wk

GRAVITATIE

Natuurkunde Olympiade 1993

Whee Ky Ma

NATUURKUNDE OLYMPIADE

UITWERKINGEN OPGAVEN 2 TOT EN MET 5

DERDE HERZIENE DEFINITIEVE VERSIE

De uiteindelijke presentatie geschiedt door één persoon. Onderstaande versie is in principe de definitieve. Wij hebben twee overheadprojectors nodig. Het gebruik van de sheets is in de bijlage nader uitgewerkt. In de tekst wordt de plaats waar een sheet nodig is aangegeven met een groot sterretje (*) en het nummer van de sheet. Waar iets op het bord geschreven moet worden staat een grote #. Verder bevat de tekst af en toe presentatie-aanwijzingen. We hebben voor (2) en (3) ook een grote bordpasser nodig!

INHOUDSOPGAVE

Opgaven 2

Hoofdstuk 1 - De zon 3
- 1.1 De straal van de zon 3
- 1.2 Emissie van straling en deeltjes 4
- 1.3 De evolutie van de zon 6
- 1.4 De positie in het Melkwegstelsel 7

Hoofdstuk 2 - De aarde 10
- 2.1 De baan van de aarde 10
- 2.2 Fysische eigenschappen van de aarde 11
- 2.3 De atmosfeer van de aarde 13
- 2.4 Fysisch-geografische verschijnselen 14
- 2.5 De leefbaarheid van de aarde 15

Hoofdstuk 3 - Lucht- en ruimtevaart 16
- 3.1 Fysische eigenschappen van de vlucht
- 3.2 Het verloop van de vlucht

Hoofdstuk 4 - Dagelijkse leefwereld 20
- 4.1 Fysisch-geografische verschijnselen (zie 2.4) 20
- 4.2 Menselijke aangelegenheden 22

Bijlage - Tekst en afbeeldingen op de sheets 24

nummering klopt niet precies.

In veel gevallen treedt overlapping op, met name tussen de onderdelen 2 en 3 resp. 4. De stukken tekst in kwestie heb ik dan dubbel opgenomen, aangezien de opgaven gepresenteerd moeten worden.

OPGAVEN

De opgaven 2 t/m 5 van het Natuurkunde Toernooi hebben betrekking op het hypothetische geval dat de gravitatieconstante G van 1 april 1993 tot 1 mei 1993 (30 dagen) geleidelijk met 10 % afneemt, om daarna constant te blijven.

Opdracht:

Ga na wat de effecten zijn: (i) gedurende dit tijdsinterval
(ii) tot aan 15 juni 1993
voor het universum als geheel en in het bijzonder voor:

2. de zon
3. de aarde
4. lucht- en ruimtevaart
5. belangrijke zaken die jezelf betreffen

Het blijkt dat in veel gevallen deelopdracht (ii) overbodig is.

[Te beschouwen zijn de relaties op de zon, de wisselwerkingen tussen zon en aarde en de relaties op de aarde.
Bij de berekeningen zijn de belangrijke gegevens te gebruiken uit BINAS tabel 31, 32 en 33b.
Voor de oorspronkelijke waarden van de grootheden gebruik ik de index 0; voor de waarden op tijdstip t de index t en voor de waarden aan het eind de index e.]

$G_0 = 6{,}6730 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2kg^{-2}}$
$G_e = 0{,}90 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} = 6{,}0057\ \mathrm{Nm^2kg^{-2}}$ / $m^3 kg^{-1} s^{-2}$

Hieruit is een functie op te stellen van G als functie van t, de tijd in dagen (dat is zinvoller dan in seconden):

$$G(t) = G(0) - \frac{0{,}10\ G(0)}{30}\ t = G(0)\,(1 - 3{,}33 \cdot 10^{-3}\ t)$$

exponentiëel verlaag

enorm snapshot van

Dirac.
minder gedrukt universeel
afhand van → ab/abel
somtijds sous 2 (r/t) door
andere figure.

HOOFDSTUK 1 DE ZON

1.0 Inleiding

Er wordt dus van mij verwacht dat ik een uiteenzetting ga houden over de invloed van de afname van de gravitatieconstante op de zon. Dat zal ik doen aan de hand van het volgende schema:

***1 - laten liggen**

De onderdelen van het schema lopen in elkaar over. Het is jammer dat er maar een kwartier ter beschikking staat, want het is een zeer uitgebreid en interessant onderwerp.
Formule G als functie van tijd!

(ii) overbodig

1.1 De omvang van de zon

Voor de gravitatiekracht geldt de volgende uitdrukking:

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

Het zal duidelijk zijn dat door een afname van de gravitatieconstante met 10 % ook de gravitatiekracht met 10 % afneemt.
Nu zou je kunnen denken dat daardoor de term r^2 overeenkomstig deze factor zou toenemen; deze factor zou dan $1/\sqrt{0,90} = 1,054$ worden. In deze redenering zit echter een fout.

***3 (gravitatiecontractie = gasdruk)**

In deze situatie van de uitzettende zon spelen er twee belangrijke krachten:
- De eerste is de gravitatiecontractie, dat is de samentrekking ten gevolge van de gravitatiekracht; deze kracht functioneert als binnenwaartse kracht;
- De tweede is de gasdruk, die werkt als buitenwaartse kracht.

Deze krachten werken elkaar tegen en zijn in evenwicht wanneer de zon een constant volume heeft.

Wanneer nu G afneemt, neemt de gravitatiecontractie af, zodat de gasdruk sterker is dan de gravitatiecontractie. Er treedt dan uitzetting op, het volume wordt groter, en de gasdruk neemt daardoor geleidelijk af. Het nieuwe evenwicht stelt zich in bij een lagere gravitatiekracht en lagere gasdruk. De straal neemt dus net zolang door tot dit nieuwe evenwicht is bereikt.

Maar ook de gravitatiekracht neemt af bij uitzetting; toch kan zich een evenwicht instellen:

In het oude evenwicht zijn gravitatiekracht en gasdruk gelijk; in het nieuwe evenwicht is dat ook het geval; beide moeten dus met dezelfde factor zijn afgenomen.

- De gravitatiekracht verandert met de factor

$$\frac{0,90}{f_r^2}, \qquad omdat\ F_G = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

f_r is de factor waarmee de straal toeneemt.

- De gasdruk verandert met factor $\mathbf{1/f_r^3}$, omdat de gasdruk omgekeerd evenredig is met het volume, en dat neemt toe met factor f_r^3.

Er moet gelden dat bovenstaande twee uitdrukkingen gelijk zijn, dus $\mathbf{f_r = 1/0,90 = 1,11}$.
De straal van de zon wordt nu: $696,0 \cdot 10^6 \cdot 1,11 = 773,3 \cdot 10^6$ m

De straal van de zon kan nu eveneens worden uitgedrukt als een functie van de tijd. **# (Berekening)**
Deze berekening zal ik niet iedere keer geven, maar is wel voor alle grootheden op te stellen.

De toename van de straal heeft grote gevolgen voor de stralingsemissie.

***2 - laten liggen (opbouw van de zon; tabel)**
AANWIJZEN !

1.2 Emissie van straling en deeltjes

Opbouw van de zon en gevolgen daarvan

De zon bezit een voor sterren kenmerkende schillenstructuur, die ik hier kort zal beschrijven:

Ongeveer 90% van de zon geleverde straling wordt gevormd in het centrum van de zon, dat zich uitstrekt tot op een kwart van de afstand naar het oppervlak, maar dat ongeveer 40% van de totale massa van de zon bevat bij een gemiddelde temperatuur van ongeveer 14 miljoen graden Celsius (of K). Dit gebied gedraagt zich als een ideaal gas, maar met abnormale atomen. Druk en dichtheid zijn hier gigantisch hoog (resp. ca. 300 miljard atmosfeer en 158 gram per kubieke centimeter, 12 maal de dichtheid van vast lood!), zodat hier de kernfusiereacties optreden.

Energietransport vindt plaats van het centrum naar het oppervlak, en gebeurt tot op ongeveer driekwart van de zonsstraal d.m.v. straling (in de vorm van röntgenstraling). Dit is een betrekkelijk rustige zone. Geleidelijk wordt de zeer hoogfrequente straling verschoven naar straling met een lagere golflengte, zodat uiteindelijk zichtbaar licht ontstaat

Buiten dit gebied is de temperatuur genoeg gedaald om het gas sterk ondoorzichtig te maken. Dan begint een turbulente convectie (energietransport door "stroming"), waarbij de energie helemaal tot aan het zichtbare oppervlak van de zon wordt meegenomen. Aan de rand van de zon wordt warmte-energie in de ruimte gebracht als zichtbare en infrarode straling. Het proces van energie-overdracht tussen opwekking in de kern en uitstraling kan wel miljoenen jaren duren!

Stralingsschal
verwachtbaar

Als we nu verder rekenen van de toename van de straal van de zon, kun je redeneren:

De straal van de zon neemt toe met factor 1,111 → het volume neemt toe met factor $(1,111)^3 = 1,372$ → de dichtheid neemt ook af met factor 1,372. De nieuwe druk staat in deze tabel met de oude en de nieuwe gegevens van de zon. *** 2 - tabel**

*3 - grafiek druk/temperatuur met bijschrift

Bovendien is er een effect op het opgewekte vermogen. Dat zal ik laten zien aan de hand van deze grafiek, waarin de druk en de temperatuur en de druk staan aangegevne als functie van de afstand tot de kern, uitgedrukt in de straal van de zon.

Doordat het volume toeneemt met factor 1,372 neemt de gasdruk in de zon af met dezelfde factor. Wat voor de hele zon geldt, geldt ook voor de kern alleen: de druk neemt af. Er is echter een bepaalde druk nodig om kernfusie te laten plaatsvinden; als de druk lager wordt dan die waarde kan er geen kernfusie meer gebeuren.

Als dus de druk afneemt, wordt het gebied kleiner waarin kernfusie kan plaatsvinden. Hoeveel kleiner is af te lezen uit de grafiek.

Aan de rand van de kern heerst nu een druk van $2,2 \times 10^{10}$ atmosfeer. De druk wordt overal kleiner, met factor 1,4. De huidige druk moet dus 1,4 keer de minimale druk zijn om straks de minimale druk te bereiken. Als je dat uitrekent kom je op een druk van $3,0 \times 10^{10}$ atmosfeer. Je kunt aflezen dat die druk op 0,237 zonsstraal ligt. Dit was eerst 0,25 zonsstraal.

De straal van de kern wordt dus 5 procent kleiner, een factor 0,95.

Het volume van de kern wordt dus kleiner met factor $(0,95)^3 = 0,85$. Dit is het volume waarin kernfusie kan plaatsvinden.

De temperatuur van de kern verandert niet, want de kern is op te vatten als een ideaal gas, waarvoor geldt: **pV = nRT**. V neemt af met dezelfde factor als n, omdat de kern alleen kleiner wordt. De druk in de nieuwe kern is gelijk aan die in de oude, alleen de nieuwe kern is kleiner.

De intensiteit van de kernfusie verandert dus ook met factor 0,85, dus ook de hoeveelheid opgewekte energie. Dit is bovendien de hoeveelheid uitgestraalde energie, dus die daalt ook met factor 0,85. Dat wordt dus:

#

$$P_{uitgestraald;e} = 0,852 \cdot 3,90 \cdot 10^{26} = 3,32 \cdot 10^{26}\ W$$

Het gaat overigens om alle soorten straling, dus niet alleen zichtbaar licht.

Je zou denken dat de zon dus 15 procent minder straling gaat afgeven en dat hij veel kouder wordt. Maar zoals al eerder gezegd, het proces van energietransport kan wel miljoenen jaren duren. Van de temperatuurdaling in het binnenste merken wij dus voorlopig niets, omdat de energie die wij nu ontvangen heel lang geleden is opgewekt. Toch zal ik de temperatuur van het stralend oppervlak (**AANWIJZEN** op sheet) berekenen na die miljoenen jaren.

$$T_0 = \sqrt[4]{\frac{P}{A \cdot \sigma}} = \sqrt[4]{\frac{3,90 \cdot 10^{26}}{4\pi\ (696,0 \cdot 10^6)^2 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}} = 5,80 \cdot 10^3\ K$$

$$T_\theta = \sqrt[4]{\frac{P}{A \cdot \sigma}} = \sqrt[4]{\frac{3,32 \cdot 10^{26}}{4\pi\ (773,3 \cdot 10^6)^2 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}} = 5,28 \cdot 10^3\ K$$

Deze relatie is uiteraard ook van belang voor de temperatuur op aarde. Als het eenmaal zover is, na die miljoenen jaren, zal de temperatuur daar aanzienlijk dalen.

Van de Wet van Stefan-Boltzmann mag worden uitgegaan, omdat het zonnespectrum in het zichtbare licht vrijwel overeenkomt met dat van een zwart lichaam.

De berekende temperaturen zijn overigens oppervlaktetemperaturen.

De temperatuurdaling heeft ook invloed op de uitgezonden λ_{max} van de zon; die wordt nu: $k_W : T = 2,90 \cdot 10^{-3} : 5,28 \cdot 10^3 = 549$ nm. Oorspronkelijk lag deze op 500 nm.
De daling van het uitgestraalde vermogen heeft ook invloed op de magnitude van de zon.

Magnitude

#

De magnitude is de schijnbare helderheid van sterren, dus de lichtkracht zoals wij die op aarde waarnemen. Al in de oudheid deelde men de sterren in in zes klassen, met de helderste ster als eerste klasse. Later bleek dat een ster van de eerste klasse ongeveer 100 maal zoveel licht gaf als een ster van de zesde klasse. Daarom zijn de stapjes tussen twee helderheidsklassen gedefinieerd als $\sqrt[5]{100} \approx 2,5$. De zon is van een helderheid van -26,78, dus zeer veel helderder dan een ster van magnitude 1. De volgende berekeningen zijn nu uit te voeren voor de magnitude:

$$L_x = (\sqrt[5]{100})^{1-M_x} \cdot L_1$$

L is de helderheid (de lichtkracht)(X is een bepaalde waarde)
Nu is voor het quotiënt van de oorspronkelijke en nieuwe helderheid van de zon de volgende uitdrukking op te stellen:

$$\frac{L_\theta}{L_0} = \frac{(\sqrt[5]{100})^{1-M_\theta}}{(\sqrt[5]{100})^{1-M_0}} = (\sqrt[5]{100})^{1-M_\theta-(1-M_0)} = (\sqrt[5]{100})^{M_0-M_\theta}$$

$$\frac{L_\theta}{L_0} = 0,852 \Rightarrow M_0 - M_\theta = \sqrt[5]{100} \log 0,852 = -0,174$$

Dit betekent: $\mathbf{M_\theta = 0,174 - M_0 = 0,174 - 26,78 = -26,61}$

Dat is dus de nieuwe magnitude van de zon. De afstand van de aarde naar de zon wordt ook groter, dus de magnitude is in de nieuwe situatie nog minder negatief. Dat geldt ook voor andere sterren.

Uitzending van deeltjes - zonnewind

De zon zendt voortdurend in alle richtingen een onafgebroken stroom van deeltjes uit; dit is de zonnewind. Deze bestaat hoofdzakelijk uit protonen en elektronen van waterstof en helium, dat is het zgn. zonneplasma. Gemiddeld bewegen de deeltjes zich voort met een snelheid van 500 km per seconde, maar de snelheid varieert met de plaats en de tijd.

Soms is er echter een ongewoon hevige activiteit op de zon; dit gaat gepaard met een hogere hoeveelheid zonnevlekken en zonneplasma; dan komen er grote stromen van de zon, met snelheden van wel 2000 km per seconde. Dit heeft vele gevolgen voor de aarde; omdat het een elektromagnetisch verschijnsel is, ontstaan bijvoorbeeld magnetische stormen, en poollichtverschijnselen. Ook treden er dan plotseling veel extreme weersituaties op en kan op den duur zelfs een ijstijd beginnen.

De verandering in de gravitatieconstante kan op de zonnewind van invloed zijn. Boven het oppervlak van de zon bevindt zich namelijk een laag heet gas, die wordt omgeven door een netwerk van magnetische veldlijnen. Daarin komen op bepaalde plaatsen als het ware gaten voor. Het blijkt dat de zonnewind het oppervlak van de zon via deze gaten verlaat. Doordat de straal toeneemt met factor 1,11, neemt het totale oppervlak van die gaten, en dat zijn er nogal wat, toe met het kwadraat daarvan, factor 1,235. Dit heeft ook veel gevolgen voor de aarde.

1.3 De evolutie van de zon

De levensloop van sterren en de gevolgen daarvan

De vermindering van de intensiteit van de kernfusie heeft zeker gevolgen voor de verdere loopbaan (levensloop) van de zon, of van sterren in het algemeen. De processen tijdens de evolutie verlopen globaal als volgt:

In de gas- en stofwolk die de Melkweg en de andere sterrenstelsels oorspronkelijk waren, ontwikkelden zich op bepaalde plaatsen geleidelijk opeenhopingen van materie. We volgen de ontwikkeling van de zon. Door de onderlinge aantrekkingskracht tussen de deeltjes ging de steeds aangroeiende concentratie inkrimpen. De gravitatie bracht de deeltjes dichter bij elkaar; ze werden versneld, wat een hogere temperatuur betekent. Toen de temperatuur enige miljoenen graden was begonnen de waterstof-heliumomzettingen op gang en begon de compacte gasmassa te stralen: het was een ster geworden. Na nog een geringe inkrimping ontstond een stabiele toestand, de huidige. Op den duur ontstaat een steeds groter wordende heliumkern, terwijl aan de rand hiervan de kernreacties blijven plaatsvinden. Wanneer de waterstofvoorraad in de kern uitgeput raaakt zal de kern door de zware heliumlagen in elkaar gedrukt worden. De temperatuur rondom de kern stijgt en de waterstof-heliumomzettingen zullen in steeds meer naar buiten gelegen lagen gaan plaatsvinden, waardoor meer straling wordt geproduceerd en waardoor de ster gaat uitzetten en heter worden. Deze rode-reusfase duurt be-

trekkelijk kort. De waterstof in de buitenlagen brandt op en er verzamelt zich steeds meer helium in de kern. Die krimpt dan in en de temperatuur neemt toe. Wanneer de temperatuur 100 miljoen graden wordt, kan het helium tot koolstof gaan fuseren. Op het moment dat alle helium op is zal de zon zijn buitenste lagen in explosies wegblazen en een planetaire nevel vormen. Een kleine, harde koolstofkern blijft over, met een temperatuur van zo'n 10000 K, een witte dwerg die niet groter is dan de aarde. Het sterretje zal een enorme dichtheid hebben en ongelooflijk helder zijn.

Omdat t.g.v. de veranderingen de kern kleiner wordt zal de waterstof eerder opraken en zal bovenstaande ontwikkeling waarschijnlijk sneller verlopen. De hoeveelheid helium zal dus sneller toenemen dan eerst.

*1 – Schema Melkweg (Projecteren op ruitjesbord)

1.4 De positie in het Melkwegstelsel

(Tekenen op de projectie van de overheadprojector)
- Lichtzwak achtergrondbeeld !
- Passer nodig

Dit is de Melkweg. De zon bevindt zich in het midden van het vierkant. De zon beschrijft een cirkelvormige beweging rond het middelpunt van het melkwegstelsel. (**Tekenen**) De straal van deze cirkel is 3 x 10^{20} m, 300 biljard kilometer. De zon draait langzaam rond in 245 miljoen jaar, van boven gezien met de klok mee; dat betekent een snelheid van zo'n 250 km per seconde.

De zon ondervindt de allergrootste aantrekkende kracht van de enorme hoeveelheid sterren in het centrum. Daarom mogen we aannemen dat het verminderen van die kracht een veel grotere invloed heeft op de baan van de zon dan alle andere aantrekkende krachten. Bovendien fungeert deze kracht als middelpuntzoekende kracht en daar gaat het in het volgende om.

De verandering in de baan van de zon om het centrum van de Melkweg is vergelijkbaar met de verandering in de baan van de aarde om de zon en voor de baan van de maan om de aarde. Natuurlijk geldt het volgende ook voor de andere sterren in het Melkwegstelsel en in andere sterrenstelsels. Daarom is de beschrijving van de baan van het grootste belang voor het hele heelal.

We kunnen inzicht krijgen in de te volgen baan door de toestanden van de zon te beschouwen. Er zijn twee benaderingswijzen (#):

a) Uitgaande van de wet van behoud van energie.
b) Uitgaande van de wet van behoud van impulsmoment.

Achtereenvolgens bespreek ik deze twee gevallen. De gevolgen staan recht tegenover elkaar, maar het zal blijken dat de ene methode aannemelijker is dan de andere.

A UITGAANDE VAN DE WET VAN BEHOUD VAN ENERGIE

De kracht die op de zon werkt is de gravitatiekracht, die dient als middelpuntzoekende kracht (**Tekenen**). Er geldt dus in de evenwichtssituatie dat: $\mathbf{F_G = F_{CP}}$. Dit is equivalent met:

$$G \frac{m_A m_Z}{r^2} = \frac{m_A v^2}{r} \qquad (1)$$

De zon bezit potentiële energie en kinetische energie. De potentiële energie is in dit geval geheel gelijk aan de gravitatie-energie. De kinetische energie is met behulp van de vorige vergelijking uit te drukken in G, m_A , m_Z en r. Het gaat wel alleen om de statische begin- en eindtoestand. Wat daartussen gebeurt bekijk ik later.

$$U_{pot} = - G \frac{m_A m_Z}{r}$$

$$U_{kin} = \frac{1}{2} m_A v^2 = \frac{1}{2} \frac{m_A m_Z}{r} \qquad \text{(zie (1))}$$

Nu kan er een uitdrukking voor de totale energie worden opgesteld:

$$U_{tot} = U_{pot} + U_{kin} = - G \frac{m_A m_Z}{r} + \frac{1}{2} G \frac{m_A m_Z}{r} = - \frac{1}{2} G \frac{m_A m_Z}{r}$$

We kunnen nu de wet van behoud van energie stellen voor het proces tussen de begin- en de eindtoestand. Dat is een redelijke veronderstelling, omdat het moeilijk voor te stellen is waar de energie anders vandaan komt of naartoe gaat.
Dus: $\mathbf{U_{tot}}$ **is constant.**
Als G nu afneemt tot 0,90 G neemt ook r af tot 0,9 r. Voor r geldt dus als functie van de tijd:

$$r(t) = r(0)\ (1 - 3{,}33 \cdot 10^{-3}\ t)$$

Omdat G en r met dezelfde factor afnemen, worden ook de potentiële en de kinetische energie even hoog als aan het begin. Dat betekent dat de snelheid ook niet verandert ten opzichte van de beginsituatie. Dit leidt ertoe dat de omloopstijd met 10 procent wordt verkort. Die wordt nu 2,21 x 10^8 jaar.
Dat de straal afneemt als de aantrekkende kracht minder wordt lijkt op het eerste gezicht waarschijnlijk heel vreemd. Ik zal daarom nu aangeven wat er precies gebeurt.
De zon draait met de wijzers van de klok mee door de Melkweg. De omloopstijd is, zoals in de tabel te zien is, 0,245 x 10^9 jaar. In een maand wordt dan een middelpuntshoek van maar 2,14 x 10^{-9} rad doorlopen. Dit is zo klein dat het samenvalt met de raaklijn aan de kromme op dat punt. Ik teken dus een rechte lijn, die in werkelijkheid nog altijd 6,4 x 10^{11} m is. De afstand van de zon tot het centrum van de Melkweg is 3,0 x 10^{21} m, en wordt dus 2,7 x 10^{21} m. Deze afstand is een factor 10^{10} groter dan dit lijnstukje. Deze tekening is dus helemaal niet op schaal.

In eerste instantie neemt de gravitatiekracht af en daardoor wordt de zon uit zijn baan geslingerd. Daardoor neemt de potentiële energie toe. Omdat de totale energie constant blijft, gaat dit ten koste van de kinetische energie. De snelheid van de zon neemt dus af. De middelpuntzoekende kracht (mv^2/r) wordt steeds kleiner, want de straal neemt toe, en de snelheid neemt af. Op een gegeven moment is de snelheid van de zon zo laag geworden dat de gravitatiekracht de vereiste middelpuntzoekende kracht overtreft. Dan wordt de zon dus weer naar binnen getrokken. De kinetische energie neemt weer toe doordat de potentiële energie afneemt. De snelheid wordt weer groter, totdat de nieuwe evenwichtsbaan bereikt wordt, waarin de gravitatiekracht gelijk is aan de vereiste middelpuntzoekende kracht.

Het globale verloop van de betrokken grootheden is weer te geven in een grafiek; het is echter veel moeilijker om een sluitend dynamisch model op te stellen.

B UITGAANDE VAN DE WET VAN BEHOUD VAN IMPULSMOMENT

#

De impuls bij lineaire bewegingen heeft een equivalent bij de draaiende beweging; dat is het impulsmoment. Het impulsmoment is gedefinieerd als $L = I \cdot \omega$, waarbij I het traagheidmoment is, gelijk aan $I = m\ r^2$. Het impulsmoment is dus te schrijven als $L = m\ r^2\ v/r = mvr$.
In de evenwichtsituatie geldt dat $v = \sqrt{(GM/r)}$. Er geldt dus dat **v evenredig is met $\sqrt{G/r}$.**
L is dus evenredig met $\sqrt{G/r} \times r = \sqrt{G \cdot r}$, omdat de massa's constant zijn. Volgens de bovenstaande theorie nemen zowel G als r af, dus het impulsmoment neemt af. Dat is in strijd met de wet van behoud van impulsmoment, die zegt dat de totale impuls niet verandert, tenzij een impuls van buiten wordt ontvangen.
Volgens de wet van behoud van impulsmoment neemt de straal dus toe als G afneemt, en wel met dezelfde factor.
DIT BETEKENT WEL DAT DE TOTALE ENERGIE VAN HET SYSTEEM TOENEEMT!

Deze twee wetten zijn dus in strijd met elkaar. Toch lijkt het logischer dat de zon naar buiten gaat. Bij de uitdijing van het heelal neemt ook de gravitatieconstante geleidelijk af, en ten gevolge daarvan worden de sterrenstelsels groter in omvang. Het is dus ook een ervaringsfeit dat de hemellichamen een grotere baan gaan beschrijven. Dat is op de volgende manier te verklaren: wanneer de gravitatieconstante afneemt, **moet er een kracht in het spel zijn, zoals bij de Big Bang, waardoor het heelal nu nog uitdijt.**
ER WORDT DUS VAN BUITEN ENERGIE AAN HET SYSTEEM TOEGEVOERD. Dit is in overeenstemming met het stijgen van de energie wanneer je uitgaat van de wet van behoud van impulsmoment.
Bij het universeel afnemen van de gravitatieconstante moet er sprake zijn van **een centrale kracht. IN DAT GEVAL VERANDERT HET IMPULSMOMENT NIET!!**
Het is dus logischer om uit te gaan van de wet van behoud van impulsmoment.
CONCLUSIE: DE ZON, DE ANDERE STERREN, DE PLANETEN, DE MANEN, DE STERRENSTELSELS GAAN ALLE NAAR BUITEN.

De effecten zijn volkomen tegengesteld. In het meest waarschijnlijke geval wordt de straal van de cirkel 1,11 keer zo

groot. Deze wordt 3,3 x 10^{20} m, zoals in de tabel te zien is. De snelheid verandert met factor $\sqrt{(0,90)^2} = 0,90$. Daardoor verandert de omloopstijd ($2\pi r/v$) met factor $1/(0,90)^2 = 1,235$. Die wordt dan 1,235 x 2,45 x 10^9 = 3,02 x 10^9 m. De hele Melkweg en ook andere sterrenstelsels gaan dus langzamer draaien.

HOOFDSTUK 2 DE AARDE

2.0 Inleiding - schema; zie ook par. 1.0

G als functie van t!

2.1 De baan van de aarde

De aarde beschrijft een cirkelvormige beweging rond de zon. (**Tekenen**) De straal van deze cirkel is 149,6 miljard meter.
De aarde ondervindt een aantrekkende kracht van de zon. De verandering in de baan van de aarde om de zon is vergelijkbaar met de verandering in de baan van de zon om het centrum van de Melkweg en met de baan van de maan om de aarde. Natuurlijk geldt het volgende ook voor de andere planeten in het zonnestelsel

We kunnen inzicht krijgen in de te volgen baan door de toestanden van de aarde te beschouwen. Er zijn twee benaderingswijzen (**#**):

a) Uitgaande van de wet van behoud van energie.
b) Uitgaande van de wet van behoud van impulsmoment.

Achtereenvolgens bespreek ik deze twee gevallen. De gevolgen staan recht tegenover elkaar, maar het zal blijken dat de ene methode aannemelijker is dan de andere.

A UITGAANDE VAN DE WET VAN BEHOUD VAN ENERGIE

De kracht die op de aarde werkt is de gravitatiekracht, die dient als middelpuntzoekende kracht (**Tekenen**). Er geldt dus in de evenwichtssituatie dat: $\mathbf{F_G = F_{CF}}$. Dit is equivalent met:

$$G \frac{m_A\, m_Z}{r^2} = \frac{m_A\, v^2}{r} \qquad (1)$$

De aarde bezit potentiële energie en kinetische energie. De potentiële energie is in dit geval geheel gelijk aan de gravitatie-energie. De kinetische energie is met behulp van de vorige vergelijking uit te drukken in G, m_A , m_Z en r. Het gaat wel alleen om de statische begin- en eindtoestand. Wat daartussen gebeurt bekijk ik later.

$$U_{pot} = - G \frac{m_A\, m_Z}{r}$$

$$U_{kin} = \frac{1}{2}\, m_A\, v^2 = \frac{1}{2}\, \frac{m_A\, m_Z}{r} \qquad \text{(zie (1))}$$

Nu kan er een uitdrukking voor de totale energie worden opgesteld:

$$U_{tot} = U_{pot} + U_{kin} = - G \frac{m_A m_Z}{r} + \frac{1}{2} G \frac{m_A m_Z}{r} = - \frac{1}{2} G \frac{m_A m_Z}{r}$$

We kunnen nu de wet van behoud van energie stellen voor het proces tussen de begin- en de eindtoestand. Dat is een redelijke veronderstelling, omdat het moeilijk voor te stellen is waar de energie anders vandaan komt of naartoe gaat.
Dus: $\mathbf{U_{tot}}$ **is constant.**
Als G nu afneemt tot 0,90 G neemt ook r af tot 0,9 r. Voor r geldt dus als functie van de tijd:

$$r\ (t) = r(0)\ (1 - 3{,}33 \cdot 10^{-3}\ t)$$

Omdat G en r met dezelfde factor afnemen, worden ook de potentiële en de kinetische energie even hoog als aan het begin. Dat betekent dat de snelheid ook niet verandert ten opzichte van de beginsituatie. Dit leidt ertoe dat de omloopstijd met 10 procent wordt verkort. Een jaar wordt nu dus 328,7 dagen, dat betekent 27,4 dagen per maand.
Dat de straal afneemt als de aantrekkende kracht minder wordt lijkt op het eerste gezicht waarschijnlijk heel vreemd. Ik zal daarom nu aangeven wat er precies gebeurt.
De aarde draait tegen de wijzers van de klok in door het Zonnestelsel.
In eerste instantie neemt de gravitatiekracht af en daardoor wordt de aarde uit haar baan geslingerd. Daardoor neemt de potentiële energie toe. Omdat de totale energie constant blijft, gaat dit ten koste van de kinetische energie. De snelheid van de aarde neemt dus af. De middelpuntzoekende kracht ($\mathbf{mv^2/r}$) wordt steeds kleiner, want r neemt, en de snelheid neemt af. Op een gegeven moment is de snelheid van de aarde zo laag geworden dat de gravitatiekracht de vereiste middelpuntzoekende kracht overtreft. Dan wordt de aarde dus weer naar binnen getrokken. De kinetische energie neemt weer toe doordat de potentiële energie afneemt. De snelheid wordt weer groter, totdat de nieuwe evenwichtsbaan bereikt wordt, waarin de gravitatiekracht gelijk is aan de vereiste middelpuntzoekende kracht.

Het globale verloop van de betrokken grootheden is weer te geven in een grafiek; het is echter veel moeilijker om een sluitend dynamisch model op te stellen.

B UITGAANDE VAN DE WET VAN BEHOUD VAN IMPULSMOMENT

#

De impuls bij lineaire bewegingen heeft een equivalent bij de draaiende beweging; dat is het impulsmoment. Het impulsmoment is gedefinieerd als $\mathbf{L = I \cdot \omega}$, waarbij I het traagheidmoment is, gelijk aan $\mathbf{I = m\ r^2}$. Het impulsmoment is dus te schrijven als $\mathbf{L = m\ r^2\ v/r = mvr}$.
In de evenwichtsituatie geldt dat $\mathbf{v = \sqrt{(GM/r)}}$. Er geldt dus dat **v evenredig is met** $\mathbf{\sqrt{G/r}}$.
L is dus evenredig met $\mathbf{\sqrt{G/r} \times r = \sqrt{G \cdot r}}$, omdat de massa's constant zijn. Volgens de bovenstaande theorie nemen zowel G als r af, dus het impulsmoment neemt af. Dat is in strijd met de wet

van behoud van impulsmoment, die zegt dat de totale impuls niet verandert, tenzij een impuls van buiten wordt ontvangen.
Volgens de wet van behoud van impulsmoment neemt de straal dus toe als G afneemt, en wel met dezelfde factor.
DIT BETEKENT WEL DAT DE TOTALE ENERGIE VAN HET SYSTEEM TOENEEMT!

Deze twee wetten zijn dus in strijd met elkaar. Toch lijkt het logischer dat de aarde naar buiten gaat. Bij de uitdijing van het heelal neemt ook de gravitatieconstante geleidelijk af, en ten gevolge daarvan worden de sterrenstelsels groter in omvang. Het is dus ook een ervaringsfeit dat de hemellichamen een grotere baan gaan beschrijven. Dat is op de volgende manier te verklaren: wanneer de gravitatieconstante afneemt, **moet er een kracht in het spel zijn, zoals bij de Big Bang, waardoor het heelal nu nog uitdijt.**
ER WORDT DUS VAN BUITEN ENERGIE AAN HET SYSTEEM TOEGEVOERD. Dit is in overeenstemming met het stijgen van de energie wanneer je uitgaat van de wet van behoud van impulsmoment.
Bij het universeel afnemen van de gravitatieconstante moet er sprake zijn van **een centrale kracht. IN DAT GEVAL VERANDERT HET IMPULSMOMENT NIET!!**
Het is dus logischer om uit te gaan van de wet van behoud van impulsmoment.
CONCLUSIE: DE ZON, DE ANDERE STERREN, DE PLANETEN, DE MANEN, DE STERRENSTELSELS GAAN ALLE NAAR BUITEN.

De effecten zijn volkomen tegengesteld. In het meest waarschijnlijke geval wordt de straal van de cirkel 1,11 keer zo groot. Deze wordt 166,2 x 10^9 m, zoals in de tabel te zien is. De snelheid verandert met factor $\sqrt{(0,90)^2} = 0,90$. Daardoor verandert de omloopstijd ($2\pi r/v$) met factor $1/(0,90)^2 = 1,235$. Die wordt dan 1,235 x 365,256 = 450,933 dagen. Elke maand heeft nu dus gemiddeld 37,6 dagen.

2.2 Veranderingen in fysische eigenschappen en verschijnselen

De uitzetting van het binnenste van de aarde

In de aardkorst bevinden zich de molekulen zo dicht op elkaar dat de dikte ervan in zo'n korte periode niet merkbaar zal kunnen veranderen.
De theorie van Egyed, die ooit is geopperd, veronderstelde dat de continenten uit elkaar gedreven werden doordat de aarde langzaam uitdijde. Dit zou komen doordat de gravitatieconstante geleidelijk afnam. Dit scenario is theoretisch mogelijk, maar gaat in dit geval niet op, doordat de snelheid van uitzetting zeer groot is.

De aarde is kleiner dan de zon en bestaat bovendien uit vloeibaar en vast materiaal. Er is dus geen sprake van een buitenwaarts gerichte gasdruk, echter waarschijnlijk wel van een druk op de korst van de vloeibare lagen van de mantel. Waarschijnlijk zal de volumevergroting gelijk zijn aan die van de zon, omdat er ook sprake is van een evenwicht. Er zullen scheuren ontstaan in de aardkorst en er zullen veel meer vulkanische uitbarstingen plaatsvinden. De korst, gemiddeld slechts 25 km dik, zal waarschijnlijk bezwijken onder de druk.

De afname van de valversnelling

Op het aardoppervlak:

$$g = \frac{GM_A}{r_A^2} \rightarrow g_\theta = g_0 \cdot \frac{0,90}{(1,1)^2} = 7,29\ m/s^2$$

Als functie van de hoogte boven het aardoppervlak:

$$g\ (h) = \frac{GM_A}{(r_A + h)^2} = \frac{3,988 \cdot 10^{14}}{(6,378 \cdot 10^6 + h)^2}$$

De ontsnappingssnelheid is de snelheid die een lichaam minimaal moet hebben om een planeet voorgoed te verlaten. Deze volgt uit het evenwicht tussen kinetische energie en gravitatie-energie:

$$-U_G = U_{kin}$$

$\Delta U_G + U_{kin} \approx 0$

"oneindig"

$$G\frac{M_A m}{r} = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2M_A G}{r}}$$

Dit was: **11,2 x 10^3 m/s**
Dit wordt: **10,1 x 10^3 m/s**

Thermische ontsnapping treedt op, wanneer een molekuul op de kritische hoogte een snelheid bereikt die de ontsnappingssnelheid van de planeet overtreft.

De temperatuur van de aarde

De temperatuur van de aarde zal uiteraard lager worden omdat zij verder van de zon staat. Bovendien kan de stralingsenergie van de zon veranderen Dat effect speelt echter voorlopig geen rol. * **Zon-2/3** De zon zet wel uit, waardoor het volume waarin kernfusie kan plaatsvinden kleiner wordt, zodat de hoeveelheid opgewekte energie afneemt. Maar het duurt enkele miljoenen jaren voordat de energie die opgewekt is in de kern van de zon de buitenste lagen bereikt. Daarom zijn de veranderingen pas over een hele tijd merkbaar. Kwantitatief zal ik die verandering straks nog bespreken.
De zonneconstante is de hoeveelheid stralingsenergie die een vierkante meter van het aardoppervlak bereikt. Deze hoeveelheid is oorspronkelijk 1,40 kW per m^2, en is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. Er wordt nu een kleiner deel van de stralingsbol die de zon om zich heen heeft door de aarde omvat. De factor van verandering is **$(0,90)^2$ = 0,81**. De zonneconstante wordt nu 1,13 kW/m^2. De ingestraalde hoeveelheid straling wordt ook weer uitgestraald, dus er wordt ook 0,81 keer zoveel uitgestraald. Met de wet van Stefan-Boltzmann betekent dit een temperatuurafname van **$\sqrt[4]{0,81}$ = 0,949**. De absolute temperaturen nemen met vijf procent af. De gemiddelde temperatuur op aarde was 295 K, dus 22 graden Celsius, en wordt 280 K, of 7 graden

Factor t.g.v. afstand

Celsius. Voor de verschillende luchtstreken worden de gemiddelde temperatuurgrenzen:

LUCHTSTREEK	GRENSISOTHERM OUD	GRENSISOTHERM NIEUW
Poolstreken	< 10°C warmste maand	< - 4,5°C warmste maand
Gematigde zone	10°C warmste < t < 18°C koudste maand	-4,5°C warmste <t < 3,1°C koudste mnd
Tropische zone	> 18°C koudste maand	> 3,1°C koudste maand

Bovendien spelen allerlei afkoelende verschijnselen een rol, die straks aan de orde zullen komen.
Te verwachten is dat de gemiddelde temperatuur op aarde rond de vijf graden of lager komt te liggen.

Stel dat de aarde de volgende miljoenen jaren goed doorkomt; dan wordt plotseling het effect van de afname van de stralingsenergie van de zon merkbaar. Deze afname is te berekenen, maar heeft meer met de zon dan met de aarde te maken, dus vermeld ik hier niet. Het uitgestraald vermogen zal in ieder geval afnemen, en wel met factor 0,852. Dat is tamelijk precies te berekenen. **#** De ontvangen hoeveelheid straling zal dus ook dalen met factor 0,852; het stralend oppervlak wordt **$(1/0,90)^2$** keer zo groot, dus de uiteindelijke verandering van de temperatuur gebeurt met factor **$\sqrt[4]{(0,852 \times (0,90)^2)} = 0,911$.** De temperatuur daalt dus met 9 procent. Dit veroorzaakt een verdere stimulans voor de afkoeling. Direct al wordt de uiteindelijke factor waarmee de temperatuur afneemt 0,950 x 0,911 = 0,864. Dit betekent dus een afkoeling met maar liefst 14 %, absolute temperaturen! De gemiddelde temperatuur wordt - 18 graden Celsius, en er gelden de volgende temperaturen:

Polen	< -28°C warmste maand
Gematigde zone	< -28°C warmste < t < -21,5°C koudste maand
Tropen	> -21,5°C koudste maand (max. ca. + 2°C)

2.3 De veranderingen in de atmosfeer

Deze veranderingen zijn ingrijpend; de volgende zaken veranderen:
- samenstelling/opbouw
- drukverdeling
- ontsnappingssnelheid / kritische hoogte

Achtereenvolgens ga ik deze grootheden langs:

- *Samenstelling/ temperatuuropbouw* De lagen van de atmosfeer worden 'uitgerekt' en de lagen komen verder van de aarde af te liggen. Zo kunnen molekulen, door het ijler worden van de atmosfeer, eerder de atmosfeer verlaten. Daar tegenover staat

De ozonlaag wordt ijler, omdat hij op een grotere afstand van de aarde komt te liggen en dus een grotere oppervlakte krijgt. Er blijft wel evenveel ozon, dus op elke plaats wordt de ozonlaag dunner en ijler. Bovendien stijgen de CFK's, die voornamelijk schuldig zijn aan de afbraak van de ozonlaag, gemakkelijker op, zodat de ozonlaag ook nog sneller wordt afgebroken. De ultraviolette straling kan de aarde nu wel heel goed bereiken, met catastrofale gevolgen voor alles wat leeft.
Het totale oppervlak aan water op aarde neemt af en landen die oorspronkelijk al niet genoeg water hebben zullen met ernstige droogtes te kampen krijgen.
Er zullen door het gebrek aan water en aan regen meer woestijnen ontstaan. Er treedt daarentegen geen winderosie meer op, maar de verwoestijning komt vooral door de droogte. De poolkappen zullen ~~bovendien~~ sterk uitbreiden, omdat de temperatuur op een zeer groot deel van de aarde beneden het vriespunt ligt. Het ijs weerkaatste dus nog meer zonlicht. De albedo van de aarde, dat is de weerkaatste hoeveelheid straling, wordt daardoor veel groter, zodat de temperatuur nog meer afneemt, want er wordt minder straling opgenomen.
Het water dat ligt opgeslagen in de vorm van ijs is nutteloos, behalve wanneer men het laat smelten, maar dat kost veel energie.
Door de uitzetting van de aarde zullen vulkaanuitbarstingen en aardbevingen vaker en heftiger voorkomen. De aardkorst zal splijten en barsten.
Rivieren gaan langzamer stromen, als ze al niet bevroren zijn, doordat het verval in de rivieren minder kracht uitoefent op de watermassa's.
De verzadigingsdruk van water wordt door het temperatuureffect van 2,6 kPa gemiddeld ongeveer 1 kPa; de lucht kan dus veel minder water bevatten. Er wordt dan ook veel mider verdampt. Waarschijnlijk verandert de relatieve luchtvochtigheid niet sterk. Het dauwpunt wordt wel lager, omdat er minder waterdamp in de lucht zit.
Een bijverschijnsel op aarde is dat de voortplantingssnelheid van het geluid afneemt, omdat de temperatuur lager is en de atmosfeer minder waterdamp bevat, en bovendien omdat de lucht ijler wordt. Het dopplereffect zal bijvoorbeeld versterken (**$v - v_b$ / $v - v_w$; v groter**, effect van v_b en v_w kleiner).
De energievoorziening op aarde zal ernstig in de problemen komen; hydro-elektrische centrales zullen minder rendabel zijn, omdat de rivieren langzamer of helemaal niet meer stromen. Thermische centrales worden helemaal laagrendabel, want er is veel meer energie nodig om water in stoom om te zetten, om de turbines aan te drijven.

2.5 De bewoonbaarheid van de aarde

Door bovenstaande onaangename veranderingen zal de aarde naar alle waarschijnlijkheid volstrekt onbewoonbaar worden. De mens zal zich moeten gaan wapenen tegen zeer lage temperaturen, maar op zo korte termijn is dat volkomen onmogelijk. Bovendien zullen snel alle planten en dieren die in het wild leven sterven, omdat zij niet aangepast zijn aan de nieuwe omstandigheden, die over de hele aarde ontstaan. De temperatuur in de tropen en in de woestijnen is waarschijnlijk alleen nog uit te houden. Maar dat helpt ook niet tegen de ultraviolette straling. Men zal

het effect dat de afkoeling heeft: de gemiddelde snelheid van de deeltjes zal drastisch afnemen. De ontgassing vooral voor wat betreft de lichtere deeltjes, zal sterk worden geremd. De samenstelling van de atmosfeer zal dus vrijwel ongewijzigd blijven. De meest waarschijnlijke snelheid voor atoomsoorten zal met 3 procent afnemen. De gemiddelde mineticshe enrgei zal dalen met factor 0,95, met als de temperatuur (want $U_k = 3/2\ kT$). De huidige temperatuuropbouw zal naar beneden opschuiven (alles wordt kouder), en bovendien wordt de warmte minder goed vastgehouden (door het natuurlijke broeikaseffect) omdat de atmosfeer ijler is.
Er is nog een afkoelend verschijnsel, dat gaat optreden. De vulkanische activiteit neemt toe, zodat er meer stof- en as-deeltjes en vulkanische gassen in de atmosfeer terecht komen; het gaat hier om enorme hoeveelheden. Deze stijgen, omdat ze zo licht zijn, op naar de stratosfeer en schermen daar de aarde af tegen de zonnestraling; dat opstijgen gaat bovendien gemakkelijker door de afname van de valversnelling. Ze hebben zo een sterk afkoelende werking. Dit effect mag zeker niet onderschat worden; recente onderzoekingen hebben uitgewezen dat slechts één grote vulkaanuitbarsting het weer op aarde jarenlang kan verstoren. Daar komt nog bij dat de aarde ook nog meer zonlicht weerkaatst omdat de poolkappen uitbreiden. Daar kom ik straks nog op terug.

- *Drukverdeling* Over de hele atmosfeer genomen neemt de luchtdruk af. De barometrische hoogteformules (het exponentiële verband tussen druk en hoogte in een atmosfeer, mede afhankelijk van de temperatuur en de valversnelling) zullen heel anders worden, aangezien zowel g als T aanzienlijk veranderen. Hoge- en lagedrukgebieden zullen nauwelijks meer gevormd worden, omdat de temperatuur hoger is en de molekulen heftiger bewegen. De luchtdruk wordt lager doordat de temperatuur daalt, en ook doordat de lucht ijler wordt. Er zullen nauwelijks wolken meer gevormd worden, en de lucht zal vrijwel stilstaan. Er zal dus ook geen wind meer zijn. Dit heeft uiteraard ook consequenties voor lucht- en ruimtevaart.

- *Ontsnappingssnelheid/ kritische hoogte* Thermische ontsnapping treedt op, wanneer een molekuul op de kritische hoogte een snelheid bereikt die de ontsnappingssnelheid van de planeet overtreft. Onder de kritische hoogte wordt het niveau verstaan, waarop er voor een omhoog bewegend molekuul nog maar een kans van ½ bestaat op een botsing met een ander molekuul. Door de verijling zal dit niveau lager komen te liggen; de ontsnappingssnelheid komt ook lager te liggen (minder echter aantrekking), met de gevolgen die ik al noemde. Ook neemt de temperatuur zo sterk af dat de lucht haast niet meer zal bewegen.
Deze effecten heffen elkaar op.

2.4 Fysisch-geografische verschijnselen

Er zal over de hele aarde bevriezing van water plaatsvinden. Wel komen smelt- en kookpunten lager te liggen, omdat die van de luchtdruk afhankelijk zijn. Er wordt door de lucht minder druk op het water uitgeoefend, dus de molekulen komen gemakkelijker vrij. Dit effect zal waarschijnlijk verwaarloosbaar zijn.

planten en dieren naar de woestijnen moeten halen, die daar kunnen gedijen. Wanner de hele wereldbevolking zich daar verzamelt, wat ik nog niet zo snel zie gebeuren, zal het er al gauw overbevolkt worden.
Naar Venus kan men ook niet emigreren, want het is daar nog steeds veel te heet. Bovendien heeft Venus een zeer giftige atmosfeer.
De meeste mensen op aarde zullen jammerlijk omkomen, hetzij door voedselgebrek, hetzij door watergebrek, hetzij door UV-straling, hetzij door de temperatuurdaling op zich; hierbij denk ik vooral aan de mensen in de tropen.
In deze situatie lijkt mij het op z'n zachtst gezegd hypothetisch dat de mens zich nog met intensieve lucht- of ruimtevaart kan bezighouden.
Het zal voor de aarde dus rampzalig aflopen.

HOOFDSTUK 3 LUCHT- EN RUIMTEVAART

Voor wij ons gaan bezighouden met lucht- en ruimtevaart, is het nodig eerst de veranderingen op aarde te beschrijven.
Het blijkt, als je uitgaat van de wet van behoud van impulsmoment, dat de aarde een grotere baan gaat beschrijven. Je moet daarvoor wel de wet van behoud van energie verwerpen, maar dat kan goed in dit geval. Het gevolg is vooral dat de temperatuur aanzienlijk daalt.

zou uit-leggen)

Voor de lucht- en ruimtevaart is vooral de atmosfeer van groot belang. Daarom zal ik eerst uiteenzetten wat er daar gebeurt.
De veranderingen zijn ingrijpend; de volgende zaken veranderen:
- samenstelling/opbouw
- drukverdeling
- ontsnappingssnelheid / kritische hoogte

Achtereenvolgens ga ik deze grootheden langs:

- *Samenstelling/ temperatuuropbouw* De lagen van de atmosfeer worden 'uitgerekt' en de lagen komen verder van de aarde af te liggen. Zo kunnen molekulen, door het ijler worden van de atmosfeer, eerder de atmosfeer verlaten. Daar tegenover staat het effect dat de afkoeling heeft: de gemiddelde snelheid van de deeltjes zal drastisch afnemen. De ontgassing vooral voor wat betreft de lichtere deeltjes, zal sterk worden geremd. De samenstelling van de atmosfeer zal dus vrijwel ongewijzigd blijven. De meest waarschijnlijke snelheid voor atoomsoorten zal met 3 procent afnemen. De gemiddelde mineticshe enrgei zal dalen met factor 0,95, met als de temperatuur (want $\mathbf{U_k = 3/2\ kT}$). De huidige temperatuuropbouw zal naar beneden opschuiven (alles wordt kouder), en bovendien wordt de warmte minder goed vastgehouden (door het natuurlijke broeikaseffect) omdat de atmosfeer ijler is.
Er is nog een afkoelend verschijnsel, dat gaat optreden. De vulkanische activiteit neemt toe, zodat er meer stof- en asdeeltjes en vulkanische gassen in de atmosfeer terecht komen; het gaat hier om enorme hoeveelheden. Deze stijgen, omdat ze zo licht zijn, op naar de stratosfeer en schermen daar de aarde af tegen de zonnestraling; dat opstijgen gaat bovendien ge-

makkelijker door de afname van de valversnelling. Ze hebben zo een sterk afkoelende werking. Dit effect mag zeker niet onderschat worden; recente onderzoekingen hebben uitgewezen dat slechts één grote vulkaanuitbarsting het weer op aarde jarenlang kan verstoren. Daar komt nog bij dat de aarde ook nog meer zonlicht weerkaatst omdat de poolkappen uitbreiden. Daar kom ik straks nog op terug.
De ozonlaag wordt ijler, omdat hij op een grotere afstand van de aarde komt te liggen en dus een grotere oppervlakte krijgt. Er blijft wel evenveel ozon, dus op elke plaats wordt de ozonlaag dunner en ijler. Bovendien stijgen de CFK's, die voornamelijk schuldig zijn aan de afbraak van de ozonlaag, gemakkelijker op, zodat de ozonlaag ook nog sneller wordt afgebroken. De ultraviolette straling kan de aarde nu wel heel goed bereiken, met catastrofale gevolgen voor alles wat leeft.

- *Drukverdeling* Over de hele atmosfeer genomen neemt de luchtdruk af. De barometrische hoogteformules (het exponentiële verband tussen druk en hoogte in een atmosfeer, mede afhankelijk van de temperatuur en de valversnelling) zullen heel anders worden, aangezien zowel g als T aanzienlijk veranderen. Hoge- en lagedrukgebieden zullen nauwelijks meer gevormd worden, omdat de temperatuur hoger is en de molekulen heftiger bewegen. De luchtdruk wordt lager doordat de temperatuur daalt, en ook doordat de lucht ijler wordt. Er zullen nauwelijks wolken meer gevormd worden, en de lucht zal vrijwel stilstaan. Er zal dus ook geen wind meer zijn. Dit heeft uiteraard ook consequenties voor lucht- en ruimtevaart.

- *Ontsnappingssnelheid/ kritische hoogte* Thermische ontsnapping treedt op, wanneer een molekuul op de kritische hoogte een snelheid bereikt die de ontsnappingssnelheid van de planeet overtreft. Onder de kritische hoogte wordt het niveau verstaan, waarop er voor een omhoog bewegend molekuul nog maar een kans van ½ bestaat op een botsing met een ander molekuul. Door de verijling zal dit niveau lager komen te liggen; de ontsnappingssnelheid komt ook lager te liggen (minder aantrekking), met de gevolgen die ik al noemde. Ook neemt de temperatuur zo sterk af dat de lucht haast niet meer zal bewegen.

Door deze onaangename veranderingen zal de aarde naar alle waarschijnlijkheid volstrekt onbewoonbaar worden. De mens zal zich moeten gaan wapenen tegen zeer lage temperaturen, maar op zo korte termijn is dat volkomen onmogelijk. Bovendien zullen snel alle planten en dieren die in het wild leven sterven, omdat zij niet aangepast zijn aan de nieuwe omstandigheden, die over de hele aarde ontstaan. De temperatuur in de tropen en in de woestijnen is waarschijnlijk alleen nog uit te houden. Maar dat helpt ook niet tegen de ultraviolette straling. Men zal planten en dieren naar de woestijnen moeten halen, die daar kunnen gedijen. Wanner de hele wereldbevolking zich daar verzamelt, wat ik nog niet zo snel zie gebeuren, zal het er al gauw overbevolkt worden.
Naar Venus kan men ook niet emigreren, want het is daar nog steeds veel te heet. Bovendien heeft Venus een zeer giftige atmosfeer.
De meeste mensen op aarde zullen jammerlijk omkomen, hetzij door voedselgebrek, hetzij door watergebrek, hetzij door UV-

straling, hetzij door de temperatuurdaling op zich; hierbij denk ik vooral aan de mensen in de tropen.
In deze situatie lijkt mij het op z'n zachtst gezegd hypothetisch dat de mens zich nog met intensieve lucht- of ruimtevaart kan bezighouden.
Het zal voor de aarde dus rampzalig aflopen.

Ik zal nu een paar dingen berekenen die voor de lucht- en ruimtevaart belangrijk zijn.

<u>De afname van de valversnelling</u>
Op het aardoppervlak:

$$g = \frac{GM_A}{r_A^2} \rightarrow g_e = g_0 \cdot \frac{0,90}{(1,1)^2} = 7,29\ m/s^2$$

Als functie van de hoogte boven het aardoppervlak:

$$g\ (h) = \frac{GM_A}{(r_A + h)^2} = \frac{3,988 \cdot 10^{14}}{(6,378 \cdot 10^6 + h)^2}$$

De ontsnappingssnelheid is de snelheid die een lichaam minimaal moet hebben om een planeet voorgoed te verlaten. Deze volgt uit het evenwicht tussen kinetische energie en gravitatie-energie:

$$-U_G = U_{kin}$$

$$G\frac{M_A m}{r} = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2M_A G}{r}}$$

Dit was: **11,2 x 10^3 m/s**
Dit wordt: **10,1 x 10^3 m/s**

Thermische ontsnapping treedt op, wanneer een molekuul op de kritische hoogte een snelheid bereikt die de ontsnappingssnelheid van de planeet overtreft. Onder de kritische hoogte wordt het niveau verstaan, waarop er voor een omhoog bewegend molekuul nog maar een kans van ½ bestaat op een botsing met een ander molekuul. Door de verijling zal dit niveau lager komen te liggen; de ontsnappingssnelheid komt ook lager te liggen (minder aantrekking), met de gevolgen die ik al eerder noemde.

Laten we nu uitgaan van het hypothetische geval van lucht- en ruimtevaart. Berekeningen zijn hierbij niet eenvoudig te maken. Ik zal me daarom beperken tot een opsommingen van de te verwachten veranderingen. Overigens kunnen in de presentatie grote gedeeltes uit het tweede deel over de aarde hierbij betrokken worden, mede omdat ik in dit gedeelte voortbouw op wat eerder is gezegd.
- De ontsnappingssnelheid is lager → er is voor ruimtevaartuigen minder energie nodig om los te komen van de aarde.

- De lucht is ijler → vliegtuigen ondervinden minder luchtwrijving. Daar tegenover ondervinden zij minder opwaartse kracht.
- De dichtheid van de lucht neemt af → geluid plant zich langzamer ~~sneller~~ voort → minder ~~meer~~ geluidsoverlast.
- Er zijn veel minder luchtstromingen → men hoeft daar geen rekening meer mee te houden, of ze nu in het voordeel (bv. straalstroom) of in het nadeel (bv. tegenwind bij landen) zijn voor de luchtvaart.
- Ruimtevaartuigen zullen een grotere stationaire baan om de aarde gaan beschrijven, omdat G kleiner is.
- Omdat ook de maan zich verder van de aarde verwijdert wordt de reistijd daarheen langer.
- Omdat alle afstanden in het zonnestelsel toenemen geldt een geheel nieuwe situatie.

HOOFDSTUK 4 DAGELIJKSE ZAKEN

Het blijkt, als je uitgaat van de wet van behoud van impulsmoment, dat de aarde een grotere baan gaat beschrijven. Je moet daarvoor wel de wet van behoud van energie verwerpen, maar dat kan goed in dit geval. **(KORT DEMONSTREREN)** Het gevolg is vooral dat de temperatuur aanzienlijk daalt.[1] De meeste consequenties liggen daarom op fysisch-geografisch gebied.

1) zie vorige blz. v.h. Wel erg!!

4.1 Fysisch-geografische verschijnselen

- *Samenstelling/ temperatuuropbouw* De lagen van de atmosfeer worden 'uitgerekt' en de lagen komen verder van de aarde af te liggen. Zo kunnen molekulen, door het ijler worden van de atmosfeer, eerder de atmosfeer verlaten. Daar tegenover staat het effect dat de afkoeling heeft: de gemiddelde snelheid van de deeltjes zal drastisch afnemen. De ontgassing vooral voor wat betreft de lichtere deeltjes, zal sterk worden geremd. De samenstelling van de atmosfeer zal dus vrijwel ongewijzigd blijven. De meest waarschijnlijke snelheid voor atoomsoorten zal met 3 procent afnemen. De gemiddelde mineticshe enrgei zal dalen met factor 0,95, met als de temperatuur (want $\mathbf{U_k = 3/2\ kT}$). De huidige temperatuuropbouw zal naar beneden opschuiven (alles wordt kouder), en bovendien wordt de warmte minder goed vastgehouden (door het natuurlijke broeikaseffect) omdat de atmosfeer ijler is.
Er is nog een afkoelend verschijnsel, dat gaat optreden. De vulkanische activiteit neemt toe, zodat er meer stof- en asdeeltjes en vulkanische gassen in de atmosfeer terecht komen; het gaat hier om enorme hoeveelheden. Deze stijgen, omdat ze zo licht zijn, op naar de stratosfeer en schermen daar de aarde af tegen de zonnestraling; dat opstijgen gaat bovendien gemakkelijker door de afname van de valversnelling. Ze hebben zo een sterk afkoelende werking. Dit effect mag zeker niet onderschat worden; recente onderzoekingen hebben uitgewezen dat slechts één grote vulkaanuitbarsting het weer op aarde jarenlang kan verstoren. Daar komt nog bij dat de aarde ook nog meer zonlicht weerkaatst omdat de poolkappen uitbreiden. Daar kom ik straks nog op terug.

Dit effect wordt precies opgeheven door de afname van intensiteit van UV

De ozonlaag wordt ijler, omdat hij op een grotere afstand van de aarde komt te liggen en dus een grotere oppervlakte krijgt. Er blijft wel evenveel ozon, dus op elke plaats wordt de ozonlaag dunner en ijler. Bovendien stijgen de CFK's, die voornamelijk schuldig zijn aan de afbraak van de ozonlaag, gemakkelijker op, zodat de ozonlaag ook nog sneller wordt afgebroken. De ultraviolette straling kan de aarde nu wel heel goed bereiken, met catastrofale gevolgen voor alles wat leeft.

- *Drukverdeling* Over de hele atmosfeer genomen neemt de luchtdruk af. De barometrische hoogteformules (het exponentiële verband tussen druk en hoogte in een atmosfeer, mede afhankelijk van de temperatuur en de valversnelling) zullen heel anders worden, aangezien zowel g als T aanzienlijk veranderen. Hoge- en lagedrukgebieden zullen nauwelijks meer gevormd worden, omdat de temperatuur hoger is en de molekulen heftiger bewegen. De luchtdruk wordt lager doordat de temperatuur daalt, en ook doordat de lucht ijler wordt. Er zullen nauwelijks wolken meer gevormd worden, en de lucht zal vrijwel stilstaan. Er zal dus ook geen wind meer zijn. Dit heeft uiteraard ook consequenties voor lucht- en ruimtevaart.

Er zal over de hele aarde bevriezing van water plaatsvinden. Wel komen smelt- en kookpunten lager te liggen, omdat die van de luchtdruk afhankelijk zijn. Er wordt door de lucht minder druk op het water uitgeoefend, dus de molekulen komen gemakkelijker vrij. Dit effect zal waarschijnlijk verwaarloosbaar zijn.
Het totale oppervlak aan water op aarde neemt af en landen die oorspronkelijk al niet genoeg water hebben zullen met ernstige droogtes te kampen krijgen.
Er zullen door het gebrek aan water en aan regen meer woestijnen ontstaan. Er treedt daarentegen geen winderosie meer op, maar de verwoestijning komt vooral door de droogte. De poolkappen zullen bovendien sterk uitbreiden, omdat de temperatuur op een zeer groot deel van de aarde beneden het vriespunt ligt. Het ijs weerkaatst dus nog meer zonlicht. De albedo van de aarde, dat is de weerkaatste hoeveelheid straling, wordt daardoor veel groter, zodat de temperatuur nog meer afneemt, want er wordt minder straling opgenomen.
Het water dat ligt opgeslagen in de vorm van ijs is nutteloos, behalve wanneer men het laat smelten, maar dat kost veel energie.
Door de uitzetting van de aarde zullen vulkaanuitbarstingen en aardbevingen vaker en heviger voorkomen. De aardkorst zal splijten en barsten.
Rivieren gaan langzamer stromen, als ze al niet bevroren zijn, doordat het verval in de rivieren minder kracht uitoefent op de watermassa's.
De verzadigingsdruk van water wordt door het temperatuureffect van 2,6 kPa gemiddeld ongeveer 1 kPa; de lucht kan dus veel minder water bevatten. Er wordt dan ook veel mider verdampt. Waarschijnlijk verandert de relatieve luchtvochtigheid niet sterk. Het dauwpunt wordt wel lager, omdat er minder waterdamp in de lucht zit.
Het kookpunt van stoffen wordt lager, omdat de lucht ijler is, maar toch is er meer energie nodig, omdat de omgevingstemperatuur afneemt.

Een bijverschijnsel op aarde is dat de voortplantingssnelheid van het geluid afneemt, omdat de temperatuur lager is en de atmosfeer minder waterdamp bevat, en bovendien omdat de lucht ijler wordt. Het dopplereffect zal bijvoorbeeld versterken (**$v - v_b$ / $v - v_w$; v groter**, effect van v_b en v_w kleiner).
De energievoorziening op aarde zal ernstig in de problemen komen; hydro-elektrische centrales zullen minder rendabel zijn, omdat de rivieren langzamer of helemaal niet meer stromen. Thermische centrales worden helemaal laagrendabel, want er is veel meer energie nodig om water in stoom om te zetten, om de turbines aan te drijven.

De afname van de valversnelling
Op het aardoppervlak:

$$g = \frac{GM_A}{r_A^2} \Rightarrow g_e = g_0 \cdot \frac{0,90}{(1,1)^2} = 7,29\ m/s^2$$

Als functie van de hoogte boven het aardoppervlak:

$$g\ (h) = \frac{GM_A}{(r_A + h)^2} = \frac{3,988 \cdot 10^{14}}{(6,378 \cdot 10^6 + h)^2}$$

De ontsnappingssnelheid is de snelheid die een lichaam minimaal moet hebben om een planeet voorgoed te verlaten. Deze volgt uit het evenwicht tussen kinetische energie en gravitatie-energie:

$$-U_G = U_{kin}$$

$$G\frac{M_A m}{r} = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2M_A G}{r}}$$

Dit was: **11,2 x 10^3 m/s**
Dit wordt: **10,1 x 10^3 m/s**

- Een afname van de valversnelling is natuurlijk altijd een spannende aangelegenheid. Het heeft natuurlijk overal gevolgen op: men kan met dezelfde kracht hoger/verder springen/gooien e.d.; voetbalvelden, tennisbanen enz. moeten groter worden; liften gaan gemakkelijker omhoog; ...

- Het is te berekenen dat de zon 15 procent minder straling gaat afgeven, zodat dat hij veel kouder wordt. Maar het proces van energietransport in het binnenste van de zon kan wel miljoenen jaren duren. Van de temperatuurdaling in het binnenste merken wij dus voorlopig niets, omdat de energie die wij nu ontvangen heel lang geleden is opgewekt. Toch zal ik de temperatuur van het stralend oppervlak (**AANWIJZEN** op sheet) berekenen na die miljoenen jaren.

$$T_0 = \sqrt[4]{\frac{P}{A \cdot \sigma}} = \sqrt[4]{\frac{3{,}90 \cdot 10^{26}}{4\pi\ (696{,}0 \cdot 10^6)^2 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8}}} = 5{,}80 \cdot 10^3\ K$$

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{P}{A \cdot \sigma}} = \sqrt[4]{\frac{3{,}32 \cdot 10^{26}}{4\pi\ (773{,}3 \cdot 10^6)^2 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8}}} = 5{,}28 \cdot 10^3\ K$$

Deze relatie is uiteraard ook van belang voor de temperatuur op aarde. Als het eenmaal zover is, na die miljoenen jaren, zal de temperatuur daar nog sterker dalen.

Van de Wet van Stefan-Boltzmann mag worden uitgegaan, omdat het zonnespectrum in het zichtbare licht vrijwel overeenkomt met dat van een zwart lichaam.

De berekende temperaturen zijn overigens oppervlaktetemperaturen.

De temperatuurdaling heeft ook invloed op de uitgezonden λ_{max} van de zon; die wordt nu: $\mathbf{k_w : T = 2{,}90 \cdot 10^{-3} : 5{,}28 \cdot 10^3 = 549}$ **nm.** Oorspronkelijk lag deze op 500 nm.
De staafjes en kegeltjes van het netvlies krijgen dan dus heel ander licht te verwerken, omdat λ_{max} van de zon heel anders ligt; de gevoeligheid is minder goed aangepast; dit heeft vooral gevolgen voor de staafjes.

- Slingertijden nemen af t.g.v. de kleinere g → slingerklokken gaan ver vóór lopen.
- ~~Het dopplereffect treedt versterkt op~~ [illegible].
- Vloeistofdruk neemt af.
- Zoals ik al eerder zei, zal de aardkorst scheuren en er zullen veel meer vulkaanuitbarstingen en aardbevingen plaatsvinden.

4.2 De bewoonbaarheid van de aarde

Door alle genoemde onaangename veranderingen zal de aarde naar alle waarschijnlijkheid volstrekt onbewoonbaar worden. De mens zal zich moeten gaan wapenen tegen zeer lage temperaturen, maar op zo korte termijn is dat volkomen onmogelijk. Bovendien zullen snel alle planten en dieren die in het wild leven sterven, omdat zij niet aangepast zijn aan de nieuwe omstandigheden, die over de hele aarde ontstaan. De temperatuur in de tropen en in de woestijnen is waarschijnlijk alleen nog uit te houden. Maar dat helpt ook niet tegen de ultraviolette straling. Men zal planten en dieren naar de woestijnen moeten halen, die daar kunnen gedijen. Wanner de hele wereldbevolking zich daar verzamelt, wat ik nog niet zo snel zie gebeuren, zal het er al gauw overbevolkt worden.
Naar Venus kan men ook niet emigreren, want het is daar nog steeds veel te heet. Bovendien heeft Venus een zeer giftige atmosfeer.
De meeste mensen op aarde zullen jammerlijk omkomen, hetzij door voedselgebrek, hetzij door watergebrek, hetzij door UV-straling, hetzij door de temperatuurdaling op zich; hierbij denk ik vooral aan de mensen in de tropen.

In deze situatie lijkt mij het op z'n zachtst gezegd hypothetisch dat de mens zich nog met intensieve lucht- of ruimtevaart kan bezighouden, wat bij opgave 4 werd gevraagd.
Het zal voor de aarde dus rampzalig aflopen.

Whee Ky Ma, 10 juni 1993
i.s.m. Chris Bakker

Literatuur:
- Spectrum Wereldatlas, Het Spectrum, 1973
- Zon en aarde, Herbert Friedman, Natuur & Techniek, 1989
- De atmosfeer in beweging, Whee Ky Ma, ak.werkstuk, 1992
- Verscheidene nummers van Natuur & Techniek, (vooral) 1992