

### Hemel half zo heet als hel

Als je het oude en nieuwe testament letterlijk neemt, kun je van de temperatuur van de hemel en de hel een aardige schatting maken.

#### De hemel

Volgens Jesaja 30:26 zal op het einde der dagen de maan schijnen als de zon en de zon als zeven zonnen als het licht van zeven dagen. Volgens de wet van Stefan-Boltzmann zal dan een nieuw evenwicht intreden met  $P$  (en dus ook  $T^4$ )

7+1 keer zo groot.

Daaruit volgt:  $T^4 = (7 + 1) \cdot 288^4$  dus

$T = 484 \text{ K} = 211 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Hopelijk is de poortwachter op een laptop overgestapt want het grote boek is dan aan het smeulen.

#### De hel

In het boek Openbaring 21:8 staat een aanwijzing voor de temperatuur van de onderwereld.



‘Maar voor hen die laf en trouweloos zijn geweest, die zich hebben ingelaten met gruwelijke dingen, met moord, ontucht, toverij of afgodendienst, voor allen die de leugen hebben gediend: hun deel is de poel met brandende zwavel, dat is de tweede dood.’

De temperatuur van de hel moet daarom onder het kookpunt van zwavel liggen:  $445 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### De uitdijning van de hel

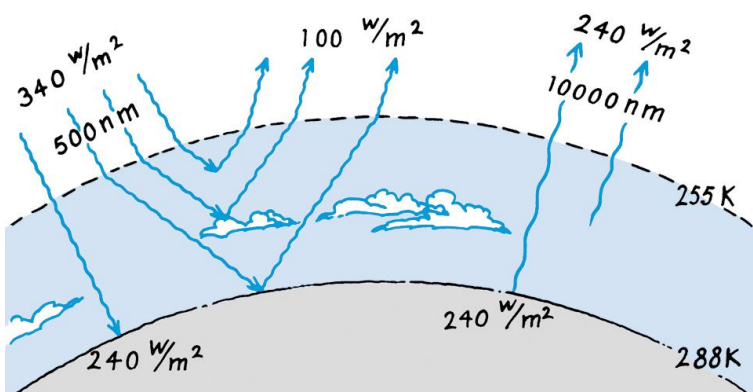
Er komen steeds méér zielen in de hel terecht en er gaat niemand uit, je zit daar voor eeuwig. Het wordt er dus steeds voller en steeds heter, want die zielen blijven warmte uitstralen.

Als de temperatuur in de hel constant moet blijven – en daar is wat voor te zeggen, dat is wel zo eerlijk – dan zal de hel volgens de wet van Boyle/Gay-Lussac moeten uitzetten. Maar stel nu dat die uitdijning te langzaam gaat, dan stijgt de temperatuur alsnog en *breekt de hel los*. En als die uitdijning te snel gaat? *Dan vriest de hel dicht*. Denk maar aan een spuitbus die je heel snel leeg laat lopen.

#### Het broeikaseffect

Gasmoleculen met een dipoolmoment zoals  $\text{H}_2\text{O}$ , waterdamp dus, kunnen op diverse manieren trillen en draaien. Ze laten kortgolvlige straling van de zon (vooral 500 nm) door en absorberen langgolvlige straling als IR. Zie *Binas* tabel 30E. IR wordt zowel door de zon als de aarde uitgezonden. De water-moleculen zenden de IR-straling even later weer uit en zorgen zo voor een deken om de aarde. Die deken vormt een natuurlijke bescherming van de aarde tegen afkoeling. Ook verdamping en stroming spelen een rol bij het min of meer constant houden van de temperatuur van het aardoppervlak.  $\text{CO}_2$  is nog zo'n zo'n gas dat IR tijdelijk vasthoudt. De hoeveelheid  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer is sterk toegenomen. Per jaar wordt 25 miljard ton  $\text{CO}_2$  de dampkring in gestoten, vooral door toedoen van de mens (en dan voornamelijk door industrie en verkeer). De mogelijke temperatuurstijging in deze eeuw wordt geschat op ongeveer  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Methaan ( $\text{CH}_4$ ) is een nog sterker broeikasgas. Het komt vooral vrij bij voedselproductie en veeteelt. Gelukkig leeft methaan niet lang. En dan zijn er nog de CFK's (gebruikt als drijfgassen) die niet alleen het broeikaseffect versterken maar ook de ozonlaag afbreken. Gelukkig zijn CFK's tegenwoordig verboden.

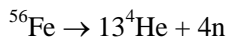


### Gemaakt van sterrenstof

Als een ster met meer massa begint dan de zon, duurt de hoofdfase van de heliumproductie korter. Zo zal een ster met vijf keer zoveel massa een lichtsterkte hebben die ruim 200 keer zo groot is als die van de zon. Daardoor is die al na 200 miljoen jaar door zijn bruikbare waterstofvoorraad heen en een ster met 30 keer zoveel massa al na drie miljoen jaar.

Sterren die *iets* groter beginnen dan de zon, eindigen na het dwergstadium als *neutronenster*. De allergrootste witte dwergen worden nog verder in elkaar geperst totdat zij verdwijnen in een *zwart gat*.

Sterren met veel meer massa dan de zon, hebben na de koolstoffusie nog andere fusiestadia. Daarin worden de elementen zuurstof tot en met ijzer gevormd. Na de fusie tot ijzer stopt het, want voorbij massagetal van ongeveer 55 komt geen energie meer vrij bij fusie. De ster trekt dan weer samen waarbij de temperatuur geweldig oploopt. Veel ijzeratomen worden daarbij stukgemalen volgens:



Tenslotte wordt de temperatuur zo hoog, dat de ster in een paar seconden uit elkaar spat, we spreken dan van een *supernova*. In China is er in 1054 een waargenomen en ook Kepler heeft er een beschreven. Meer recent, in het voorjaar van 1987, kon men op het zuidelijk halfrond een supernova waarnemen. Tijdens de uitbarsting van een supernova komt  $10^{44}$  J vrij, meer dan de zon in zijn hele leven zal uitzenden. De 'gewone' fusie is dan gestopt, maar er worden in zo'n zware ster en vooral bij supernovae neutronen ingevangen. Veel kernen worden dan  $\beta$ -stralers. Als de neutronenvangst echter sneller gaat dan het  $\beta$ -verval, kunnen er stabiele elementen ontstaan voorbij ijzer, tot uraan toe.

Al het materiaal dat wij om ons heen zien en dat geen waterstof is, is dus ooit in kortlevende sterren en in supernovae ontstaan.

Ook onze eigen lichamen zijn dus gemaakt van sterrenstof.

### De oerknal

Je kent dit rijtje van klein naar groot wel:  
 Sesamstraat, Hilversum, Noord-Holland,  
 Nederland, Europa, wereld, zonnestelsel, heelal.

### Melkwegstelsels

Die laatste stap is veel te groot. De zon is een van de miljarden sterren in de Melkweg; en er zijn ook nog eens miljarden andere melkwegstelsels. Onze melkweg ziet er ongeveer zo uit als dit stelsel, de Andromedanevel waarmee we over zo'n vier miljard jaar in botsing zullen komen:



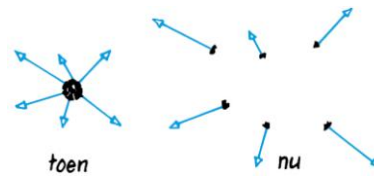
In de tabellen 32E,F van *Binas* wordt een poging gedaan om te laten zien wat de structuur van het heelal is. Wees erop bedacht dat in tabel E de afstanden opgegeven worden in  $10^{21}$  m en in tabel F in  $10^{24}$  m en in ly (lichtjaar;  $1 \text{ ly} = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m}$ ). Om te beginnen vormt onze Melkweg samen met enkele tientallen andere stelsels een *cluster*, de *lokale groep*. Deze lokale groep is onderdeel van een groter cluster, het *Virgo supercluster*. Van dit type zijn er ook weer een heleboel: de *superclusters*. Nog grotere megaclusters kennen we niet, want daarvoor is het zichtbare heelal niet groot genoeg. We moeten ervan uitgaan dat er nog steeds licht op weg naar ons toe is.

Volgens tabel 32F zijn er  $3 \cdot 10^{22}$  sterren in het zichtbare heelal.

Bij sommige sterren zijn al planeten aangetoond via variaties in de helderheid. Er zijn steeds meer aanwijzingen dat er sterren bestaan zoals onze zon waar planeten met leven om zouden kunnen draaien.

### De oerknal

Rond 1900 ontdekte Slipher dat de spectraallijnen in veel sterrenstelsels sterk naar het rood waren verschoven. Dat wees erop dat bijna alle sterrenstelsels in het heelal zich van elkaar af bewegen. Er zijn een paar uitzonderingen van stelsels die naar ons toe komen, maar die zitten in ons eigen cluster. Hubble toonde in 1929 aan dat de snelheid waarmee een sterrenstelsel zich van ons verwijderd, evenredig is met de afstand. Dit doet denken aan de brokstukken van een explosie. De snelst bewegende stukken zijn na een tijdje het verste weg.

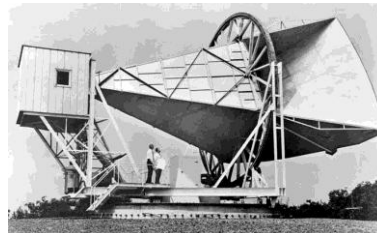


Het is algemeen geaccepteerd dat 13,7 miljard jaar geleden een enorme explosie heeft plaatsgevonden, de *Big Bang* of *Oerknal*, waarmee het heelal ontstond. Vanaf dat moment bestaan ruimte en materie. In onze tijd bewegen sterrenstelsels nog steeds uit elkaar als gevolg van deze knal. Het woord *Big Bang* is door Hoyle verzonnen als een soort scheldwoord, want hij geloofde niet in die theorie, maar later is gebleken dat hiermee de gang van zaken goed wordt weergegeven.

Toch moet je met dat model van een explosie oppassen. Als met oudjaar een rotje op straat uit elkaar knalt, vliegen de brokstukken alle kanten op, maar de straat blijft gewoon de straat. Bij de Big Bang was het juist de straat die uit elkaar knalde, sterker nog: er was helemaal geen straat, want het heelal ontstond op dat moment vanuit één punt.

De roodverschuiving van Slipher en Hubble lijkt op die van het dopplereffect dat je hoort als een ambulance van je wegrijdt. Die roodverschuiving van sterrenstelsels heeft echter een totaal andere oorzaak: het heelal zélf dijkt uit.

300 000 jaar na de oerknal was de temperatuur 3000 K en vanaf dat moment werd EM-straling niet meteen geabsorbeerd door de aanwezige materie. Die straling ontvangen wij nog steeds, maar sindsdien is het heelal 1000 keer groter en zijn de  $\lambda$ 's ook 1000 keer groter. Daardoor lijkt de straling van 3000 K op die van 3 K. Deze *kosmische achtergrondstraling* is ontdekt door Penzias en Wilson die eerst dachten dat duiven in hun hoornantenne de meting verstoorden.



Lange tijd heeft men gedacht dat er een einde zou komen aan de uitdijing van het heelal en dat het zou eindigen in een *Big Crunch*, maar tegenwoordig vermoedt men dat de uitzending zelfs versneld gaat. Wordt vervolgd.

### Zwarte gaten

Al rond 1800 vermoedden Michell en Laplace het bestaan van *zwarte gaten*. Dat zijn voorwerpen met zo'n grote massaconcentratie dat de ontsnappingsnelheid zelfs voor de lichtsnelheid te groot is, vandaar de naam. Einstein bewees dat licht door gravitatie wordt afgebogen, hoewel de rustmassa van een foton nul is. Licht kiest namelijk uit alle mogelijke paden de weg die in tijd het kortst is – en als de ruimte-tijd gekromd is door de aanwezigheid van een massa, dan wordt het pad aangepast.

Schwarzschild en Droste hebben berekend dat een voorwerp om te ontsnappen vanaf de rand van een hemellichaam voldoende kinetische energie moet bezitten om het oneindige te bereiken:

$$\frac{1}{2}mv^2 \geq \frac{GMm}{R_s}$$

voor licht met  $v=c$  dus moet gelden:

$$R_s \geq \frac{GM}{c^2}$$

$R_s$  wordt de schwarzschildstraal genoemd. Licht op deze afstand  $R_s$  van het centrum, rent net zo hard naar buiten als het zwarte gat krimpt. Voor de zon – die geen zwart gat zal worden – zou  $R_s$  ongeveer 3 km zijn; De aarde zou dan overigens nog steeds in 1 jaar zijn rondjes om de zon draaien. De aarde als zwart gat zou de grootte van een stuiver hebben.

Er gebeuren gekke dingen als je de bol van Schwarzschild nadert.

Als je  $g(r) = \frac{GM}{r^2}$  differentieert,

$$\text{vind je: } g'(r) = -\frac{c^6}{4G^2M^2} \text{ als } r = R_s.$$

Duik je richting centrum van een relatief klein zwart gat, dan voelt je hoofd een veel grotere gravitatiekracht dan je voeten.

Je wordt dan uit elkaar gerukt, we spreken van *spaghettificatie*.

Iemand op veilige afstand ziet je steeds trager bewegen, in kleur naar rood verschuiven en vlak voor de bol in het niets verdwijnen. De bol vormt een *waarnemingshorizon*.

### Geen haar

Een zwart gat heeft maar drie kenmerken: massa, draaiimpuls en lading, nogal kaal dus – *geen haar* wordt dit genoemd. Alles wat erin valt, dus ook informatie of een magneetveld wordt vernietigd. Die draaiimpuls was er al toen het zwart gat ontstond. Elke ster draait in meerdere of mindere mate. Gravitatie probeert de ster te laten krimpen, kernfusie verhindert dat. Als dat niet meer lukt doordat de brandstof op is en de ster in elkaar stort, zal het toerental omhoog gaan zoals bij een schaatster die een pirouette maakt.

Ineengestorte neutronensterren als pulsars draaien dan ook als gekken en zenden pulserende radiosignalen uit. Pulsars worden aangeduid als LGM – *little green men* – uit de tijd dat men dacht met buitenaards leven te maken te hebben. Maar dat zijn nog geen zwarte gaten, de krimp moet veel verder gaan.

Einstein publiceerde in 1939 een artikel waarin hij met zijn eigen algemene relativiteitstheorie probeerde aan te tonen dat zwarte gaten niet konden bestaan. Oppenheimer bewees vlak daarna met dezelfde theorie hoe zwarte gaten wél konden worden gevormd.

### Bestaan bewezen?

Hawking ging in 1975 een weddenschap aan met Thorne dat Cygnus X-1 (in het sterrenbeeld Zwaan) géén zwart gat zou zijn, maar inmiddels is hij om. Deze röntgenbron (X-rays) draait rond om een ster van 30 zonnemassa's en trekt daar gas uit.

Das gas komt terecht in een schijf om Cygnus en spiraliseert naar het centrum.

Die schijf zendt niet alleen röntgenstraling uit maar ook gammastraling. Dat betekent dat Cygnus geen magneetveld kan hebben, want daardoor zou energie afgevoerd kunnen worden en dan zou de temperatuur niet zo hoog worden dat gammastraling kan worden uitgezonden.



### Mini zwarte gaten

Ook mini zwarte gaten zijn theoretisch niet uitgesloten. Een mini zwart gat van  $10^{13}$  kg (zoiets als de Mont Blanc) zou een straal hebben van  $10^{-14}$  m (de afmeting van een atoomkern); toch moet je daar vanwege getijdenkrachten en gammastraling zeker 100 m vandaan blijven, tenzij je snelheid groter is dan zo'n 40 km per seconde, dan mag dat ook een paar cm zijn. Als het gat niet door hart of andere gevoelige organen gaat, mag het je zelfs doorboren – als de snelheid maar hoog genoeg is. Mini zwarte gaten zouden kunnen ontstaan in grote versnellers, maar dan zouden ze weer ogenblikkelijk verdampen. Men vermoedt dat in het centrum van ons zonnestelsel zich een enorm zwart gat bevindt van 3 miljoen zonnemassa's.

### Wormgaten

Volgens sommige theorieën is het niet onmogelijk dat je via een zwart gat door een wormgat en een wit gat uitkomt in een ander universum. Hopelijk niet al teveel uitgerekt.