

## Het ontstaan van de ijstijden

Harry Huisman

Sinds het eind van de negentiende eeuw wordt algemeen aangenomen dat in het verleden sprake is geweest van ijstijden met grootschalige landijsbedekkingen tot gevolg. Ook Noordwest-Europa kreeg ermee te maken. Met zekerheid zijn voor ons land twee glaciaties met bijbehorende landskappen aangetoond. Voor die tijd dacht men dat zwerfkeien en bodemlagen waar deze in voorkomen door smeltende ijsbergen waren afgezet.

Tijdens een congres met geologen in Berlijn in 1875 veroorzaakte de Zweedse geoloog Otto Torell grote opschudding onder de deelnemers. Tijdens een voordracht vertelde hij zijn gehoor dat Noord-Duitsland ooit bedekt moet zijn geweest door gletsjerijs. Hij ontdekte tijdens een excursie in een kalksteengroeve vlak ten zuiden van Berlijn gletsjerklassen. Gletsjerklassen duiden op de aanwezigheid ooit van gletsjers of van landijs. Dit veroorzaakte een revolutie in de ijstijdgeologie. Veel geologen hebben zich sindsdien beziggehouden met onderzoek aan ijstijdfazettingen en zwerfstenen, alsmede met de vraag hoeveel ijstijden er zijn geweest en..... naar de oorzaken ervan.



**De Zweedse geoloog Otto Torell (1828-1900) ontdekte in 1875, tijdens een geologisch congres in Berlijn, gletsjerklassen op blootgelegde Muschelkalkafzettingen bij Rüdersdorf, in de buurt van Berlijn. Deze**



**Door landijs gladgeslepen en bekraste Muschelkalk in een kalksteengroeve bij Rüdersdorf, zuidoostelijk van Berlijn.**

**ontdekking zorgde voor een revolutie in de ijstijdgeologie.**

Het kenmerk van ijstijden (glacialen) is dat er op de geografische polen en op hooggebergten over de hele wereld ijskappen ontstaan, die zich vervolgens uitbreiden over grote delen van continenten. De ijsmassa's smelten voor een deel weer weg na het begin van een zgn. interglaciaal. Dit is een warmere tijd tussen twee glacialen in. Gedurende het Kwartair, de laatste 2,58 miljoen jaar, hebben zich vooral in Noord-Amerika en Noord-Europa telkenmale grote landskappen gevormd, die tienduizenden jaren later weer wegsmolten. Merkwaardig is dat glacialen en interglacialen elkaar afwisselen, en dat tijdens de relatief warme interglacialen Noord- en Zuidpool met ijs bedekt bleven. Dat is ook nu het geval.



**Dit kan de aanblik zijn geweest van de landschap zoals die in de voorlaatste ijstijd (Saalien), zo'n 150.000 jaar geleden, een tijdlang de noordelijke helft van ons land bedekte.**

Groenland en Antarctica zijn nog steeds voor het grootste deel bedekt door ijskappen. Die op Groenland is meer dan 2,5 kilometer dik, de ijskap op Antarctica zelfs bijna 4 kilometer. In deze gebieden is het dus nog steeds ijstijd. Het ijsvolume op deze plaatsen op aarde is feitelijk te groot om in een interglaciaal helemaal te laten verdwijnen. Of de temperatuurstijging door het veronderstelde broeikaseffect wel bij machte is al het ijs op de polen te laten smelten is nog maar zeer de vraag.



**Ook Nederlands eerste geoloog W.C.H.Staringh was een aanhanger van de drifttheorie. Onzwerfstenen en bijbehorende aardlagen zouden hier gebracht zijn door smeltende ijsbergen.**

In de ontwikkelingsgeschiedenis van de aarde zijn er meer langdurige episoden met ijstijden geweest. Ook is bekend dat er miljoenen jaren achtereen op Noord- en Zuidpool helemaal geen ijs lag. Zo was in de Krijt-periode de gemiddelde temperatuur tot op hoge breedte (Alaska, Spitsbergen) hoog te noemen. In Alaska groeiden destijds zelfs palmbomen en in Siberië leefden krokodillen.

In de laatste miljard jaar is het enkele malen voorgekomen dat grote delen van het aardoppervlak door ijskappen bedekt waren. De grootste, wellicht wereldomvattende ijstijd trad op in het Laat-Precambrium, zo'n 700 miljoen jaren geleden. De ijsuitbreiding tijdens het glaciaal dat bekend staat als de Varanger-ijstijd moet van een omvang zijn geweest die daarna nooit meer is bereikt. Vrijwel de gehele aarde moet in het Laat-Precambrium een of meer keren achtereen met ijs en sneeuw bedekt zijn geweest, met tot op de evenaar ijsbergen. De periode met deze wellicht wereldomspannende ijsbedekkingen noemt men het Cryogenium. De populaire uitdrukking hiervoor is 'snowball earth'.

### **Verdieping**

*De Varanger-ijstijd wordt in publicaties gepresenteerd als synoniem voor het Cryogenium.*

Daarbinnen onderscheidt men drie koude tijden of cycli: de Kaigas-glaciatie (ca. 750 Ma), de langdurige Sturtische ijstijd (720-660 Ma) en de kortere Marinoische ijstijd (650-635 Ma). Omdat het begrip ijstijd betrekking heeft op een koude tijd tussen twee interglacialen, is de aanduiding Varanger-ijstijd niet juist. Er is immers sprake van drie koudeperiodes. Gezien de lange duur van de Kaigas, Sturtische en Marinoische glaciaties is de vraag of ze elk een ijstijd vertegenwoordigen of dat er sprake is van een drietal cycli met afwisselend koude en warme episoden. Vermoedelijk is dit laatste het geval. Het Cryogenium zou daarom voorlopig beter aangeduid kunnen worden als een ijs-era, die uit een cyclus van drie afzonderlijke ijstijdvakken van enkele miljoenen jaren bestaat en langdurige warmere episoden daartussen. De uitdrukking 'Snowball Earth' heeft binnen het Cryogenium alleen betrekking op de Sturtische ijstijd.

Na het Cryogenium werd het klimaat snel warmer, waarbij er in de zeeën sprake was van een explosie van meercellige dieren. Deze fauna bestond voornamelijk uit diersoorten die nog grotendeels onbegrepen zijn. Ze bezaten geen harde skeletdelen, waardoor ze alleen in uitzonderlijke gevallen als afdruk bewaard zijn gebleven. Deze bijzondere fauna uit het Laat-Precambrium staat bekend als de Ediacara-fauna, genoemd naar de Ediacara Mountains in Zuid-Australië. De periode waarin deze bijzondere meercellige dieren leefden noemt men het Ediacarium. Vergelijkbare fossiele afdrukken als van Ediacara heeft men de laatste jaren op steeds meer plaatsen op aarde ontdekt.



**Reconstructie van het zeeleven tijdens het Ediacarium. Sommige dieren leken op primitieve zeeveren**



**Deze oudst bekende fossielen werden voor het eerst gevonden in de Ediacara bergen in Zuid-Australië.**



**Mawsonites, afdruk van een kwal-achtig organisme. De Ediacara-fauna bestaat in zijn geheel uit vage afdrukken in zandsteen.**

Ook na het Precambrium is er sprake geweest van ijstijdperioden. Bekend zijn de fossiele keilemen en bekraste rotsbodems in de Sahara. Over een afstand van meer dan 5000 km van Algerije tot ver in de Soedan zijn deze ijstijdfazettingen en oude rotsoppervlakken met gletsjerklassen te vervolgen. Ze dateren uit het Ordovicium.

Ook in de Perm-periode zijn bewijzen gevonden van een uitgebreide vergletsjering. Op alle zuidelijke continenten zijn fossiele afzettingen gevonden die op een langdurige ijsbedekking wijzen. Als we rekening houden met de beweging van de continenten sinds het Perm en we extrapoleren deze terug in de tijd, dan komen India, Zuid-Afrika, Antarctica, Australië en Zuid-Amerika bij elkaar te liggen. Ze vormen dan één grote landmassa, die zich destijds over de Zuidpool uitstrekte.

De situatie lijkt daarmee vergelijkbaar met de huidige toestand, waarbij het grote continent Antarctica ook al miljoenen jaren op de Zuidpool ligt en bedekt is met een immense, bijna vier kilometer dikke landijskap.

Episoden waarin delen van continenten en gebergten onder grote landijskappen en gletsjers bedolven zijn, noemt men ijstijdvakken. Het laatste ijstijdvak, die van het pleistoceen dus, begon zo'n 2,58 miljoen jaar geleden en is nog niet ten einde. Sterker nog, er zijn sterke aanwijzingen dat zich over enkele tientallen eeuwen, maar niemand weet precies wanneer, een nieuwe ijstijd aan zal dienen.



Grijze zandsteen met gletsjerklassen - Zwerfsteen van Winschoten (Gr.).

### **De verdeling van land en zee**

Continenten, zeeën en oceanen zijn niet gelijkmatig over het aardoppervlak verdeeld. De verdeling van land en zee en de aanwezigheid van hoge gebergtegordels zijn bepalende factoren

voor de klimaatverdeling op aarde. De verdeling heeft namelijk een grote invloed op de watercirculatie in de oceanen en de beweging van de luchtmassa's daarboven. Het oceaanwater werkt door zijn enorme massa als warmteregelaar voor de aarde. Water heeft een bijzonder grote warmtecapaciteit. Dit houdt in dat er veel energie nodig is om zeewater te verwarmen, maar ook dat het lang duurt voordat het is afgekoeld.

Noordwest-Europa profiteert van een dergelijke situatie. Zeewater dat in de tropische Atlantische Oceaan en in de Caraïbische Zee wordt opgewarmd, stroomt langs de oostkust van Noord-Amerika richting West-Europa. Op het grensvlak met het koudere oceaanwater ontstaan tal van depressies. Zij veroorzaken het koele vochtige zeeklimaat in onze streken.

De invloed van de Golfstroom – want daar hebben we het over - strekt zich helemaal uit tot aan Spitsbergen. Zonder de Golfstroom zouden wij een continentaal klimaat hebben met hete zomers en steenkoude winters, vergelijkbaar met die in Rusland.

Omgekeerd heeft zeewater dat van de polen afkomstig is, in de tropen en de subtropen een verkoelende werking. Het koudere water verdampt weinig waardoor er vrijwel geen wolkenvorming plaats vindt. Regenval blijft daardoor uit. Het gevolg is dat in zuidelijk Afrika aan de Namibische kust een woestijn aanwezig is. Een vergelijkbare situatie vinden we in Zuid-Amerika, in het noorden van Chili (Atacama woestijn).



**De Atacamawoestijn in Noord-Chili. Het koude zeewater verhindert wolkenvorming waardoor regen uit blijft.**

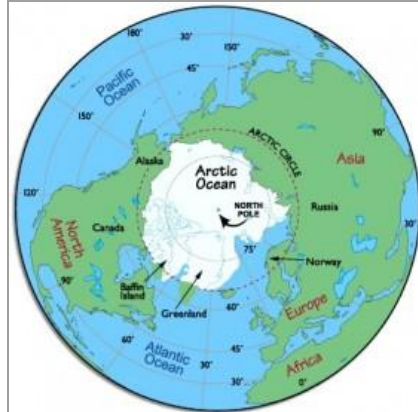
Zolang er tussen de tropen en de polen voldoende wateruitwisseling bestaat, kunnen er geen ijstijden ontstaan. De langzame verplaatsing van continentale landmassa's als gevolg van de platen tektoniek is de oorzaak van de huidige ongelukkige verdeling van land en zee op de Noord- en Zuidpool. Hierdoor verscherpen de klimaatzones zich.

Momenteel is in beide poolgebieden sprake van thermische isolatie. De grote noordelijke Arctische Oceaan wordt omringd door de landmassa's van Siberië en Canada. Via de smalle Beringstraat en de doorgangen tussen Groenland, IJsland en Noorwegen vindt er weinig uitwisseling plaats van zeewater. Hierdoor blijft een enorme bak met steenkoud water als het ware opgesloten in de Arctische Oceaan.

Op de Zuidpool is de situatie weliswaar anders, maar is het effect hetzelfde. Ook daar is sprake van thermische isolatie. Antarctica is een groot continent dat bedekt is met een enorm dik pakket landijs. Circumpolaire zeestromingen en winden rondom Antarctica zorgen ervoor dat er geen uitwisseling plaatsvindt met warmer water van lagere breedten. De immense ijskap op Antarctica, de massa koud water eromheen en de steenkoude laag lucht erboven vormen samen de motor van het huidige klimaat op aarde. Hoewel de verdeling van land en zee een belangrijke factor is in de sturing van het klimaat op aarde, is deze factor niet de directe oorzaak van het optreden van ijstijden. De echte oorzaken van klimaat-variaties moeten we buiten de aarde zoeken, met andere woorden: het verschijnsel ijstijden heeft voor een belangrijk deel een astronomische oorzaak.



**In het Zuidpoolgebied is sprake van thermische isolatie. De kou op het grote door landijs bedekte continent blijft door circumpolaire zeestromingen gevangen. Uitwisseling met warmer water van lagere breedten vindt nagenoeg niet plaats.**



**Ook in het Noordpoolgebied is sprake van thermische isolatie. Uitwisseling van koud water kan alleen via de nauwe Beringstraat en de doorgangen tussen Groenland, IJsland en Noorwegen.**

## Milankovitch

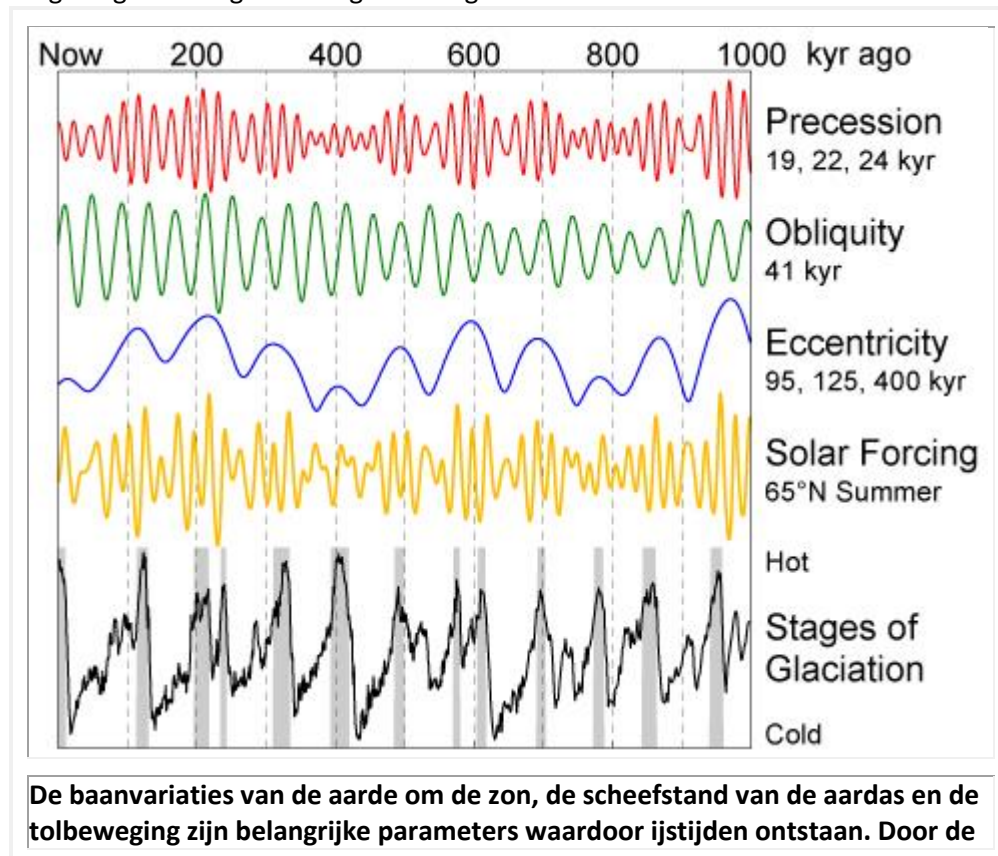
In het Pleistoceen ontwikkelden zich zowel in Noord-Amerika als in Noord-Europa verschillende malen grote landijskappen. Als landijskappen ontstaan zijn, worden ze gevoelig voor kleine variaties in de hoeveelheid zonnestraling. Volgens de theorie van de Joegoslavische ingenieur en geofysicus Milutin Milankovitch (1879-1958) zorgen deze variaties ervoor dat de ijskappen op de polen zich tijdens een glaciaal (een ijstijd) uitbreiden om in het daarop volgende interglaciaal (een relatief warme tussenperiode) weer voor een groot deel weg te smelten. De wisselende intensiteit waarmee zonnestraling plaatsen op aarde bereikt, wordt door drie factoren beïnvloed:

**1) de afstand van de aarde tot de zon (*excentriciteit*)**

**2) de tolbeweging van de aarde (*precessie*)**

**3) de stand van de aardas ten opzichte van het vlak van de aardbaan (*obliquiteit*).**

De variaties van de aardbaan, de tolbeweging en de scheve stand van de aardas zijn cyclisch, m.a.w. ze komen periodiek terug. Voor zover bekend zijn deze variaties niet van invloed op de jaarlijkse hoeveelheid straling die de aarde als geheel ontvangt. Wel fluctueert de hoeveelheid straling in bepaalde gebieden, waarbij met name op het noordelijk en zuidelijk halfrond een cyclische versterking of verzwakking van het winter-zomercontrast optreedt. De jaarlijkse seizoenen vertonen als gevolg hiervan grotere tegenstellingen.





**huidige verdeling van land en zee is op de Noord- als op de Zuidpool sprake van thermische isolatie. In combinatie met de astronomische baanvariatiën van de aarde zou dit de reden kunnen zijn waarom de klimaatzones zich sinds het Tertiair periodiek verscherpen waardoor ijstijden optreden.**

### **Hoe werken de periodieke variaties in de beweging van de aarde?**

1) De baan waarin de aarde rond de zon beweegt verandert in de loop van ongeveer 100.000 jaar van bijna cirkelvormig tot meer elliptisch en weer terug. Hierdoor is de afstand van de aarde tot de zon niet constant. In het ene geval bevindt de aarde zich in de zomer verder van de zon af dan in de winter en in het andere is dit omgekeerd. Als de aarde in de zomer op het noordelijk halfrond minder zonlicht ontvangt, zal er minder van het in de winter gevormde ijs wegsmelten. Dit kan een uitbreiding van de hoeveelheid ijs op de Noordpool veroorzaken.

2) De helling van de aardas ten opzichte van het vlak van de aardbaan is evenmin constant. De hoek van de aardas schommelt in ongeveer 41.000 jaar tussen de 21,5 en 24,5 graden. Momenteel bedraagt hij 23,5 graad. Bij een schuinere stand van de aardas t.o.v. de aardbaan wordt een kleiner deel van het noordelijk halfrond in de zomer door de zon beschenen. Doordat dit deel van de aarde in de zomer minder zonlicht ontvangt, zal er minder van het in de winter gevormde ijs wegsmelten. Dit leidt tot uitbreiding van het zee-ijs in die gebieden.

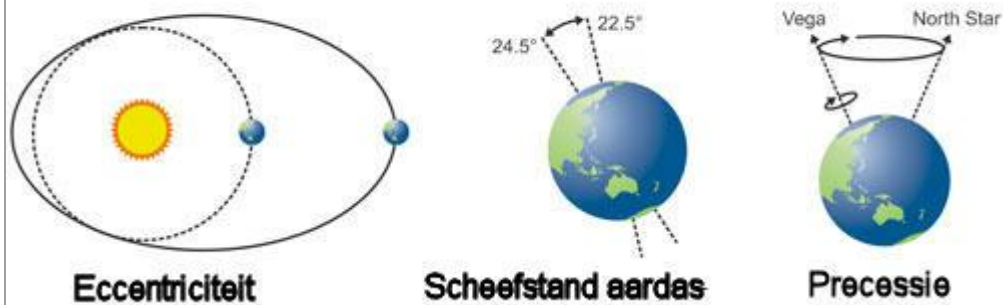
3) De draaiingsas van de aarde gaat door het middelpunt van de aarde. De baan die de aardas in een tijdsbestek van ongeveer 19.000-23.000 jaar beschrijft, heeft de vorm van een kegel. Deze beweging is goed te vergelijken met de laatste fase van het draaien van een tol. Als de snelheid van de tol vermindert, gaat zijn verticale as een steeds sterker uitslaande beweging maken, waardoor zijn draaiende voetpunt steeds ruimere cirkels beschrijft. De aarde maakt een vergelijkbare beweging. Als gevolg hiervan verschuiven ook de punten op de aardbaan waar de lengte van dag en nacht aan elkaar gelijk zijn. Het is even nadenken, maar het klopt.

Bovengenoemde baanvariatiën van de aarde en de stand van de aardas lijken op het eerste gezicht gering. Maar hoe klein ze ook mogen lijken, de hoeveelheid zonnewarmte die het noordelijk halfrond tijdens het minimum van de zonneinstraling bereikt, leidt tot ingrijpende veranderingen. Door een daling van de zomertemperatuur in gebieden rond de polen smelt de wintersneeuw 's zomers niet meer volledig weg. Als deze trend zich voortzet, dan vindt er een opstapeling plaats van neerslag in de vorm van sneeuw. Hoger gelegen gebieden in Canada en Scandinavië verdwijnen geleidelijk onder eeuwige sneeuw, waardoor ijskappen ontstaan. Deze hebben de neiging om zich steeds verder over het landschap uit te breiden.

Als een landschap in grootte toeneemt, ontstaat een zelfversterkend effect. De witte kleur van het ijs kaatst een groot deel van het invallende zonlicht terug het heelal in. In reactie hierop neemt het aardoppervlak minder warmte op, met afkoeling als gevolg. Als de drempel voor het begin van een ijstijd eenmaal is overschreden, dan heeft dit zgn. albedo-effect tot gevolg dat de landijsmassa

verder in omvang en dikte toeneemt.

### De cycli van Milankovitch



#### De atmosfeer

Veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer kunnen de hoeveelheid straling die de aarde verwarmt ook beïnvloeden. Met name gassen als  $H_2O$  en  $CO_2$  in de atmosfeer absorberen een deel van de warmte-uitstraling van het aardoppervlak. Dit heet het broeikas effect. Hoewel  $CO_2$  als hét broeikasgas wordt aangemerkt, is dit niet juist. Het is vooral de waterdamp in de atmosfeer die er voor zorgt dat er op aarde een klimaat heerst dat leven zoals we dat kennen mogelijk maakt. Zonder het broeikas effect van waterdamp zou de gemiddelde temperatuur vele graden onder nul liggen. Een beetje meer of minder  $CO_2$  doet er niet zoveel toe.

De lucht boven grote landijskappen bevat weinig waterdamp door de lage temperatuur die er heerst. Ook hierdoor wordt de warmtestraling van de aarde slecht vastgehouden. Het albedo-effect en de enorme hoeveelheid koude lucht maken het mede mogelijk dat de landijskap zichzelf lange tijd in stand houdt.

Zwevend stof in de atmosfeer kan de hoeveelheid zonne-instraling ook verkleinen. Stof hoog in de atmosfeer wordt vooral veroorzaakt door vulkaanuitbarstingen. De stofdeeltjes houden een klein deel van het zonlicht tegen. Bij hevige vulkaanuitbarstingen vormt zich een aspluim van vele tientallen kilometers hoog. Hierbij overschrijdt het vulkaanstof de grens tussen troposfeer en stratosfeer. In de ijle stratosfeer blijft het vulkaanstof veel langer hangen.

Een complicerende factor bij een vulkaanuitbarsting is de hoeveelheid uitgestoten zwavel. Hoog in de atmosfeer vinden allerlei chemische processen plaats, waarbij zwavel wordt omgezet in zwavelzuur. De uiterst kleine druppeltjes zwavelzuur onderscheppen het zonlicht op een effectieve manier, met als gevolg een vermindering van de hoeveelheid zonnearmte die het aardoppervlak bereikt.

Dit laatste is vooral te merken geweest bij de enorme uitbarsting van de Tambora-vulkaan op het eiland Soembawa in Indonesië in 1815. Door het vele vulkaanstof koelde de atmosfeer in de jaren daarna zo ver af dat er op het noordelijk halfrond sprake was van misoogsten op grote schaal. Het verhaal wil dat er zelfs in juni in New York nog sneeuw viel...



**Uitbarsting van de vulkaan Pinatubo op de Filippijnen.**

### **Conclusie**

Door onderzoekers in verschillende disciplines is veel bedacht om het fenomeen ijstijd te verklaren. Inslagen van asteroïden, langdurige en hevige vulkaanuitbarstingen, ontploffende sterren (supernova's), maar ook het passeren van grote gas- en stofwolken in het melkwegstelsel zijn genoemd. Tegenwoordig is men er van overtuigd dat vooral de huidige verdeling van continenten en oceanen over het aardoppervlak gunstig is voor het ontstaan van ijstijden. Samen met de baanvariëaties van de aarde lijkt deze verantwoordelijk te zijn voor een periodieke afkoeling van de aarde. Het lijkt erop dat vooral een bepaalde combinatie van astronomische effecten als trekker van een revolver fungeert, die er voor zorgt dat het schot afgaat. Volgens deze 'dienstregeling' komt er een nieuwe ijstijd aan. Tijd dus voor een ruime voorraad lange onderbroeken, borstrokken en warme truien. Niet voor ons zelf, maar ons nageslacht zou ze nodig kunnen hebben.



**De inslag van een grote meteoriet zoals die op Yucatan in Mexico leidde tot het uitsterven van talloze dieren en plantensoorten.**