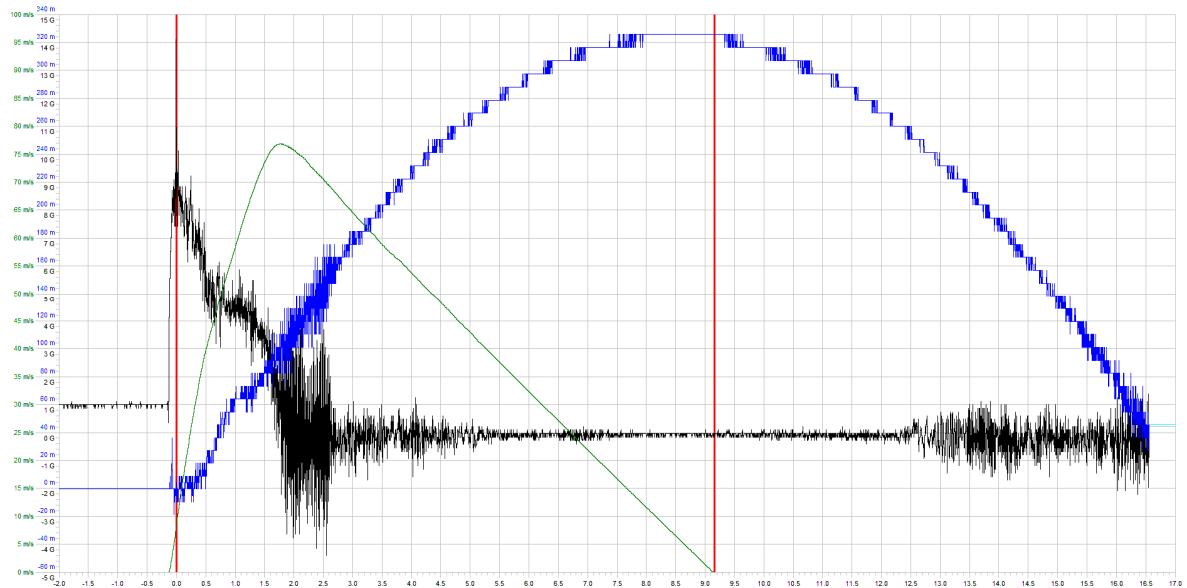
De R-Das is het besturingssysteem van de raket.

Deze levert het signaal om het parachuteluiк te openen, en om verzamelt de nodige vluchtgegevens.

9.3.1. Aansluitschema van de R-Das



9.3.2. R-das vlieggegevens raket



Op deze grafiek kan men de hoogte, de snelheid, de versnelling en het maximale aantal G zien dat de raket heeft ondergaan terwijl de raket de lucht in was. Op deze grafiek is af te lezen dat de raket een maximale hoogte heeft gehad van 326 meter, deze hoogte is gehaald in 7,940 seconden.

Ook had de raket een maximale snelheid van $77 \text{ m/s} = 277 \text{ km/h}$.

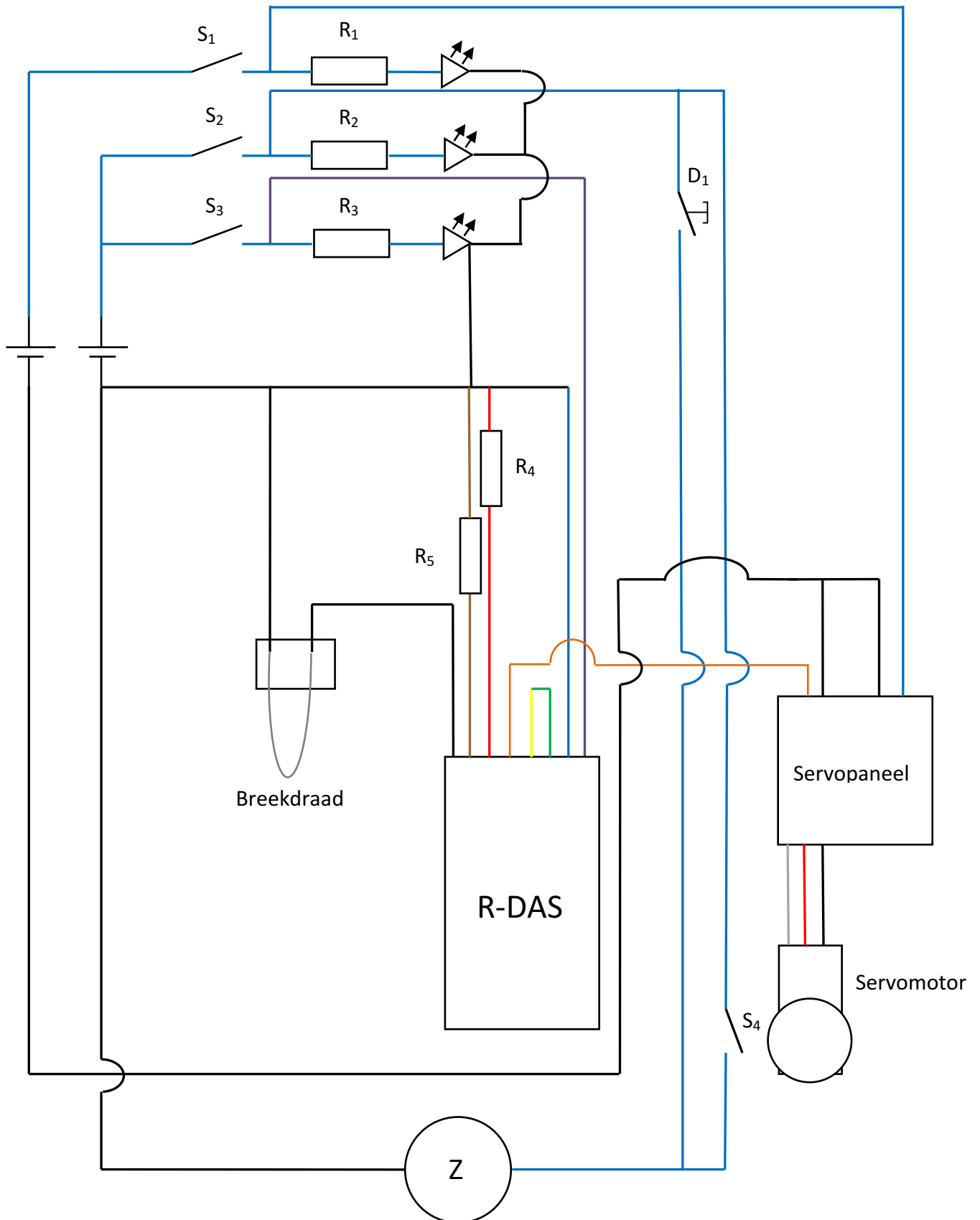
Deze gegevens zijn ook terug te vinden in de RAW Data van de raket, deze bevat om de 0,005 seconden de gegevens die men ook op deze grafiek kan terug vinden.

Enkel de snelheid kon men niet terug vinden in de RAW gegevens en moest men aflezen op de grafiek.

Deze grafiek toont een parabool omdat de parachute van onze raket niet is geopend tijdens het naar landen.

De eerste helft van de parabool tot het cumulatiepunt (hoogtepunt dat de raket heeft gevlogen) is normaal, maar het tweede deel zou normaal een constante rechte moeten zijn als de raket via een parachute naar beneden was gekomen.

9.4. Elektrisch schema raket



9.5. De parachute

9.5.1. Geschiedenis

Het eerste ontwerp van een parachute dateert van de Renaissance tijd in 1470 in Italië waarvan de ontwerper onbekend is. Een paar jaar later in 1489 werd een tweede ontwerp van een parachute door Leonardo Da Vinci ontworpen. Het ontwerp toont een piramide met raamwerk met een strak gespannen zeil erover met daaronder een persoon die zich eraan vasthoudt. Pas in 1617 werd voor de eerste keer een toestel gemaakt door Fauste Veranzio. Hij sprong er mee van een toren in Venetië. In 1797 maakte Andre Jacques Garnerin de eerste parachutesprong. Hij werd eerst tot op een zekere hoogte gebracht met een luchtballon en sneed dan de touwen van de ballon door. Daarna landde hij veilig op de grond.



In de 19^{de} eeuw werd parachutespringen een attractie in kermissen of andere evenementen. Maar toen in 1837 een dodelijk slachtoffer viel verloor het parachutespringen heel wat succes.

In 1911 en 1912 sprongen Grant Morton en Albert Berry uit een vliegtuig met hun parachute. Ook vond de Italiaan Pino een systeem uit waarbij een kleinere parachute eerst uit werd gegooid en daarna de grotere parachute meetrekt in de luchtstroom.

Tijdens de tweede wereldoorlog werden de parachutelandingen veel toegepast door de Amerikanen. Zo konden paracommando's, achter de linies van de vijand, materialen of voedselpakketten dropen.

9.6. Toepassingen in de ruimtevaart

De parachute werd zeer vaak gebruikt in de ruimtevaart.

De parachute werd altijd gebruikt om de snelheid van een ruimtecapsule die terug naar de aarde keerde te verminderen.

Bij de Space Shuttle Discovery, die een snelheid van 420 km/h haalt als hij op de grond komt, wordt een grote parachute gebruikt om hem tot stilstand te laten komen. De Apollo 17 naderde de aarde met een snelheid van 40 000 km/h. Er waren hiervoor 3 parachutes nodig die allemaal een doorsnede van 25 meter hadden en aan draden van 36 meter hingen.

De grootste parachute werd gemaakt voor de stuwketten van de Russische spaceshuttle Boeran. Maar doordat de Boeran nooit is ontwikkeld heeft men de parachute gebruikt bij de Ariane V raket. De parachute had een diameter van 48 meter. Vooraf werden al 3 kleinere parachutes gebruikt om de snelheid te minderen.

9.6.1. Soorten parachutes

9.6.1.1. Parasol type

Deze parachutes werden gebruikt in Chinese voorstellingen. Alhoewel het niet echt parachutes zijn werden ze gebruikt om een traag vallend effect te creëren .

9.6.1.2. Conische parachute

De eerste parachute die gemaakt is. Ze werd ontworpen door Leonardo Da Vinci in Italië. Het was gemaakt om mensen die in gevaar waren bijvoorbeeld bij een brand veilig weg te krijgen. Maar er zijn geen bewijzen dat deze parachute echter gebruikt werd.

9.6.1.3. Piramide parachute

Deze parachute werd eveneens door Leonardo Da Vinci uitgevonden. Ze was echter niet bedoeld als reddingsmiddel maar om er mee te kunnen vliegen zoals de vogels. Deze parachute werd in 2008 door de Zwitser Olivier Vietti-Teppa na gemaakt uit de ontwerpen van Da Vinci. Hij sprong uit een vliegtuig van op een hoogte van 650 meter. De piramide bestond uit 4 gelijkzijdige driehoeken met een zijde van 7 meter. Er werd echter geen houten raamwerk zoals het ontwerp van Da Vinci voorstelde gebruikt.



9.6.1.4. Square parachute

Deze parachute zorg ervoor dat er minder schommelingen optreden. Deze wordt vooral gebruikt als toepassing in de sport.

9.6.1.5. Ribbon/Ring parachute

Deze parachute is gemaakt voor supersonische snelheden, waar de normale parachute tekort schiet. Vaak heeft deze parachute een gat in het midden van het zeil. Dit zorgt ervoor dat er minder druk op komt. Bij een ribbon parachute heeft men meerdere gaten op het oppervlak aangebracht.



9.6.1.6. De bolvormige parachute

Deze parachute wordt gebruikt voor medische transport of militaire transport van goederen of voedsel. De parachute lijkt op een gewelf of een kwal. Dit was de voornaamste parachute die gebruikt werd, alhoewel er veel gewonden of zelfs doden door gevallen zijn. Dit kwam omdat ze minder stabiel was dan een hedendaagse parachute, om dit te verbeteren maakte men de vorm meer parabolisch of conisch.

Er is echter nog een verschil binnen de bolvormige parachutes. Er zijn stuurbaar en niet- stuurbare parachutes. De niet-stuurbare parachutes worden gewoon meegevoerd door de wind. Dit is ideaal als men een voedsel- of materiaalpakket moet droppen. Bij een stuurbare parachute maakt men gaten in de randen.

Deze gaten zorgen voor een snelle voorwaartse sturing.



9.6.1.7. Ram-air parachutes

Deze parachutes zijn gemaakt voor betere controle voor de snelheid en de richting. De parachute komt vanzelf open wanneer het nodig is. Deze parachute heeft 2 lagen van weefsel. Binnen zitten cellen die gevuld worden met lucht. Ram-air parachutes gebruikt men om de eindsnelheid van de parachute te verminderen.

9.6.1.8. De parapente

Een parapente of glijscherm is een soepele, uit doek gemaakte vleugel waarmee men kan zweven. Het woord stamt af van de parachute, waar het deel chute vervangen werd door pente. Waar de chute stond voor val, staat pente voor helling, omdat de glijschermopiloten van berghellingen vertrekken. In tegenstelling tot de parachute, die niet bestuurbaar is (enkel een minimum controleerbaar), is een glijscherm perfect bestuurbaar. De besturing wordt mogelijk gemaakt door de twee stuurlijnen. Hiermee worden de rechter- en linkerkant van de vleugel geremd, waardoor de parapente in richting van de geremde kant vliegt. Verder kan met deze twee stuur- of eigenlijk remlijnen ook de snelheid van het scherm verlaagd worden.

De parapente bestaat uit twee stofdelen, boven- en onderzijde, verbonden door bruggen, hierdoor wordt de vleugelvorm verkregen. Het bekendste materiaal is nylondoek.

Door het glijscherm te vullen met lucht (aan de voorkant is hij open) zal deze de vorm van de vleugel aannemen. De snelheid zal een opwaartse lift genereren die de zwaartekracht tegen balanceert en het glijscherm zal doen zweven.



9.6.2. Berekenen van de daalsnelheid

Om de daalsnelheid (ook terminale snelheid genoemd) te berekenen stellen we de wrijvingskracht F_w gelijk aan de zwaartekracht F_z . Na een tijdje vallen is de snelheid constant en is de terminale snelheid bereikt. Het idee daarachter is de tweede wet van Newton:

$$\sum F = ma \text{ met } \sum F = F_z - F_w$$

De wrijvingskracht is een functie van de snelheid en de zwaartekracht wordt constant aangenomen. In het begin is de versnelling dus het grootst en die wordt steeds kleiner naarmate de snelheid toeneemt. Uiteindelijk wordt de versnelling nul omdat zwaartekracht gelijk is aan de wrijvingskracht en is de snelheid dus constant.

Voor de luchtwrijving geldt $F_w = \frac{C_w * A * V^2 * \rho}{2}$

Vormen we de formule om dan krijgen we

$$V = \sqrt{\frac{2 * F_z}{C_w * A * \rho}}$$

Hierbij geldt:

V = snelheid in meter per seconde (m/s)

F_z = het totale gewicht van parachute met alles wat eronder hangt in Newton (N)

ρ = dichtheid van de lucht op de hoogte waar de parachute zich op dat moment bevindt (op zeeniveau ongeveer 1,225 kg/m³)

C_w = parachute weerstandscoefficiënt

A = de totale oppervlakte van het parachutedoek (m²). Dit is iets anders, en altijd groter, dan het frontale oppervlak tijdens de vlucht. Het doekoppervlak wordt als norm gebruikt voor de C_w waarde o.a. omdat daardoor beter de efficiëntie van verschillende soorten parachutes vergeleken kunnen worden.

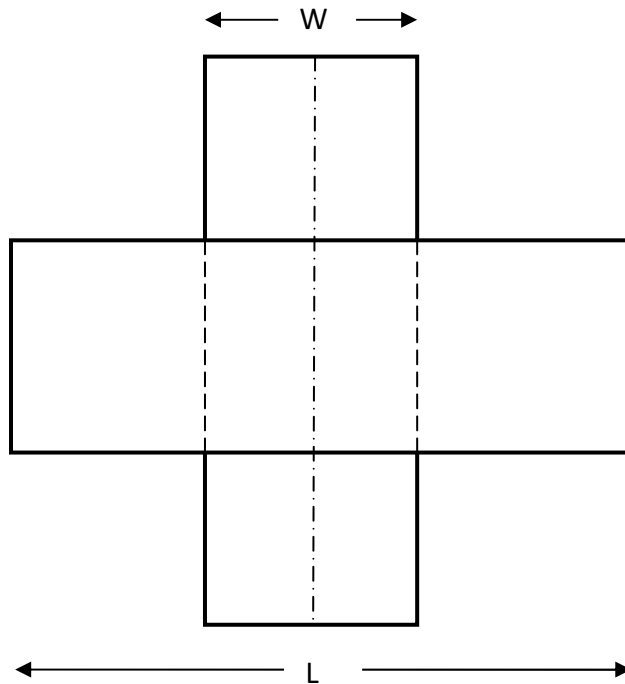
9.6.3. De parachute van onze raket

Voor de raket gebruiken wij een cross parachute (ook een kruis parachute genoemd). Het ziet eruit als een ronde parachute maar dan waarvan de hoeken zijn uitgesneden. Dit soort type van parachute is gemakkelijk qua constructie en is goedkoper dan de ronde parachute. Cross parachutes werden veel gebruikt in de afgelopen jaren, om de landing van vliegtuigen te vertragen, voor het stoppen van raceauto's, De parachute weerstandscoefficiënt ligt tussen de 0,60 en 0,85.



De figuur hieronder toont het eenvoudige ontwerp, dat bestaat uit twee lagen. Deze twee lagen zijn in kruisvorm verbonden.

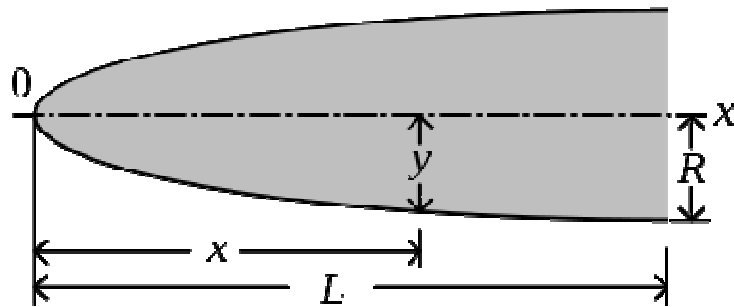
Luchtweerstand, stabiliteit en de openingskracht worden beïnvloed door de verhouding tussen breedte W en de lengte L . Een lagere W / L verhouding geeft een betere stabiliteit en een lagere openingskracht, echter een lagere W / L verhouding produceert ook een lagere luchtweerstand, C_w . Cross parachutes hebben de neiging om te draaien.



9.7. Neuskegel

9.7.1. Wat is een neuskegel?

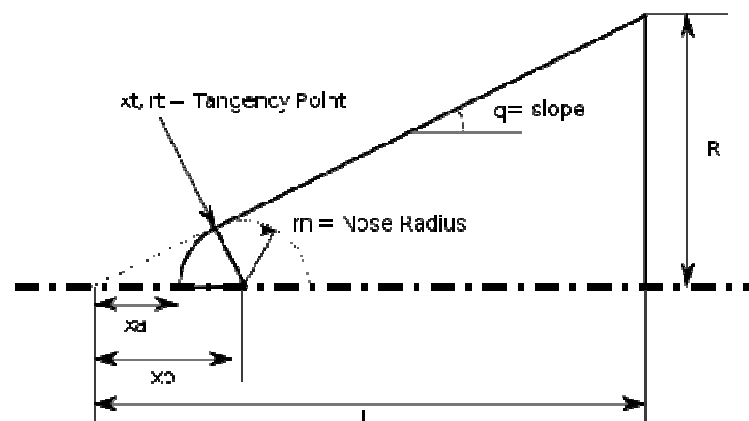
De neuskegel is de top van de raket die voor de aërodynamica en de stabiliteit van de raket zorgt. Er zijn verschillende soorten neuskegels, wij zullen hier enkele van bespreken. Het punt 0 is de top van de neuskegel. L de totale lengte van de neuskegel, R de straal van de basis van de neuskegel. x en y vormen de punten die de omtrek beschrijven van de neuskegel.



9.7.2. Soorten neuskegels

9.7.2.1. Sferische afgestompte kegel

Dit is een kegel maar de top van de kegel wordt afgestompt met behulp van een cirkelsegment. Het middelpunt van het cirkelsegment (x_0) wordt bepaald door de snelheid waarmee je denkt te vliegen.



$$x_t = \frac{L^2}{R} \sqrt{\frac{r_n^2}{R^2 + L^2}}$$

$$y_t = \frac{x_t R}{L}$$

Het centrum van de bolvormige neus dop kunt u vinden op:

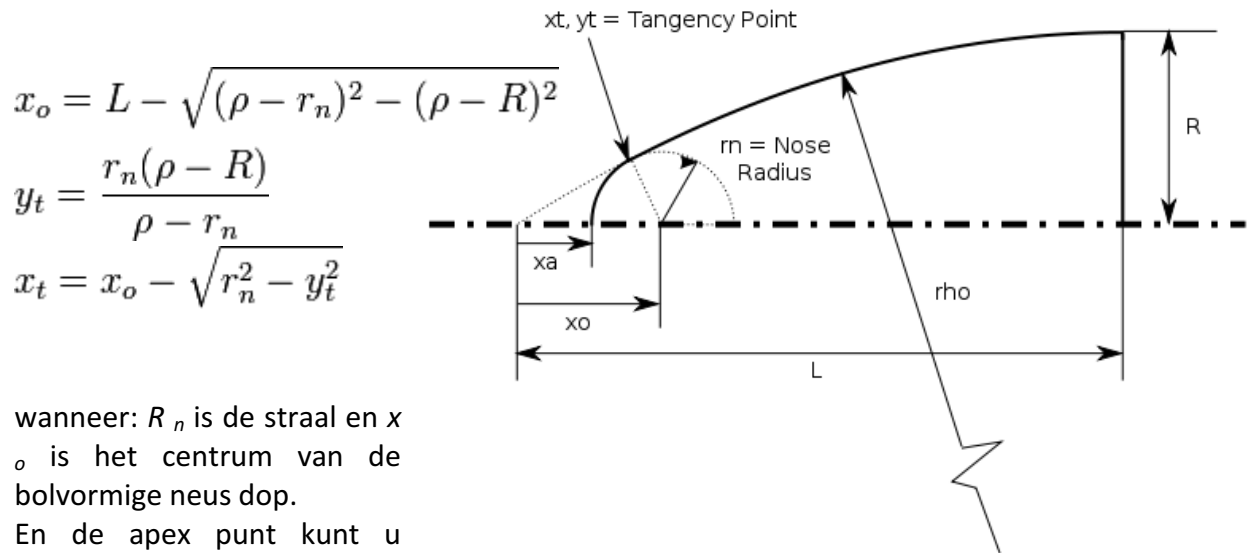
$$x_o = x_t + \sqrt{r_n^2 - y_t^2}$$

En de apex (x_a) punt kunt u vinden op:

$$x_a = x_o - r_n$$

9.7.2.2. Sferische afgestompte tangens ogief

Dit is een uitgebreide versie van sferische afgestompte kegel. Alleen is hier de basis geen kegel maar een cirkelsegment. De straal van dit cirkelsegment (ρ) is veel groter dan de straal van het cirkelsegment die de afgestompte punt beschrijft (r_n)



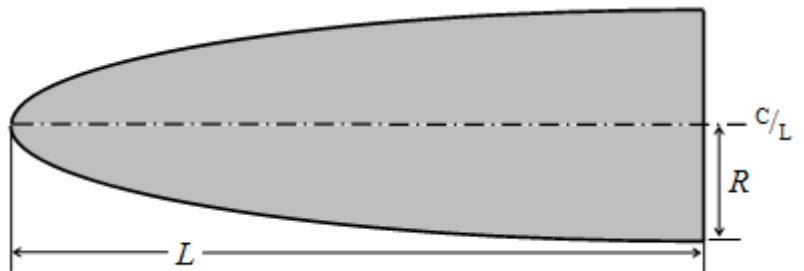
wanneer: R_n is de straal en x_o is het centrum van de bolvormige neus dop.

En de apex punt kunt u vinden op:

$$x_{aen} = x_o - r_n$$

9.7.2.3. Ellipsvormige

Bij de ellipsvormige (elliptical) wordt de omtrek beschreven door een halve ellips. Deze vorm is vooral populair in de subsonische vlucht (zoals raketmodellen). Deze kegel gebruiken we in onze raket.



$$y = R \sqrt{1 - \frac{x^2}{L^2}}$$

9.8. Motorberekeningen

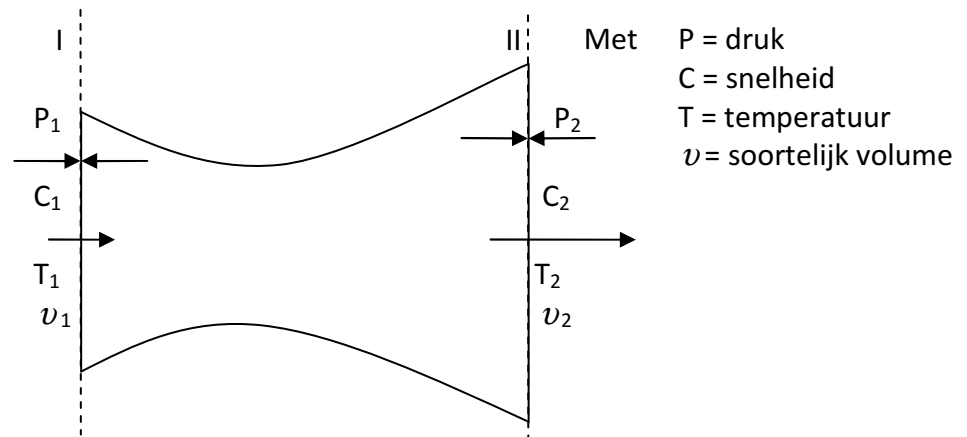
9.8.1. Hoe bereken je een straalbuis?

We hebben 3 manieren uitgewerkt om een straalbuis te bespreken. Dit hebben we wel met de nodige uitleg gedaan zodanig dat het niet zo moeilijk lijkt om een straalbuis te berekenen. Je kan een straalbuis volledig berekenen vanuit het feit dat een straalpijp een open systeem is. Je kan ook beginnen vanuit de continuïteitsregel of de wet van Castelli om een straalbuis te berekenen. Maar het is ook mogelijk om de straalbuis te bepalen door gebruik te maken van de geluidssnelheid in een ideaalgas. We hebben deze manieren hieronder volledig uitgelegd.

9.8.1.1. De straalbuis als open systeem

Het doel van een straalbuis is in feite de druk omzetten in snelheid

Geg: zie tek



We willen nu C_2 bepalen

Oplossing: We weten dat een straalpijp een open systeem is en dat de energievergelijking van een open systeem gelijk is aan:

$$\text{Algemeen: } Q = \Delta H + \Delta E_p + \Delta E_k + W$$

Met Q = warmtehoeveelheid
 ΔH = verschil in enthalpie van toestand 1 en 2
 ΔE_p = het verschil in potentiële energie van toestand 1 en 2
 ΔE_k = het verschil in kinetische energie van toestand 1 en 2
 W = de arbeid

$$\text{Bijzonder: } Q = \Delta H + \Delta E_p + \Delta E_k + W$$

Met $Q = 0$ (want we hebben hier te maken met een adiabatische stroming. De stroomsnelheid is dus zeer groot en de warmtewisseling met de omgeving is zeer klein)
 $\Delta E_p = 0$ (deze term is verwaarloosbaar klein t.o.v. de andere termen)
 $W = 0$ (Er wordt geen arbeid geleverd)

$$\text{Dus: } 0 = \Delta H + \Delta Ek$$

$$\text{Met } \Delta Ek = \frac{(c_2^2 - c_1^2) \cdot m}{2}$$

$$\Delta H = H_1 - H_2 \text{ voor 1 kg massa}$$

$$\text{Dus: } h_1 - h_2 = \frac{(c_2^2 - c_1^2) \cdot m}{2}$$

$$c_2^2 = 2 \cdot (h_1 - h_2) + c_1^2$$

$$\text{met } h_1 - h_2 = (T_1 - T_2) \cdot Cp$$

we weten uit de warmteleer dat $\Delta H = \Delta U + P \cdot v$

$$\Delta U = Cv \cdot (T_2 - T_1)$$

en dat $P \cdot v = R \cdot (T_2 - T_1)$

$$h_2 - h_1 = (T_2 - T_1) \cdot Cv + (T_2 - T_1) \cdot R$$

$$h_2 - h_1 = (T_2 - T_1) \cdot (Cv + R)$$

$$h_2 - h_1 = (T_2 - T_1) \cdot Cp$$

$$h_1 - h_2 = (T_1 - T_2) \cdot Cp$$

$$\text{Dus: } c_2^2 = 2 \cdot (T_1 - T_2) \cdot Cp + c_1^2$$

$$\text{Met } T = \frac{P \cdot v}{R} \text{ (want algemeen is } P \cdot v = m \cdot R \cdot T \text{ met } m = 1 \text{ kg)}$$

$$\text{Dus: } c_2^2 = 2 \cdot (P_1 \cdot v_1 - P_2 \cdot v_2) \cdot \frac{Cp}{R} + c_1^2$$

$$\text{Met } R = Cp - Cv$$

$$\text{Dus: } c_2^2 = 2 \cdot (P_1 \cdot v_1 - P_2 \cdot v_2) \cdot \frac{Cp}{Cp - Cv} + c_1^2$$

$$\text{Met } k = \frac{Cp}{Cv}$$

$$\text{Dus: } c_2^2 = 2 \cdot (P_1 \cdot v_1 - P_2 \cdot v_2) \cdot \frac{k}{k - 1} + c_1^2$$

(In een straalbuis is c_2 veel groter dan c_1 . We kunnen c_1 verwaarlozen)

$$c_2 = \sqrt{2 \cdot (P_1 \cdot v_1 - P_2 \cdot v_2) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

$$c_2 = \sqrt{2 \cdot P_1 \cdot v_1 \cdot \left(1 - \frac{P_2 \cdot v_2}{P_1 \cdot v_1}\right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

We kunnen nu de wetten van Poisson toepassen omdat het systeem adiabatisch verloopt

$$P_1 \cdot v_1^k = P_2 \cdot v_2^k$$

Met
$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{-1}{k}}$$

Dus:
$$c_2 = \sqrt{2 \cdot P_1 \cdot v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{P_2 \cdot}{P_1 \cdot}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

We willen nu het massadebiet in een willekeurige doorsnede bepalen

Oplossing: We weten dat het massadebiet gelijk is aan massa per tijdsinterval

Algemeen:
$$\dot{m} = \frac{m}{\Delta t}$$

$$m = V \cdot \delta$$

$$V = A \cdot \Delta s$$

Met
$$\delta = \frac{1}{v}$$

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Dus:
$$\dot{m} = \frac{A \cdot c}{v}$$

Voor doorsnede 2 wordt dit dus

Dus:
$$\dot{m} = \frac{A_2 \cdot c_2}{v_2} \quad \text{met } c_2 = \sqrt{2 \cdot P_1 \cdot v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{P_2 \cdot}{P_1 \cdot}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

$$\dot{m} = \frac{A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot P_1 \cdot v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{P_2 \cdot}{P_1 \cdot}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right) \cdot \frac{k}{k-1}}}{v_2}$$

$$P_1 \cdot v_1^k = P_2 \cdot v_2^k$$

Met
$$v_2 = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{-1}{k}} \cdot v_1$$

$$\dot{m} = \frac{A_2 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{2 \cdot P_1 \cdot v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \cdot \frac{k}{k-1}}}{v_1}$$

Dus:
$$\dot{m} = A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{P_1 \cdot v_1}{v_1^2} \cdot \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1+2}{k}} \right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

$$\dot{m} = A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{P_1}{v_1} \cdot \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

We moeten nu P_2 afleiden zodat \dot{m} maximaal is

$$\dot{m} = 0 \text{ als } P_1 = P_2 \text{ of } P_2 = 0$$

We moeten nu een waarde vinden voor P_2 tussen deze 2 uitersten zodat het massadebiet maximaal is

Dus:
$$\dot{m} = A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{P_1}{v_1} \cdot \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

Met A_2 , k en v zijn constanten

$$\left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right)$$

deze term moet maximaal zijn als we willen dat het massadebiet maximaal is

Dus:
$$y = \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right) \text{ met } x = \frac{P_2}{P_1}$$

$$y = x^{\frac{2}{k}} - x^{\frac{k+1}{k}}$$

Om een maximum te bekomen moeten we de eerste afgeleide nemen van deze vergelijking

$$0 = \frac{dy}{dt} = \left(\frac{2}{k}\right) \cdot x^{\frac{2}{k}-1} - \left(\frac{k+1}{k}\right) \cdot x^{\frac{k+1}{k}-1}$$

$$0 = 2 \cdot x^{\frac{2}{k}-1-\frac{1}{k}} - (k+1) \cdot x^{\frac{k+1}{k}-1-\frac{1}{k}}$$

$$0 = 2 \cdot x^{\frac{1}{k}-1} - (k+1) \cdot x^0$$

$$2 \cdot x^{\frac{1}{k}-1} = (k+1)$$

$$x = \left(\frac{(k+1)}{2}\right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{2}{(k+1)}\right)^{\frac{k}{1-k}}$$

We vervangen nu x opnieuw door $\frac{P_2}{P_1}$.

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{2}{(k+1)}\right)^{\frac{k}{1-k}}$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{2}{(k+1)}\right)^{\frac{k}{1-k}}$$

Dit is de druk waarbij het massadebiet maximaal is, deze druk noemen we de kritische druk P_{kr} .

Vervolgens vullen we deze formule in de formule van massadebiet

$$\dot{m} = A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{P_1}{v_1} \cdot \left(\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

$$\text{Met } P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{2}{(k+1)}\right)^{\frac{k}{1-k}}$$

$$\dot{m}_{\max} = A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{P_1}{v_1} \cdot \left(\left(\frac{2}{(k+1)}\right)^{\frac{2}{k+1}} - \left(\frac{2}{(k+1)}\right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

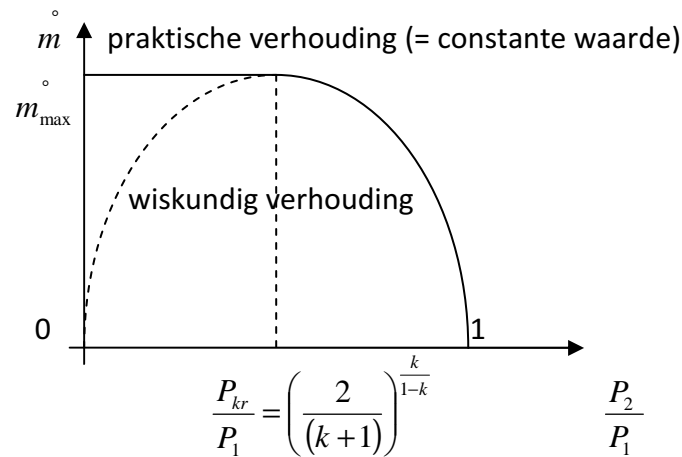
$$\text{Met } \frac{k+1}{k-1} = \frac{k+1+1-1}{k-1}$$

$$\frac{k+1}{k-1} = 1 - \frac{2}{k-1}$$

$$\begin{aligned} \text{Dus: } m_{\max}^{\circ} &= A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{P_1}{\nu_1} \cdot \left(\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k+1}} - \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right) \right) \cdot \frac{k}{k-1}} \\ m_{\max}^{\circ} &= A_2 \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k+1}} \sqrt{2 \cdot \frac{P_1}{\nu_1} \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{k+1} \right) \right) \cdot \frac{k}{k-1}} \\ m_{\max}^{\circ} &= A_2 \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k+1}} \sqrt{2 \cdot \frac{P_1}{\nu_1} \cdot \left(\frac{k-1}{k+1} \right) \cdot \frac{k}{k-1}} \\ m_{\max}^{\circ} &= A_2 \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k+1}} \sqrt{2 \cdot \frac{P_1}{\nu_1} \cdot \left(\frac{k}{k+1} \right)} \end{aligned}$$

We hebben al beweerd dat als $P_2 = 0$ dan is $\dot{m} = 0$, maar dit is niet mogelijk.

Proefondervindelijk is bewezen dat \dot{m} maximaal is als $P_2 < P_{kr}$



Als er in een doorsnede een kritische druk heerst dan noemt men de snelheid in die doorsnede C_{kr} en bijbehorend soortelijke volume ν_{kr} .

Algemeen: $P_1 \cdot \nu_1^k = P_2 \cdot \nu_2^k$ wet van Poisson

$$P_1 \cdot \nu_1^k = P_{kr} \cdot \nu_{kr}^k$$

$$\left(\frac{P_{kr}}{P_1} \right)^{\frac{1}{k}} = \frac{\nu_1}{\nu_{kr}}$$

Met $P_{kr} = P_1 \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{1-k}}$

$$\text{Dus: } \left(\frac{2}{(k+1)} \right)^{\frac{k}{1-k} \cdot \frac{1}{k}} = \frac{v_1}{v_{kr}} = \left(\frac{2}{(k+1)} \right)^{\frac{1}{1-k}}$$

$$v_{kr} = v_1 \cdot \left(\frac{2}{(k+1)} \right)^{\frac{1}{1-k}}$$

We kunnen nu Ckr bepalen

$$c_{kr} = \sqrt{2 \cdot P_1 \cdot v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{P_2 \cdot}{P_1 \cdot} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

Met $C_{kr} = C_2$ als $P_2 = P_{kr}$

$$P_{kr} = P_1 \cdot \left(\frac{2}{(k+1)} \right)^{\frac{k}{1-k}}$$

$$\text{Dus: } c_{kr} = \sqrt{2 \cdot P_1 \cdot v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{k+1} \right) \right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

$$c_{kr} = \sqrt{2 \cdot P_1 \cdot v_1 \cdot \left(\frac{k-1}{k+1} \right) \cdot \frac{k}{k-1}}$$

$$c_{kr} = \sqrt{P_1 \cdot v_1 \cdot \left(\frac{2k}{k+1} \right)}$$

We kunnen nu Ckr bepalen in functie van Pkr en v_{kr}

$$c_{kr} = \sqrt{P_1 \cdot v_1 \cdot \left(\frac{2k}{k+1} \right)}$$

Met $P_1 \cdot v_1^k = P_{kr} \cdot v_{kr}^k$ (wet van Poisson)

$$\frac{P_1 \cdot v_1^k}{v_1^{k-1}} = \frac{P_{kr} \cdot v_{kr}^k}{v_1^{k-1}}$$

$$P_1 \cdot v_1 = \frac{P_{kr} \cdot v_{kr}^k \cdot v_1^{k-1}}{v_1^{k-1}}$$

$$P_1 \cdot v_1 = P_{kr} \cdot v_{kr} \cdot \left(\frac{v_{kr}}{v_1} \right)^{k-1}$$

$$P_1 \cdot v_1 = P_{kr} \cdot v_{kr} \cdot \frac{k+1}{2}$$

$$\text{met } \frac{v_1}{v_{kr}} = \left(\frac{2}{(k+1)} \right)^{\frac{1}{1-k}}$$

$$\text{Dus: } c_{kr} = \sqrt{P_{kr} \cdot v_{kr} \left(\frac{2k}{k+1} \right) \left(\frac{k+1}{2} \right)}$$

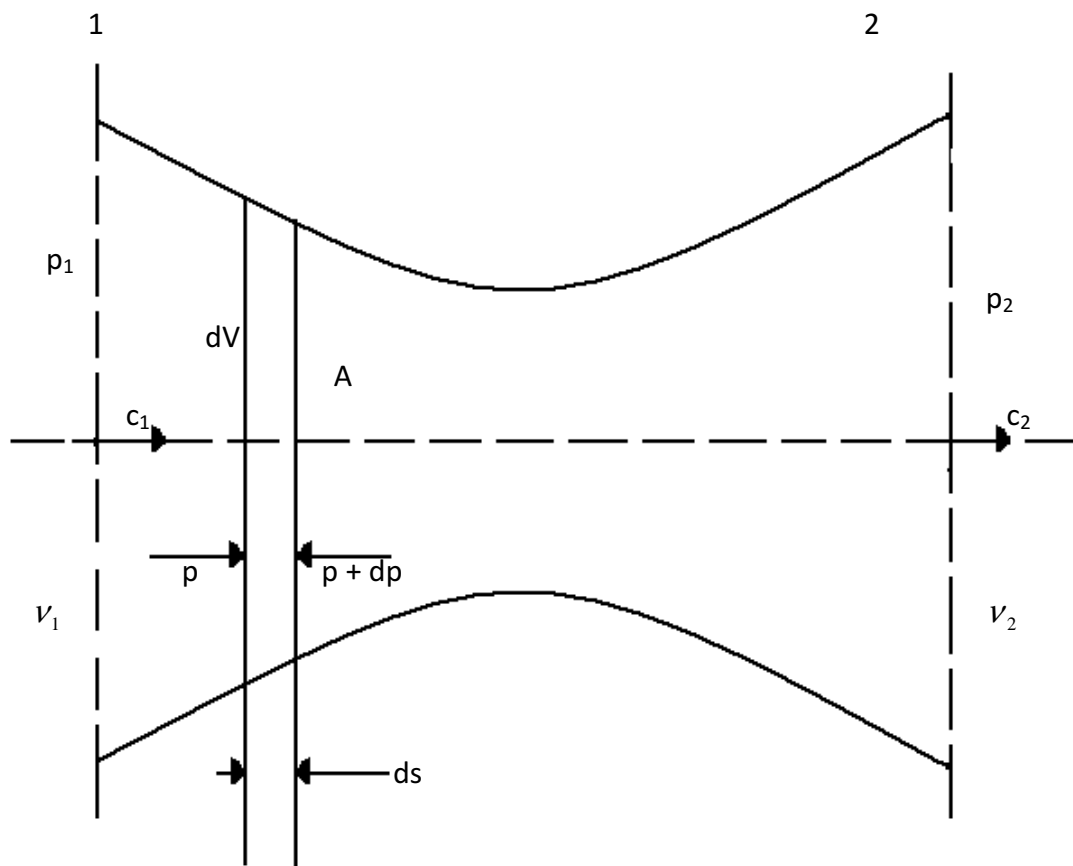
$$c_{kr} = \sqrt{P_{kr} \cdot v_{kr} \cdot k}$$

De kritische druk, snelheid en soortelijk volume zijn de toestanden die voorkomen in de kleinste doorsnede of keeldoorsnede.

9.8.1.2. Berekenen van straalbuizen met behulp van de continuïteitsregel

Algemeen weten we dat voor elke doorsnede geldt:

$$\dot{m} = \frac{A_1 \cdot c_1}{v_1} = \frac{A_2 \cdot c_2}{v_2} \text{ dit is de continuïteitsregel}$$



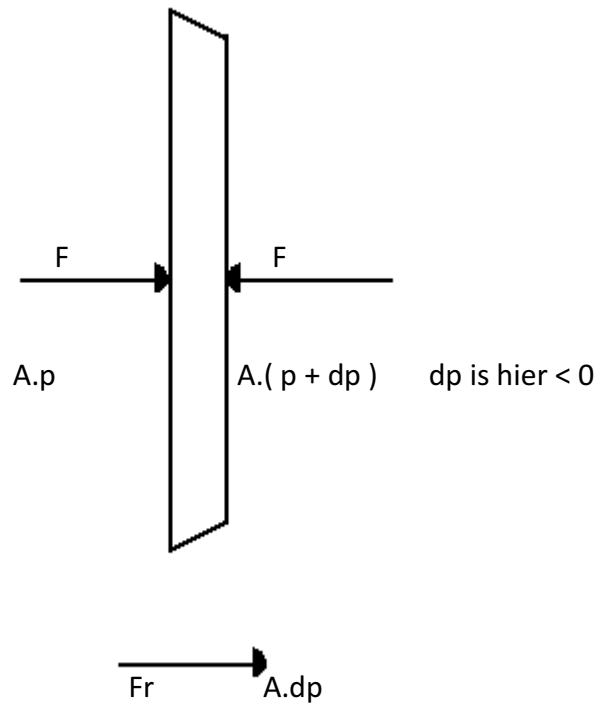
$$F = m \cdot a$$

(c is niet de geluidssnelheid)

-Bepalen massa in een klein volume dV

$$m = A \cdot ds \cdot \rho = \frac{A \cdot ds}{v}$$

-Bepalen kracht op dat kleine volume dV



We weten dat $F = m.a = \frac{A.ds}{v}.a = A.dp$

$$\text{Dus } dp = \frac{a.ds}{v}$$

$$\text{met } ds = c.dt \quad a = \frac{dc}{dt}$$

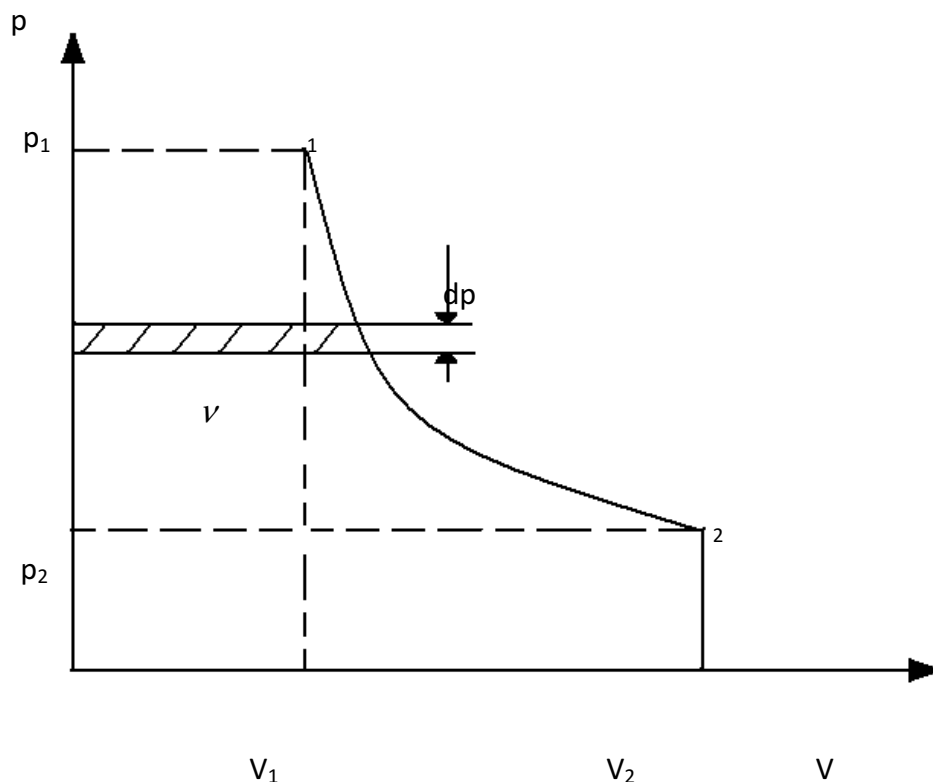
$$\text{Dus } dp = \frac{dc}{dt} \frac{c.dt}{v}$$

$$dp.v = c.dc$$

Integreren we tussen doorsnede 1 en 2

$$\int_2^1 v.dp = \int_1^2 c.dc = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}$$

Integratie van $\int_2^1 v.dp$



Uit de tekening kunnen we besluiten dat

$$\int_2^1 v.dp = n \cdot \int_2^1 p.dv \quad (= \text{oppervlakte onder de grafiek})$$

De eerste term voor het =-teken staat hier voor de indicator arbeid en de tweede term is de volume arbeid, n is de verhouding tussen beide.

$$\text{Met } \int_2^1 p.dv = W = \frac{1}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

$$\int_2^1 v.dp = \frac{n}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) \quad (p_1 v_1 \text{ afzonderen})$$

$$\int_2^1 v.dp = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \frac{p_2 v_2}{p_1 v_1} \right)$$

We weten dat $p.v^n = cte$ of $p_1 v_1^n = p_2 v_2^n$ of $\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{-\frac{1}{n}}$ dit zijn de wetten van Poisson als we dit invullen bekommen we

$$\int_2^1 v.dp = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \frac{p_2}{p_1} \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{-\frac{1}{n}} \right)$$

Na vereenvoudiging wordt dat

$$\int_2^1 v \cdot dp = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)$$

$$\text{Met } \int_2^1 v \cdot dp = \int_1^2 c \cdot dc = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}$$

$$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2} = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)$$

We weten dat c_1^2 verwaarloosbaar klein is ten opzichte van c_2^2 dus laten we deze term achterwege

$$\frac{c_2^2}{2} = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)$$

$$c_2 = \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)}$$

We weten al van de straalbuis dat, als de druk in een doorsnede daalt, dat de snelheid in die doorsnede toeneemt.

-Bepalen van het massadebiet

Massadebiet is de hoeveelheid massa die per tijdsinterval passeert dus

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \frac{dV \cdot \rho}{dt} = \frac{A \cdot ds}{v \cdot dt} = \frac{A \cdot c}{v}$$

Voor doorsnede 2 wordt dit $\dot{m} = \frac{A_2 \cdot c_2}{v_2}$ (continuïteitsregel)

Met $p_1 \cdot v_1^n = p_2 \cdot v_2^n$ of $v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}}$ wetten van Poisson

$$\text{en } c_2 = \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)}$$

$$\text{Dus } \overset{\circ}{m} = \frac{A_2}{v_1} \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right)}$$

$$\overset{\circ}{m} = A \cdot \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot \frac{p_1}{v_1} \cdot \left(\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{n}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n+1}{n}}\right)}$$

$\overset{\circ}{m}$ is 0 indien $p_1 = p_2$ of als $p_1 = 0$ of $p_2 = 0$

We zullen nu $\frac{2n}{n-1} \cdot \frac{p_1}{v_1}$ gelijkstellen aan K^2 en $\frac{p_2}{p_1} = a$

Dus dan bekomen we de volgende vereenvoudigde vergelijking

$$\overset{\circ}{m} = A \cdot K \sqrt{\left(a^{\frac{2}{n}} - a^{\frac{n+1}{n}}\right)}$$

$\overset{\circ}{m}$ zal dus maximaal zijn als $a^{\frac{2}{n}} - a^{\frac{n+1}{n}}$ maximaal is

$$\text{Indien } \frac{d}{da} \left(a^{\frac{2}{n}} - a^{\frac{n+1}{n}}\right) = 0$$

$$\frac{2 \cdot a^{\frac{2}{n}-1}}{n} - \frac{(n+1) \cdot a^{\frac{n+1}{n}-1}}{n} = 0$$

$$\frac{2 \cdot a^{\frac{2-n}{n}}}{n} = \frac{(n+1) \cdot a^{\frac{1}{n}}}{n}$$

$$a^{\frac{2-n-1}{n}} = \frac{(n+1) \cdot n}{2n}$$

$$a = \left(\frac{n+1}{2}\right)^{\frac{n}{1-n}} = \left(\frac{2}{n+1}\right)^{\frac{n}{n-1}}$$

a voor $\overset{\circ}{m}$ maximum noemen we kritische versnelling a_{kr}

We stellen nu $n = k = 1,33$

$$\text{dus } a_{kr} = \left(\frac{2}{1,33+1}\right)^{\frac{1,33}{0,33}} = 0,54$$

$$a_{kr} = \frac{p_{kr}}{p_1} = 0,54$$

$$p_{kr} = 0,54 \cdot p_1$$

-Bepalen van de kritische snelheid c_{kr}

Eerder bepaalden we al dat

$$c_2 = \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)}$$

c zal nu kritisch zijn indien $a = a_{kr} = \frac{p_{kr}}{p_1} = \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n}{n-1}}$ al we deze term invullen bekommen we

$$c_{kr} = \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{p_{kr}}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)}$$

$$c_{kr} = \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot p_1 v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{n+1} \right) \right)}$$

$$\begin{aligned} \text{Met } & \frac{2n}{n-1} \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{n+1} \right) \right) \\ & \left(\frac{2n}{n-1} - \frac{4n}{(n^2-1^2)} \right) \\ & \left(\frac{2n \cdot (n+1) - 4n}{(n^2-1^2)} \right) \\ & \left(\frac{2n \cdot}{n+1} \right) \end{aligned}$$

Na vereenvoudiging wordt dit

$$c_{kr} = \sqrt{\frac{2n}{n+1} \cdot p_1 v_1}$$

-Bepalen van de kritische volumedichtheid v_{kr} uit $p \cdot v^n = cte$ wet van Poisson

$$p_1 \cdot v_1^n = p_2 \cdot v_{kr}^n$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_{kr}} \right)^n = \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n}{n-1}}$$

$$\frac{v_1}{v_{kr}} = \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$v_{kr} = v_1 \cdot \left(\frac{n+1}{2} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

-Bepalen van m maximum

$$m = \frac{A_1 \cdot c_1}{v_1} = \frac{A_2 \cdot c_2}{v_2} \quad \text{continuïteitsregel}$$

m wordt maximaal voor c_{kr} en v_{kr}

$$\text{Met } c_{kr} = \sqrt{\frac{2n}{n+1}} \cdot p_1 v_1$$

$$v_{kr} = v_1 \cdot \left(\frac{n+1}{2} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

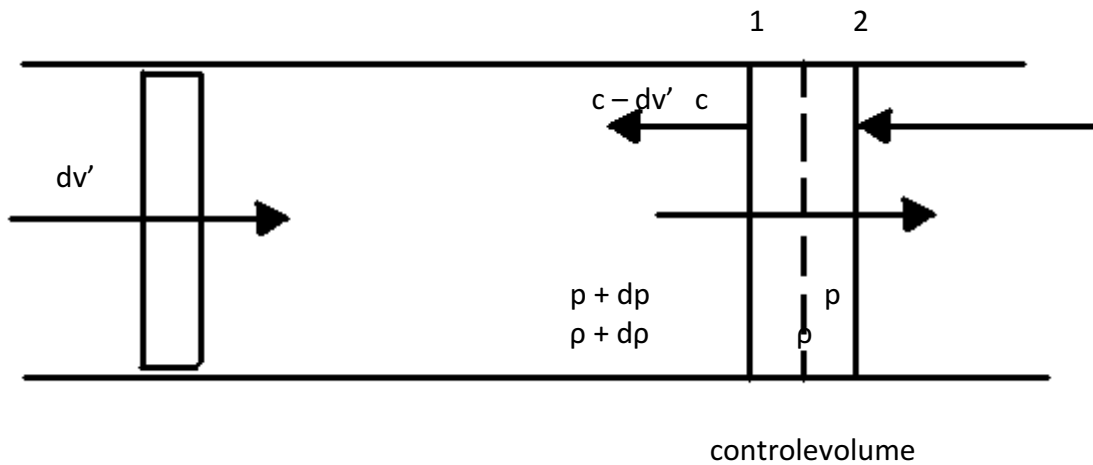
$$\text{Dus } m_{\max} = \frac{A_2 \sqrt{\frac{2n}{n+1}} \cdot p_1 v_1}{v_1 \cdot \left(\frac{n+1}{2} \right)^{\frac{1}{n-1}}}$$

Na vereenvoudigen wordt dit

$$m_{\max} = A_2 \cdot \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{1}{n-1}} \cdot \sqrt{\frac{2n}{n+1}} \cdot \frac{p_1}{v_1}$$

9.8.1.3. Bepalen van de geluidssnelheid in een ideaalgas

De snelheid van het geluid doorheen een stof is de snelheid waarmee een kleine drukverstoring zich doorheen die stof voortplant.



-voor de continuïteitsregel geldt dat de uitgestoten massa gelijk moet zijn aan de ingevoerde massa dus

$$m_{in} = m_{uit}$$

Aangezien we weten dat de massa gelijk is aan $v \cdot A \cdot \rho$ en het massa per oppervlakte is, kunnen we dit ook schrijven als

$$\begin{aligned} \rho \cdot c &= (\rho + d\rho) \cdot (c - dv') \\ \rho \cdot c &= \rho \cdot c + c \cdot d\rho - dv' \cdot d\rho - \rho \cdot dv' \end{aligned} \quad -dv' \cdot d\rho \text{ valt weg}$$

Na de vereenvoudigingen bekomen we

$$\rho \cdot dv' = c \cdot d\rho \quad (a)$$

-de energievergelijking per kg luidt als volgt

$$\Delta Ek + \Delta Ep + \Delta u + \Delta pV + W = Q$$

Voor een open systeem wordt dit

$$\Delta Ek + \Delta pV = 0$$

$$\begin{aligned} \text{Met } \Delta Ep &= 0 \\ W = Q &= 0 \\ \Delta u &= 0 \end{aligned}$$

Als we de formules voluit schrijven en wordt dit

$$\frac{(dv')^2}{2} + d(pV) = 0$$

Het is per kg dus dat betekent dat volume nu volumedichtheid wordt

$$\frac{(dv')^2}{2} + d(pv) = 0 \quad (d(pv) \text{ uitgerekend is volgens de wiskunde } pdv + vdp)$$

We nemen van beide leden de bepaalde integraal tussen doorsnede 1 en 2

$$\int_1^2 \frac{(dv')^2}{2} + pdv + \int_1^2 d(pv) = 0$$

Door het controlevolume is V een constante en de afgeleide van een constante is nul dus valt deze term weg

$$\int_1^2 \frac{(dv')^2}{2} + \int_1^2 d(pv) = 0$$

$$\frac{1}{2} \left([v']_{v_1}^{v_2} \right)^2 + v[p]_1^2 = 0$$

Met $\frac{1}{2} \left([v']_{v_1}^{v_2} \right)^2 = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}$ en $v_2 = c - dv'$

$$\frac{(c - dv')^2 - c^2}{2} + v(p_2 - p_1) = 0$$

$$\frac{c^2 - 2cdv' + dv'^2 - c^2}{2} + v(p_2 - p_1) = 0$$

dv'^2 is verwaarloosbaar klein en valt

weg

Vereenvoudigd wordt dat

$$-cdv' + v(p_2 - p_1) = 0$$

Met $v = \frac{1}{\rho}$

$$cdv' = \frac{(p + dp) - p}{\rho}$$

$$cdv' = \frac{dp}{\rho} \quad (b)$$

Vervolgens zullen we vergelijking a delen door vergelijking b

$$\frac{\rho dv'}{cdv'} = \frac{cd\rho \cdot \rho}{dp}$$

$$c^2 = \frac{dp}{d\rho}$$

-bijzondere gevallen ideaalgas

De wet van poisson zegt $p \cdot v^k = cte$ dat is gelijk aan $p = cte \cdot \rho^k$

Voegen we dit in de formule $c^2 = \frac{dp}{d\rho}$

$$c^2 = \frac{d(cte \cdot \rho^k)}{d\rho}$$

$$c^2 = cte \cdot k \cdot \rho^{k-1}$$

Met $p = cte \cdot \rho^k$

$$c^2 = \frac{p \cdot k}{\rho} = p \cdot k \cdot v$$

De ideale gaswet luidt als volgt $p \cdot v = R \cdot T$ voegen we dat in de vergelijking wordt dat

$$c^2 = \frac{R \cdot T \cdot \rho \cdot k}{\rho} = R \cdot T \cdot k$$

$$c = \sqrt{R \cdot T \cdot k} = \sqrt{k \cdot p \cdot v}$$

Voor de kritische snelheid wordt dit

$$c_k = \sqrt{k \cdot p_k \cdot v_k} = c_{geluid}$$

Voor het maximaal massadebiet en gebruik makend van de continuïteitsregel krijgen we

$$\overset{\circ}{m} = \frac{A_k \cdot c_k}{v_k} = \frac{A_k \cdot \sqrt{k \cdot p_k \cdot v_k}}{v_k}$$

$$\overset{\circ}{m} = A_k \cdot \sqrt{\frac{k \cdot p_k}{v_k}}$$

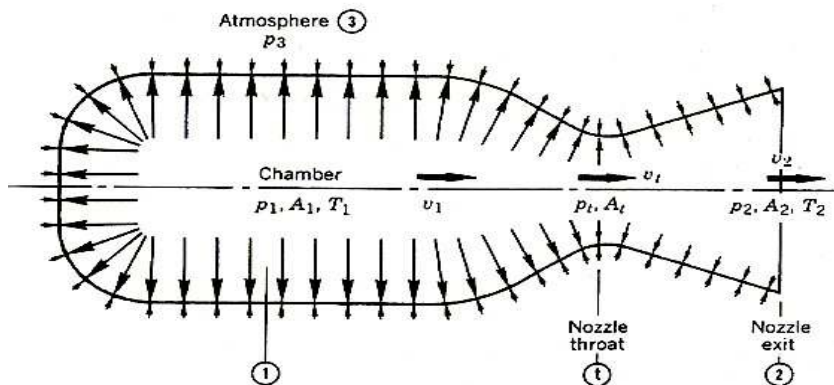
En uit de eerste methode weten we dat dit gelijk is aan

$$\overset{\circ}{m}_{\max} = A_2 \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot \frac{p_1}{v_1}}$$

9.8.2. Berekeningen

Aan de hand van een aantal gegevens konden we via de motorberekeningen alles bepalen van de motor. Hier worden de motoren van de Razon, de Castor en pro 54 besproken. De pro 54 is een motorbehuizing waarin de brandstof moest komen die we normaal gingen gebruiken. Maar zoals u waarschijnlijk al hebt gelezen, hebben we het moeten doen met een andere brandstof die niet paste in de behuizing. Hierdoor hebben we een pro 38 motorbehuizing moeten gebruiken voor onze raket. Hierover zijn er helaas geen berekeningen gedaan wegens het gebrek aan gegevens.

9.8.2.1. Berekeningen Razon



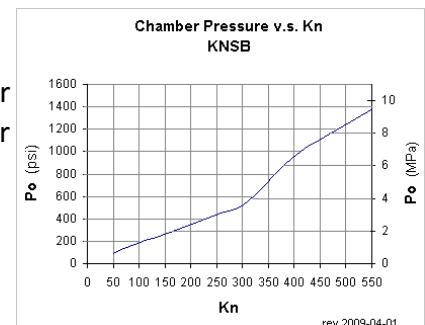
Gegeven:

P_o	Motordruk (de waarde van de druk zal	50 Bar
P_o	tussen de 50 en 70 bar zijn)	70 bar
K_n	min verhouding brandgebied	375
K_n	max verhouding brandgebied	450

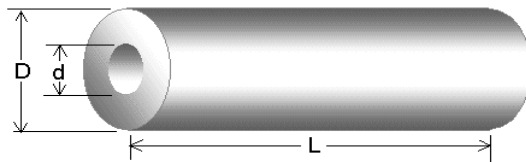
Verhouding brandgebied = brand oppervlak / keeldoorsnede

Waarden van K_n gevonden door middel van deze grafiek →

Bron: <http://www.nakka-rocketry.net/design1.html>



r	brandsnelheid	0,6 cm/sec
ϕ	Massa dichtheid van de brandstof	1841 g/cm ³
ϕ	(we hebben 2 waarden hiervan)	1749 g/cm ³
	uitlaatsnelheid kenmerkend voor de	
c^*	drijfgas	908,18459 m/s
n	dichtheid verhouding	1,1 cm/sec
R_a	Algemene gasconstante	8315,16 J/molK
M	Moleculaire massa	39,9 gram/mol
R_s	specifieke gasconstante	208,4 J/kgK
k	specifieke warmteconstante	1,1361
T_o	Temperatuur in de kamer	1600 K
I_{sp}	specifieke impuls	155,65 Ns Propep gegeven
I_{sp}	(2 verschillende waarden geg.)	136 Ns Tony gegeven
g	gravitatieconstante	9,81 m/s ²
T	stuwkracht	1000 N



A_b	brandoppervlakte	419,4412 cm ²
A_{b0}	brandoppervlakte in het begin	358,3996 cm ²
D	Buitendiameter	9,2 cm
d	binnendiameter	7,8 cm
d_0	binnendiameter in het begin	4,2 cm
L	lengte	15,6 cm
L_0	beginlengte	19,2 Cm

Er zijn 4 segmenten dus A_b moet maal 4

A_{bmax}	maximum brandoppervlakte	1677,7648 cm ²
A_{b0max}	maximum begin brandoppervlakte	1433,5984 cm ²
A_t	keeldoorsnede	4,3351625 cm ²
D_t	keeldiameter	2,35 cm

nieuwe manier om brandoppervlakte te vinden met behulp van de keeldiameter

A_{bmin}	Minimum brandoppervlakte	1625,6859 cm ²
A_{bmax}	Maximum brandoppervlakte	1950,8231 cm ²
x	branddikte	1,8 cm

nieuwe manier om K_n te berekenen en te controleren

K_n	verhouding brandgebied	387,01313
t_b	brandtijd	1,2 sec
l	dikte van de drijfgassen	0,72 cm
V_e	theoretische uitgangsnelheid	1526,9265 m/s Propep gegeven
V_e	theoretische uitgangsnelheid	1334,16 m/s Tony gegeven
M_d	Massa debiet met $p_0 = \min$	0,6549104 kg/s Propep gegeven
M_d	Massa debiet met $p_0 = \max$	0,7495353 kg/s Tony gegeven
c_f	Stuwkracht coëfficiënt	1,6812953
A_{t2}	keeldoorsnede max. met $p_0 = \min$	11,89559 cm
A_{t2}	keeldoorsnede min. met $p_0 = \max$	8,4968501 cm
l_t	lengte keeldoorsnede	1,175 mm
v_2	uitgangsnelheid	1526,9265 m/s
€	Keeldoorsnede expansie ratio	3,1277222
€	Keeldoorsnede expansie ratio	4,0728376
A_2	oppervlakte van straalpijp	1355,9184 mm ²
D_2	diameter van de straalpijp	41,560613 mm
V_p	volume voor 1 blok	1009,824 cm ³
M_p	Moleculair gewicht voor 1 blok	1,859086 kg
M_p	Moleculair gewicht voor 4 blokken	7,4363439 kg

9.8.2.2. Berekeningen Castor

I_{sp}	specifieke impuls	133,7	Ns	
t_b	brandtijd	1,55	s	
D_c	kamerdiameter	50	mm	
L_c	Lengte van de kamer	400	mm	
V_c	Volume van de kamer	785398	mm ³	
D_0	buitendiameter	47,75	mm	
d_0	kerndiameter	20,05	mm	
L_0	segment lengte	89,8	mm	
$4x L_0$	begin lengte	359,2	mm	
L_{go}	begin lengte brandstof	359,2	mm	
V_{go}	begin volume brandstof	529829	mm ³	
V_l	volume ladingsfractie	0,675		
r'	ideale brandstof dichtheid	1,879	g/cm ³	
n	dichtheid verhouding	0,9489	cm/s	
r'	werkelijke brandstof dichtheid	1,783	g/cm ³	
m	brandstof massa	0,945	kg	
A_{beo}	eind brandoppervlakte	11800	mm ²	
A_{bco}	kern brandoppervlakte	22626	mm ²	
A_{b0}	begin totaal brandoppervlakte	34426	mm ²	
$K_n \text{ min}$	min verhouding brandgebied	260		
$K_n \text{ max}$	max verhouding brandgebied	298		
A_{t0}	dwarsdoorsnede van de keel(begin)	123	mm ²	0,000123 m ²
D_{t0}	keeldiameter	13,51	mm	
e	pijperosie	1	mm	
D_{tf}	einde keeldiameter	12,51	mm	
R_s	specifieke gasconstante	208,4	J/kgK	
T_{max}	stuwkracht	1211	N	
g	gravitatieconstante	9,81	m/s ²	
P_c	kamer druk	37,5	bar	
p_2	uitgangsdruk	1,0135	bar	
p_3	luchtdruk	1,0135	bar	
k	specifieke warmteconstante	1,1361		
c^*	drijfgas kenmerkende uitlaatsnelheid	0,004881	m/s	
v_c	theoretische uitgang snelheid	1311,597	m/s	
L	dikte van de drijfgassen	14,70795	mm	
m	brandstof massa	0,923302	kg	controle
C_f	Stuwkracht coëfficiënt	268717,4	/s	
A_t	keeldoorsnede	0,00012	m ²	120,1758 mm ²
D_t	keeldiameter	12,37296	mm	
v_c	theoretische uitgang snelheid	1311,597	m/s	controle
A_1/A_2	Verhouding van A_1 op A_2	0,100851		
ϵ	Keeldoorsnede expansie graad	9,915658		
A_2	oppervlakte van straalpijp	1191,622	mm ²	
D_2	diameter van de straalpijp	38,96139	mm	

9.8.2.3. Berekeningen Pro 54

motorkamer

D_c	Kamerdiameter (binnenin)	50,8	mm
L_c	kamerlengte (binnenin)	317	mm
V_c	kamervolume (leeg)	642179,3608	mm ³

brandstof

D_o	Buitendiameter	47,75	mm
d_o	kerndiameter	20,05	mm
L_o	segment lengte	79,25	mm
N	aantal segmenten	4	
	buitenste diameter ontsteking	0	1= ontstoken, 0 = niet ontstoken
	kern diameter	1	1= ontstoken, 0 = niet ontstoken
	uiteinden	1	1= ontstoken, 0 = niet ontstoken
L_{go}	brandstof lengte	317	mm
V_{go}	brandstof volume	467345,8407	mm ³
V_l	volume ladingsfractie	0,727749705	
ρ'_{grain}	ideale massadichtheid van de brandstof	1,879	g/cm ³
n	dichtheid verhouding	0,9489	
ρ_{grain}	ideale massadichtheid van de brandstof	1,7829831	g/cm ³
m	brandstof massa	0,945	kg
A_{beo}	brandstofoppervlak einde	11794,2168	mm ²
A_{bco}	brandstofoppervlak kern	19957,369	mm ²
A_{bso}	brandstofoppervlak diameter buiten	0	mm ²
A_{bo}	totaal brandoppervlak	31751,5858	mm ²

straalbuis

K_{n0}	verhouding brandgebied	280	
A_{t0}	keeldoorsnede oppervlak	123	mm ²
D_{t0}	keeldiameter	12,51750367	mm
e	pijperosie	1	mm
D_{tf}	keeldiameter na lancering	13,51750367	mm

9.9. Verslag van de lancering

Op donderdag 6 mei vertrok klas 614 samen met Dhr. Verhaeghe, Mevr. Verhaeghe en Mevrouw De Laere richting Nederland.

De bagage, tenten, het eten en natuurlijk onze raketten werden in de koffer ingeladen. Daarna vertrokken wij in karavaan richting Nederland.

De rit verliep in het begin rustig, er was niet te veel file en het weer viel redelijk goed mee. Maar in Antwerpen begon de file, in deze file hoorden de mensen die mee waren met Mevr. De Laere rare geluiden achteraan de auto wanneer er geremd werd. Het was alsof het hard donderde en toen wij wilden remmen zodat de auto stopte, viel de auto volledig stil. Er was dus iets helemaal niet pluis, dus belde Mevr. De Laere naar het VTI om uitleg te vragen en zij raadden ons aan om naar een dichtstbijzijnde garage in Antwerpen te gaan. Dus werd snel de GPS ingesteld om naar deze garage te rijden.

In de garage aangekomen moesten wij eventjes wachten tot wij aan de beurt kwamen, want het was een zeer groot bedrijf dat het redelijk druk had met auto's te herstellen. Het duurde anderhalf uur voor de auto hersteld was. Er bleek een probleem met een bout die de remschoen op zijn plaats moest houden. Maar het was hersteld en we konden onze rit verder zetten naar Amsterdam.



Er was veel file in Nederland tijdens onze rit. We kwamen ongeveer om 13 uur aan in het mooie Amsterdam, en het weer was schitterend. Na een korte wandeling hebben wij gegeten bij de stadsschouwburg van Amsterdam, daar hebben wij ook een kaart gevraagd om te zien welke stadswandelingen wij konden maken in Amsterdam. Daarna hebben wij een stadswandeling gemaakt en na een korte stop bij een lokaal cafeetje gingen wij terug naar onze parkeerplaats om richting camping De Witte Wieven te vertrekken in Nunspeet.

Tijdens onze rit naar 't Harde kregen wij heel slecht nieuws te horen. Er belde iemand om te zeggen dat de wetgeving in Nederland veranderd was en dat daardoor diegene die de motor voor onze raket ging komen ophalen bij een man niet meer over de juiste papieren beschikte. Daardoor hadden wij dus geen motor en konden wij dus onze raket niet lanceren. Wij zetten onze reis verder naar onze camping, al wisten we niet zeker of de raket de vrijdag gelanceerd kon worden.



Wij kwamen aan in de camping omstreeks 17.30. Een man van de camping wees onze kampeerplaats aan en daarna konden wij onze tent opzetten. Na het opzetten van de tent begonnen wij met de voorbereiding van het avondeten. De groenten werden gewassen, de worsten en het spek werden op de rooster gelegd en er zorgden ook enkelen voor de drank en voor de chips, het was heel lekker!



Na het eten werden wij omstreeks 21.30 verwacht in een hotel in de buurt waar er een bijeenkomst was van de Nederlandse raketclub NAVRO. Met een stuk of 6 vertrokken wij richting het hotel. Toen wij aankwamen was het welkomstwoord een koude douche. Ze hadden helemaal niet verwacht dat wij daar nog gingen zijn na het slechte nieuws dat we in de namiddag hadden vernomen. Wij kregen een 10-tal minuten een verhaal te horen hoe de wetgeving veranderde in Nederland en hoe het kwam dat wij onze motoren niet konden krijgen. Wij hebben daarna ons volledig verhaal verteld, dat wij bezig waren met ons eindwerk, dat wij ons echt hiervoor willen inzetten en dat wij zeker ons doel wilden halen en onze raket in de lucht wilden afvuren.

Een man van NAVRO zei dat het hem echt speet dat hij er echt niets aan kon doen, maar toch liet hij op één of andere manier blijken dat er een oplossing was, hij was echter nogal vaag. Toen wij doorvroegen zei hij uiteindelijk dat er misschien een andere organisatie was die wel leden hebben met wel de juiste papieren om deze motoren te kunnen afhalen. Uiteindelijk konden we aan een telefoonnummer geraken via de website van deze organisatie en toen we belden zei hij dat een andere persoon ons zou kunnen helpen. En dit ging zo voortdurend door, wij werden van de ene persoon naar de andere persoon doorgestuurd en dit heel de avond lang. Na een 10-tal telefoontjes te hebben gepleegd kregen we een vriendelijke man aan de telefoon die ons zeker aan een oplossing wou helpen, hij belde ook een paar mensen. Uiteindelijk was het 00.30 en belde hij terug met een idee! Hij kon aan één andere motor geraken, een ander type. Tijdens ons heen en weer getelefoneer kwamen ook 2 mannen van de raketorganisatie NAVRO, die ons wilden helpen met het opzoeken van informatie over

deze nieuwe motor, bij ons zitten. Wij moesten zeker zijn dat deze nieuwe motor van een ander type wel zou passen voor onze raket en wel krachtig genoeg zou zijn voor onze raket. De motor bleek goed te zijn voor onze raket en we spraken af dat deze man ook de volgende dag om 9 uur op het lanceerterrein zou zijn. Spijtig genoeg hadden we niet 2 motoren, want wij hadden 2 raketten, maar toch waren we heel blij dat we één motor hadden zodat we één raket de ruimte konden insturen. Wij konden met een gerust hart terug naar onze camping gaan voor een korte nachtrust, om 2 uur deden wij het licht uit.



Vroeg in de morgen om 7 uur was bijna iedereen wakker. Enkelen gingen naar het dorpje Nunspeet om brood te gaan halen, en ook enkelen stonden in voor het maken van een lekker ontbijt, spek met eieren.

Na het ontbijt was het tijd om de tenten op te ruimen en onze koffers te pakken.



Aangekomen op het lanceerterrein in 't Harde, een 10-tal kilometer van onze camping waren er al enkelen van de Nederlandse raketclub. Wij hadden ook plaats om onze tent op te zetten want het was redelijk koud en er was heel veel wind. Toen kwam de man met de motor aan. Hij vroeg ons welke casing we hadden, dit is het omhulsel van de motor. Wij hadden een 54 casing die we normaal zouden gebruiken voor onze motoren die we dus niet konden krijgen. Voor de nieuwe motor die deze man mee had, hadden wij een 38 casing nodig. Hij had een gedeelte van deze casing in zijn auto liggen, maar de afsluitingsring van deze casing had hij niet in zijn bezit. Maar hij kende iemand die deze afsluitingsring waarschijnlijk had. Hij belde deze man op, maar hij antwoordde niet, het was spijtig genoeg zijn voice mail. Het kon wel zijn dat zijn nummer veranderd was hadden we van enkelen gehoord. Na een halfuurtje wachten kregen we nog steeds geen telefoon terug en we mochten iemand zijn GSM gebruiken om via het internet het huistelefoon te zoeken van deze man.

Nadat we deze man probeerden te bellen via zijn huistelefoonnummer nam er iemand anders

op die uiteindelijk het gsm-nummer van de man kon geven. Wij probeerden te bellen naar zijn GSM, maar hij was in vergadering en kon niet praten met ons. Na een tijdje wachten belden wij opnieuw terug en vroegen als hij dit onderdeel had liggen. Hij antwoordde positief en liet weten dat hij dit stuk had.

Het enige probleem was dat deze man 80 km van het lanceerterrein woonde ergens bij Utrecht.

Maar toch wilden wij dit stuk bemachtigen of anders kon onze raket niet afgevuurd worden. Met een stuk of zes gingen wij met Dhr. Verhaeghe richting Utrecht om dit stuk af te halen. Het probleem was ook dat er heel veel file was en dat we moesten terug zijn op het lanceerterrein voor 2 uur, omdat dan de laatste raketten mochten afgevuurd worden.



Wij kwamen uiteindelijk op het lanceerterrein aan om 5 over 2. Wij mochten van de organisatie samen met de man van de motor onze motor in onze raket plaatsen en de laatste taken uitvoeren zodat onze raket lanceerklaar was.





Na 2 “mis-fires” of m.a.w. een probleem i.v.m. het ontsteken van de motor ging de raket de derde keer de lucht in en dit om 8 over 3. Onze raket ging 326 meter hoog, spijtig genoeg ging de parachute niet open en daardoor is de raket niet heelhuids beneden gekomen. De neuskegel was volledig kapot, ook de camera in de raket moest eraan geloven. Gelukkig was de R-DAS nog intact en konden we hieruit onze vluchtgegevens halen hoe hoog de raket is gegaan en welke snelheden de raket heeft gehaald.

We keerden daarna huiswaarts richting Torhout met een fantastisch gevoel dat ons project geslaagd is!

Voor verslag : Tom Hollevoet

Voor meer informatie en foto's bezoek onze website op www.qip2009.be

10. Bibliografie

10.1. Geschiedenis van de astronomie

http://www.wikipedia.org	14 /10/ 2009
http://www.sterrenkunde.nl	14/10/2009
http://www.phys.uu.nl/~vgent/islam/images/luncycle.gif	10/11/2009
http://www.kennislink.nl	25/10/2009
http://mediatheek.thinkquest.nl	01/12/2009
http://www.fi.uu.nl	27/12/2009
http://nl.wikipedia.org	23/01/2010
http://www.mandala.be	24/01/2010
http://www.astronomie.nl	4/02/2010
http://www.allesoversterrenkunde.nl	5/02/2010
http://www.astrostart.nl	19/02/2010
http://www.spacepage.be	20/02/2010
http://www.scholieren.com	24/02/2010
http://www.tagoror.com/	22/12/2009
http://www.uraniam.be	19/10/2009
http://virtueelpracticumlokaal.nl/Kepler_nl/Kepler_nl.html	21/10/2009
http://en.wikipedia.org/wiki/Nicolaus_Copernicus	21/10/2009
http://nl.wikipedia.org/wiki/Augustinus_van_Hippo	21/10/2009
http://www.devalvangalilei.be/files/Leven/Florence/Dialogo.htm	16/06/2010

voornaamste bron:

boek "eeuwen verkennen het heelal" door Jean E. Charon

10.2. Waarnemen van het heelal

10.2.1. Elektromagnetische straling

http://virtueelpracticumlokaal.nl/lineaireversneller_nl/linversneller_nl.html

op 30 oktober '09

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Deeltjesversneller>

op 31 oktober '09

http://nl.wikipedia.org/wiki/Constante_van_Planck

op 6 november '09 en 11 november '09

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Dyn>

op 6 november '09 en 11 november '09

http://nl.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_straling

op 18 november '09 en 31 november '09

<http://natuurwetenschappen.vvksso.net/Gezondheid%20en%20voeding1/C2d16ElektromagnStraling%20ZOPM.doc>

5 december '09

<http://www.astrolab.be//educatief/Educatieve%20Brochures/AstroLAB%20IRIS%20-%20Educatieve%20brochure%20-%20-%20Licht%20in%20de%20Sterrenkunde.pdf>

op 30 november '09 en 12 januari '10

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Roodverschuiving>

op 12 april '09

Speurtocht door het heelal. (Robin Kerrod, Elsevier, ISBN 90 10051102)

Op 27 december '09 en 30 januari '10

10.2.2. optische kijkers en Radiotelescopen

<http://hamradio.nikhef.nl/afdeling/woerden/art/1245423032.hti>

op 10 januari '10

<http://www.astronomie.be/radioastronomie/>

op 10 januari '10

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Radiotelescoop>

op 10 januari '10

http://www.kennislink.nl/upload/129767_962_1112352550887-radio_telescope.jpg

op 19 mei '10

<http://www.astron.nl/node/439>
op 19 mei '10

<http://www.ikhebeenvraag.be/vraag/13283>
bekeken op 25-10-09

http://nl.wikipedia.org/wiki/Telescoop_%28optica%29
bekeken op 10-10-09

10.2.3. Documenten

Observator 2004 nummer 3, Rijk-Jan Koppejan en Han Beeckman, bekeken op 10-10-09

Licht in de Sterrenkunde, 29 november 2005, AstroLAB Iris, bekeken op 11-10-09

10.2.4. lichtsterkte en helderheid

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Ledlamp>

geraadpleegd op: 09 11 09

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtsterkte>

geraadpleegd op: 09 11 09

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Kleurtemperatuur>

geraadpleegd op: 11 11 09

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Convergentie_\(natuurkunde\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Convergentie_(natuurkunde))

geraadpleegd op: 11 11 09

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Astroloog>

geraadpleegd op: 15 11 09

<http://www.ster.be/urania/magnitude.html>

geraadpleegd op: 15 11 09

<http://www.sterrenkunde.nl/index/encyclopedie/hst.html>

geraadpleegd op: 11 11 09

cursus aardrijkskunde vorig jaar

geraadpleegd op: 09 11 09

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Wega>

geraadpleegd op: 09 11 09

<http://www.astrolab.be//educatief/Educatieve%20Brochures/AstroLAB%20IRIS%20-%20Educatieve%20brochure%202%20-%20Licht%20in%20de%20Sterrenkunde.pdf>

geraadpleegd op: 15 11 09

<http://www.sterrenkunde.nl/index/encyclopedie/hst.html>

geraadpleegd op: 15 11 09

<http://www.spaceflight.esa.int/users/index.cfm?act=default.page&level=11&page=1738>

geraadpleegd op: 11 11 09

<http://www.elkedigitalie.nl/italiaanse-cultuur/vallende-sterren/>

geraadpleegd op: 11 11 09

http://nl.wikipedia.org/wiki/Komeet_Halley

geraadpleegd op: 15 11 09

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Ster_\(hemellichaam\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Ster_(hemellichaam))

geraadpleegd op: 09 11 09

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Zevengesternte>

geraadpleegd op: 15 11 09

10.2.5. CCD chip en bewegende beelden

http://www.specinst.com/What_Is_A_CCD.html

op 28 oktober '09

http://nl.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device

op 28 oktober '09 en 11 november '09

<http://www.encyclo.nl/begrip/Bitdiepte>

op 6 november '09 en 11 november '09

<http://www.rigauts.be/content/static.aspx?ID=11>

op 11 november '09

http://www.hitech.com.sg/rl/multispectral/Dig_Camera-OV.htm

op 17 november '09 en 28 december '10

<http://nl.wikipedia.org/wiki/CMOS>

28 december '10

http://nl.wikipedia.org/wiki/Progressive_scanning

2 en 16 januari '10

<http://nl.wikipedia.org/wiki/SCART>

op 13 februari '10

<http://nl.wikipedia.org/wiki/HDMI>

op 13 februari '10

<http://digitalcontentproducer.com/hdhdv/depth/CMOS%20Chip1.jpg>

op 17 november '09

http://www.washington.edu/ist/help/computing_fundamentals/troubleshootingxp/img/bios.gif

<http://www.computerclubhelden.nl/joomla2/images/stories/flyer/bios.jpg>

<http://www.engineering.uiowa.edu/~dip/homework/interlaced-scan.jpg>

<http://marcobogers.files.wordpress.com/2007/01/windowslivewriterdigitaalversusanalogdenken-12821digitaal32.jpg>

http://www.hardware.info/images/news/hd_dvd.jpg

<http://www.rrbwebdesign.nl/wp-content/uploads/2009/12/videoband.jpg>

op 17 november '09

<http://www.gadgetfacts.nl/wp-content/uploads/2008/11/videoband-usb-hub.jpg>

op 13 februari '10

<http://www.grenswetenschap.nl/images/artikelfoto/-images-products-C-cbl-hdmi-mm.jpg>

op 13 februari '10

Cursus Licht in de Sterrenkunde

Op 28 oktober '09 en 6, 11, 17 november '09 en 2 januari 2010

10.3. Het heelal - zonnestelsel

10.3.1. Bronnen: De Big Bang theorie

Inleiding: Waar komt alles vandaan?:

Engelse documentaire "The universe: Beyond the big bang"
Geraadpleegd van 18 december 2009 tot 24 april 2010 op het World Wide Web:
<http://www.youtube.com/watch?v=nOfPOiKNOCc>

Ontstaan van de theorie:

Geraadpleegd op 19 oktober 2009 op het World Wide Web:
<http://www.scholieren.com/werkstukken/129>

Geraadpleegd op 24 oktober 2009 op het World Wide Web:
<http://www.thekeyboard.org.uk/The%20Big%20Bang%20Theory.htm>

Geraadpleegd op 21 oktober 2009 op het World Wide Web:
<http://www.allaboutsience.org/dutch/oerknal-theorie.htm>

Geraadpleegd op 21 oktober 2009 op het World Wide Web:
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Oerknal>

Het verloop van de big bang:

geraadpleegd op 1 november 2009 op het World Wide Web:
<http://users.telenet.be/kosmonet/astrologie/ontstaan.html>

geraadpleegd op 1 november 2009 op het World Wide Web:
<http://www.uranian.be/sterrenkunde/kosmologie/bigbang.php#8>

geraadpleegd op 25 november 2009 op het World Wide Web:
<http://www.sterrenwacht-mercurius.nl/encyclopedie.php5?titel=Oerknal%20of%20Big%20Bang>

geraadpleegd op 25 november 2009 op het World Wide Web:
<http://www.spacepage.be/artikelen/het-heelal/70-de-oerknal-evolutie-en-einde-van-het-heelal/1635-de-big-bang-tijdlijn>

Weetjes:

NASA; geraadpleegd op 1 november 2009 op het World Wide Web:
http://liftoff.msfc.nasa.gov/academy/universe/b_bang.html

Universiteit van Berkeley; geraadpleegd op 1 november 2009 op het World Wide Web: http://cosmology.berkeley.edu/Education/IUP/Big_Bang_Primer.html

Universiteit van Michigan; geraadpleegd op 1 november 2009 op het World Wide Web: <http://www.umich.edu/~gs265/bigbang.htm>

PBS (de publieke omroep); geraadpleegd op 1 november 2009 op het World Wide Web: <http://www.pbs.org/wgbh/aso/databank/entries/dp27bi.html>

Amerikaanse Associatie ter bevordering van de Wetenschap; geraadpleegd op 1 november 2009 op het World Wide Web:
<http://www.aaas.org/spp/dser/seminar/011603cyclicuniversesummary.pdf>

10.3.2. Bronnen: Sterevolutie

geraadpleegd op 9 november 2009 op het World Wide Web

<http://mediatheek.thinkquest.nl/~lla129/zon.htm>

<http://www.uraniam.be/sterrenkunde/zonnestelsel/zon.php>

geraadpleegd op 21 mei 2010 op het World Wide Web

<http://www.ster.kuleuven.ac.be/education/courses/stellarstruc/1stelic2005.pdf>

<http://nl.wikipedia.org/wiki/>

http://www.astronomie.nl/nieuws/127/netwerk_2:_vorming_en_evolutie_van_sterren_en_planeten.html

Boek geraadpleegd op 15 mei 2010

Geo scoop, uitgever: Wolters Platyn

10.3.3. Bronnen: Oorsprong van de chemische elementen

Generatie sterren & Inleiding:

Geraadpleegd op 22 november 2009 op het World Wide Web:

<http://www.natuurinformatie.nl/nm.dossiers/natuurdatabase.nl/i002641.html>

geraadpleegd op 19 oktober 2009 op het World Wide Web:

http://www.astronomie.nl/nieuws/127/netwerk_2:_vorming_en_evolutie_van_sterren_en_planeten.html

geraadpleegd op 4 januari 2010 op het World Wide Web:

<http://nl.wikipedia.org/wiki/kosmologie>

de mens:

geraadpleegd op 17 mei 2010 op het World Wide Web:

http://www.periodictableonline.org/archi_nl.htm

10.3.4. Bronnen: Onze zon

geraadpleegd op 17 mei 2009 op het World Wide Web:

<http://mediatheek.thinkquest.nl/~lla129/zon.htm>

<http://www.ster.kuleuven.ac.be/education/courses/stellarstruc/1stelic2005.pdf>

<http://www.uraniam.be/sterrenkunde/zonnestelsel/zon.php>

geraadpleegd op 22 mei 2010 op het World Wide Web

http://translate.google.be/translate?hl=nl&langpair=en|nl&u=http://wapedia.mobi/en/La-grangian_point

10.3.5. Bronnen: Planeten - Kometen, Meteoren en Planetoïden

10.3.5.1. Internetpaginas:

Onbekende auteur, geraadpleegd op 30/01/2010:

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Komeet>

Onbekende auteur, geraadpleegd op 13/02/2010:

- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Meteoor>

- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Meteoriet>

- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Meteoro%C3%AFde>

Volkssterrenwacht Urania vzw., geraadpleegd op 13/03/2010:

<http://www.urania.be/sterrenkunde/zonnestelsel/kometen.php>

Onbekende auteur, geraadpleegd op 14/03/2010:

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Kuipergordel>

10.3.6. Boeken:

Geo scoop, uitgever: Wolters Platyn, geraadpleegd op 14/03/2010

Auteurs: Pascal Depuydt, Hilde Christiaens, Steven Decoster, Sabien Desein, Arjan Goemand, Olivia Michiels, Christ Naert, Dirk Staelens.

10.3.7. Bronnen: Banen van planeten

-Wikipedia, allen laatst geraadpleegd op 22/05/2010 op het World Wide Web :

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Baan_\(hemellichaam\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Baan_(hemellichaam))

http://nl.wikipedia.org/wiki/Siderische_maand

http://nl.wikipedia.org/wiki/Synodische_maand

http://nl.wikipedia.org/wiki/Maan#Baan_en_rotatie

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Excentriciteit_\(astronomie\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Excentriciteit_(astronomie))

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Jupiter_\(planeet\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Jupiter_(planeet))

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Aardas>

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Mars_\(planeet\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Mars_(planeet))

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Perigeum>

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Hemelmechanica>

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Inclinatie>

-Wetenschapsforum, laatst geraadpleegd op 14/04/2010 op het World Wide Web :

<http://www.wetenschapsforum.nl/index.php?showtopic=65076>

-Achter gesloten deuren, laatst geraadpleegd op 30/03/2010 op het World Wide Web:

http://achtergeslotendeuren.punt.nl/index.php?r=1&id=376496&tbl_archief=0

10.3.8. Bronnen: Eclipsen

-Wikipedia, allen laatst geraadpleegd op 13/02/2010 op het World Wide Web :

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Zonsverduistering>

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Eclips>

http://nl.wikipedia.org/wiki/Saros_cyclus

[http://en.wikipedia.org/wiki/Annulus_\(mathematics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Annulus_(mathematics))

<http://en.wikipedia.org/wiki/Inex>

http://nl.wikipedia.org/wiki/George_van_den_Bergh

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Scherptediepte>

http://en.wikipedia.org/wiki/Pinhole_camera

-Een catalogus van eclipsen, geraadpleegd op 12/11/2009 op het World Wide Web:

<http://www.phys.uu.nl/~vgent/eclipse/eclipsecycles.htm>

-Nasa eclipse site, geraadpleegd op 29/12/2009 op het World Wide Web:

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>

-Volkssterrenwacht Urania, geraadpleegd op 24/04/2010 op het World Wide Web:

<http://www.urania.be/sterrenkunde/hemelmechanica/eclipsen.php>

10.3.9. Bronnen: woordenlijst

-Wikipedia, allen laatst geraadpleegd op 23/05/2010 op het World Wide Web :

<http://nl.wikipedia.org/>

10.4. Principes van de raketbeweging

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Equivalentieprincipe>

(Geraadpleegd op: 12 oktober 2009)

<http://www.encyclo.nl/begrip/Equivalentieprincipe>

(Geraadpleegd op: 12 oktober 2009)

<http://www.wetenschapsforum.nl/index.php?showtopic=8959>

(Geraadpleegd op: 16 oktober 2009)

<http://www.scholieren.com/werkstukken/25018>

(Geraadpleegd op: 24 oktober 2009)

<http://www.scholieren.com/werkstukken/25018>

(Geraadpleegd op: 8 april 2010)

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Zwaartekracht>

(Geraadpleegd op: 8 april 2010)

<http://www.sterrenkunde.nl/index/encyclopedie/zwaartekracht.html>

(Geraadpleegd op: 12 april 2010)

<http://www.eddyechternach.nl/artikelen/zwaartekracht.html>

(Geraadpleegd op: 12 april 2010)

http://books.google.be/books?id=uHUeAAAIAAJ&pg=PA51&lpg=PA51&dq=aantrekkingswet+newton&source=bl&ots=QnouKUA-qa&sig=_ueAl8u72F2MyVtefbjALvljzVc&hl=nl&ei=kDPOsreZAdWd4QbJ3O3IAw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CAwQ6AEwAQ#v=onepage&q=aantrekkingswet%20newton&f=false

(Geraadpleegd op: 14 november 2009)

http://nl.wikipedia.org/wiki/Wetten_van_Newton

(Geraadpleegd op: 14 november 2009)

<http://mail.vssd.nl/hlf/c002contandh04.pdf>

(Geraadpleegd op: 14 november 2009)

<http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/rocket.html>

(Geraadpleegd op: 16 november 2009)

http://nl.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton

(Geraadpleegd op: 16 november 2009)

http://books.google.be/books?id=uHUeAAAIAAJ&pg=PA51&lpg=PA51&dq=aantrekkingswet+newton&source=bl&ots=QnouKUA-qa&sig=_ueAl8u72F2MyVtefbjALvljzVc&hl=nl&ei=kDPOsreZAdWd4QbJ3O3IAw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CAwQ6AEwAQ#v=onepage&q=aantrekkingswet%20newton&f=false

(Geraadpleegd op: 16 november 2009)

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Schijnkracht>

(Geraadpleegd op: 10 november 2009)

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Gravitatieconstante>

(Geraadpleegd op: 7 november 2009)

<http://www.scholieren.com/werkstukken/16895>

(Geraadpleegd op: 7 november 2009)

10.5. De eentrap- en meertrapraket

- Rocket and Spacecraft Propulsion Principles, Practice and New Developments (Third Edition)
- <http://www.hengstman.net/old/meertrapsraket.htm>
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Meertrapsraket>
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Draagraket>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Multistage_rocket
- http://www.apogeerockets.com/education/how_to_multi-stage.asp

10.6. Bewegen door de ruimte en interplanetaire banen

10.6.1. Internetpagina's

Onbekende auteur, geraadpleegd op 10 februari 2010:

<http://www.teachersparadise.com/ency/nl/media/8/8f/kegelsneden.png>

Onbekende auteur, geraadpleegd op 10 februari 2010:

http://nl.wikipedia.org/wiki/Parabool_%28wiskunde%29

Onbekende Auteur, geraadpleegd op 10 februari 2010:

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Hyperbool>

Onbekende auteur, geraadpleegd op 13/06/2010:

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Baan_\(hemellichaam\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Baan_(hemellichaam))

Onbekende auteur, geraadpleegd op 21/10/2009:

http://nl.wikipedia.org/wiki/Wetten_van_Kepler

Onbekende auteur, geraadpleegd op 21/10/2009:

http://en.wikipedia.org/wiki/Kepler_laws

Fu-Kwun Hwang, geraadpleegd op 21/10/2009:

http://virtueelpracticumlokaal.nl/Kepler_nl/Kepler_nl.html

Onbekende auteur, geraadpleegd op 21/10/2009:

http://en.wikipedia.org/wiki/Nicolaus_Copernicus

Onbekende auteur, geraadpleegd op 21/10/2009:

http://en.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe

REHON, geraadpleegd op 21/10/2009:

<http://www.rehon.nl/Rehon21.01.htm>

Ing. R.C. ott, geraadpleegd op 21/10/2009:

<http://www.dutch.nl/rcott/perkwet.pdf>

Dr. David P. Stern, geraadpleegd op 13/11/2009:

<http://www-istp.gsfc.nasa.gov/stargaze/Kep3laws.htm>

Onbekende auteur, geraadpleegd op 2/12/2009:

http://nl.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton

Onbekende auteur, geraadpleegd op 10/03/2010:

http://nl.wikipedia.org/wiki/Vergelijking_van_Kepler

Onbekende auteur, geraadpleegd op 10/03/2010:

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Iteratie>

Onbekende auteur, geraadpleegd op 16/09/2009:

<http://www.uraniam.be/sterrenkunde/hemelmechanica/planeetbanen.php>

Onbekende auteur, geraadpleegd op 26/01/2010:

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Ontsnappingsnelheid>

Onbekende auteur, geraadpleegd op 13/01/2010:

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Energie>

Onbekende auteur, geraadpleegd op 20/02/2010:

<http://home.kpn.nl/laureijs1/dutch/nlansw2.html>

Onbekende auteur, geraadpleegd op 11/04/2010:

<http://www.sterrenkunde.nl/index/encyclopedie/ontsnapp.html>

10.6.2. Documenten

GIP-verslag Frank Vanwynsberge, Leander Duyck en Stefaan Desender,
Klas 614, 1999-2000, geraadpleegd op 10 februari 2010

Beginselen van de astronautiek, onbekende schrijver
Geraadpleegd op 8 oktober 2009

Cursus: "Plaatsbepaling in de ruimte"
Geraadpleegd op 24 november 2010

10.7. Antikythera-mechanisme

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Saros-cyclus>
http://en.wikipedia.org/wiki/Callippic_cycle
http://en.wikipedia.org/wiki/Eclipse_cycle
http://nl.wikipedia.org/wiki/Cyclus_van_Meton
http://en.wikipedia.org/wiki/Metonic_cycle
http://nl.wikipedia.org/wiki/Gulden_snedes
http://nl.wikipedia.org/wiki/Gulden_getal
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Tandwiel>
http://nl.wikipedia.org/wiki/Wrak_van_Antikythera
http://nl.wikipedia.org/wiki/Mechanisme_van_Antikythera
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Maan>
http://nl.wikipedia.org/wiki/Elliptische_baan#Elliptische_banen
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Apogeum>
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Perigeum>
http://nl.wikipedia.org/wiki/Apofocus_en_perifocus
[http://nl.wikipedia.org/wiki/Hipparchus_\(astronoom\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Hipparchus_(astronoom))
http://en.wikipedia.org/wiki/True_anomaly

-Astrologie blog, laatst geraadpleegd op 06/01/2010 op het World Wide Web:

<http://astrologie.blog0.nl/2007/03/10/eclipsen-algemeen-saros-cyclus/>

-Nasa, laatst geraadpleegd op 06/01/2010 op het World Wide Web:

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEsaros/SEsaros.html>

-A Catalogue of Ecliptic Cycles, laatst geraadpleegd op 08/01/2010 op het World Wide Web:

<http://www.phys.uu.nl/~vgent/eclipse/eclipsecycles.htm>

-RadixPro, laatst geraadpleegd op 12/01/2010 op het World Wide Web:

http://www.radixpro.nl/rpnlart/art_1_1.php

-ScienceWorld, laatst geraadpleegd op 12/01/2010 op het World Wide Web:

<http://scienceworld.wolfram.com/astronomy/MetonicCycle.html>

-Eclipse Chasers, laatst geraadpleegd op 30/01/2010 op het World Wide Web:

<http://www.eclipse-chasers.com/>

-Tatjana van Vark, allen laatst geraadpleegd op 27/02/2010 op het World Wide Web:

<http://www.tatjavanvark.nl/antikythera/>

<http://www.tatjavanvark.nl/antikythera/#new>

<http://www.tatjavanvark.nl/antikythera/makingof.html>

-The Antikythera Mechanism Research Project, allen laatst geraadpleegd op 27/02/2010 op het World Wide Web:

<http://www.antikythera-mechanism.gr>

<http://www.antikythera-mechanism.gr/faq/general-questions/why-so-long>

<http://www.antikythera-mechanism.gr/faq/astronomical-questions/saros-and-exeligmos-cycles>

<http://www.antikythera-mechanism.gr/faq/general-questions/is-it-a-fake>

<http://www.antikythera-mechanism.gr/faq/astronomical-questions/heliocentric-or-geocentric-universe>

-Tweakers, laatst geraadpleegd op 15/10/2009 op het World Wide Web:

<http://tweakers.net/nieuws/45407/mechanisme-griekse-computer-ontleed.html>

-Monteressori Lyceum Amsterdam, laatst geraadpleegd op 15/10/2009 op het World Wide Web:

<http://www.rml2.nl/klassiek/2006EzineKT&KCVj04n03dec06/ezine0403dec06.htm>

-Gears from the Greeks, laatst geraadpleegd op 21/02/2010 op het World Wide Web:

http://zakuski.math.utsa.edu/~gokhman/ecz/lec_ecz.html

-Feature Columns, allen laatst geraadpleegd op 10/11/2009 op het World Wide Web:

<http://www.ams.org/samplings/feature-column/fcarc-diff4>

<http://www.ams.org/samplings/feature-column/fcarc-kyth2>

<http://www.ams.org/samplings/feature-column/fcarc-kyth1>

<http://www.ams.org/samplings/feature-column/fcarc-kyth6>

<http://www.ams.org/samplings/feature-column/fcarc-kyth3>

-University of Macedonia, laatst geraadpleegd op 29/12/2009 op het World Wide Web:

http://www.etl.uom.gr/mr/index.php?mypage=antikythera_ani

-Knowledgerush, laatst geraadpleegd op 04/01/2010 op het World Wide Web:

http://www.knowledgerush.com/kr/encyclopedia/Antikythera_mechanism/

-Gears, Galleys and Geography, laatst geraadpleegd op 04/01/2010 op het World Wide Web:

<http://ccat.sas.upenn.edu/rrice/apagadgt.html>

-Gear Template Generator, laatst geraadpleegd op 13/01/2010 op het World Wide Web:

http://woodgears.ca/gear_cutting/template.html

-Salemcompany, laatst geraadpleegd op 13/01/2010 op het World Wide Web:

<http://www.salemcompany.com/cgi-bin/Store/pdfs/InvGrsClSect5Ed2p77-80.pdf>

-The Involute Curve, Drafting a Gear in CAD and Applications, laatst geraadpleegd op 13/01/2010 op het World Wide Web:

<http://www.cartertools.com/involute.html>

-Youtube, allen laatst geraadpleegd op 16/04/2010 op het World Wide Web:

<http://www.youtube.com/watch?v=mh0TtuCGuLY>
<http://www.youtube.com/watch?v=MqhuAnySPZ0&>
<http://www.youtube.com/watch?v=PrIERqn2Qc&>
<http://www.youtube.com/watch?v=DiQSHiAYt98&>
<http://www.youtube.com/watch?v=znM0-arQvHc&>
<http://www.youtube.com/watch?v=DMITkTYiZ7k&>
<http://www.youtube.com/watch?v=qsr62p4h4Y8&>
<http://www.youtube.com/watch?v=rxNg-tXPPWc&translated=1>

-Eart/matrix, laatst geraadpleegd op 19/10/2009 op het World Wide Web:

http://www.earthmatrix.com/orbital/solar_system_maya.htm

-zwarte-maan.nl, laatst geraadpleegd op 19/10/2009 op het World Wide Web:

<http://www.zwarte-maan.nl/artikelen-30tm40/art-31-griekse-klok.htm>

-Massimo Vincentini science models, allen laatst geraadpleegd op 21/04/2010 op het World Wide Web:

<http://www.mogi-vice.com/index-english.html>

<http://www.mogi-vice.com/Pagine/Other.html>

<http://www.mogi-vice.com/Antikythera/Antikythera-en.html>

<http://www.mogi-vice.com/Antikythera/Antikythera-photo.html>

<http://www.mogi-vice.com/Pagine/Downloads.html>

-Wright, M. (2005). Understanding the Antikythera Mechanism, PDF-file. Imperial College London

-Auteur onbekend. Nature tijdschrift Volume 444 (30 november 2006) pg. 587-591

-Edmunds. M & Morgan. P (2000) A&G Vol.41 pg. 6.10-6.17

-Auteur onbekend. Nature tijdschrift-supplementary information
doi:10.1038/nature05357 pg. 1-27

-Mediterranean Archeology and Archeometry (2002). Vol 2, No.1, pg. 21-35

-Mediterranean Archeology and Archeometry (2002). Vol 2, No.2, pg. 45-58

10.8. Website

<http://www.one.com>

op 28 oktober '09

<http://www.dns.be>

op 28 oktober '09

Printscreens programma's op de computer

November-december-januari-mei

10.9. Raket

Boek: Parachute Recovery Systems Design Manual T.W Knacke

<http://www.scholieren.com/>

<http://www.screamingducks.com/KidsCorner9.html>

<http://www.readysetwrite.com/types-of-parachutes/>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Parachute>