

Tip: lees eerst het artikel over de Big Bang.

De versnelde uitdijing van het heelal kan worden verklaard door wat hieronder wordt geschetst:

De Friedman-vergelijking beschrijft de uitdijing van het heelal op basis van dichtheden. Deze dichtheden kunnen zijn: vacuümenergie-dichtheid en materiedichtheid (donkere en zichtbare materie).

Stel nu dat het heelal begon met een bepaalde hoeveelheid vacuümenergie samengeperst tot een bol (zie het artikel over de oerknal) in een echt lege ruimte. De bol heeft geen rotatie (dat is experimenteel gemeten aan de rotatie van sterrenstelsels) en dat maakt de berekening eenvoudig, met behulp van de Friedman-vergelijking.

De bol zet radiaal uit omdat vacuümenergie een druk naar buiten heeft (expansie), in tegenstelling tot materie dat een druk naar binnen geeft (contractie). Maar die materie is ten tijde van de oerknal nog niet aanwezig! De initiële uitzettingssnelheid van die vacuümenergiebol is te berekenen en komt uit op  $\sqrt{3} * c$ . Dit is dus groter dan de lichtsnelheid.

**Let op:** die berekende snelheid is aan de buitenkant van de bol ( $R_0$ )! Binnen die bol kan de expansiesnelheid bij straal  $r$  worden berekend met behulp van de Hubble-vergelijking (de Hubble-constante is tijdsafhankelijk!).

Zodra de uitdijingssnelheid onder de waarde van  $c$  zakt, kan overal in het heelal materie ontstaan uit vacuümenergie op die plaatsen (bolschillen) waar de uitdijingssnelheid onder  $c$  is gedaald (aanvankelijk vanuit het centrum van de bol naar het binnenste van de bolschil, waarbij de uitzettingssnelheid kleiner is dan  $c$  (berekend op  $0,58R_0$ , waarbij  $R_0$  de straal is van de oerknalbol).

(Binnen de vacuümenergiesfeer is de energiedichtheid op een bepaald moment afhankelijk van de straal:  $\rho = \rho_0/r^3$ ).

Na het begin van de oerknal begint zich direct materie te vormen in het volume van de bol tussen  $r=0$  en  $r=0,58R_0$ . Omdat op dit moment de vacuümenergie-dichtheid het hoogst is, zullen er hoogenergetische deeltjes worden gevormd. Tegenwoordig is de vacuümenergie op zijn laagste waarde en zal alleen donkere materie worden gevormd door voornamelijk waterstofatomen in de buitenste delen van het sterrenstelsel waar nog waterstofwolken aanwezig zijn. De sterke wisselwerking aanwezig in het proton van het waterstofatoom is verantwoordelijk voor de omzetting van vacuümenergie naar donkere materie.

Dit proces is nog steeds aan de gang en verklaart de versnelde expansie die wordt waargenomen op een heel eenvoudige manier!

Zolang alleen vacuümenergie radiaal uitzet, wordt de expansiesnelheid langzamer en langzamer. Wanneer het echter onder  $c$  komt, kan er materie worden gevormd.

De expansiesnelheid is nu nog langzamer in de binnenste bol (waarbij  $v < c$ ) om 2 redenen:

- 1) Vacuümenergie verdwijnt en keert terug in de vorm van materie.
- 2) Materie brengt druk naar binnen (zwaartekracht, contractie).

Als eenmaal voldoende materie is gevormd om een merkbare tegenkracht te geven aan de vacuümenergie-expansie, ziet men een vertraging van de vacuümenergie-expansie, gezien vanuit het centrum van de bol met betrekking tot de binnenbol waar de expansiesnelheid lager is dan  $c$ ! Dit gebeurde ongeveer 6 miljard jaar geleden.

Dat betekent dat de buitenste schil die nog steeds beweegt met een uitzettingssnelheid groter dan  $c$ , sneller weg beweegt van de binnenste schil. Pas als de algehele uitzettingssnelheid aan de buitenradius ( $R$ ) een waarde onder  $c$  bereikt, stopt dat proces.

Nu zal materie worden gevormd in het totale volume van het bolvormige universum.

Er is dus wel degelijk een voorkeursrichting in het heelal, namelijk het centrum van de oerknal. Dit zou dan de tegengestelde richting zijn van de restsnelheid die overblijft na correctie van alle snelheden waaraan de aarde onderhevig is, bij het meten van de 3K-achtergrondstraling. Die snelheid (ongeveer 600 km/sec) zou dan de huidige uitdijingssnelheid van de aarde (lees: lokale groep sterrenstelsels) zijn ten opzichte van het centrum van de oerknal.

De huidige opvatting is dat de ruimte zich uitbreidt, maar het is eigenlijk de vacuümenergie die uitzet en de daarin gevormde materie meeneemt. Dit lost meteen het probleem op van wat zich aan de rand van het heelal bevindt: gewoon lege ruimte, echt vacuüm!

**Opmerking:** wanneer de expansiesnelheid boven  $c$  afneemt tot onder  $c$  (over de lijn), kan er een sferische flits van golven zijn die met de snelheid van het licht reizen: fotonen!

Deze fotonen interageren aanvankelijk met materie en hun golflengte neemt af in de tijd met de uitdijing van het heelal en heeft de 3K achtergrondstraling gevormd.

Momenteel is de procentuele verdeling van de verschillende soorten dichtheden, gemeten vanaf de kosmische 3K-straling, als volgt:

Vacuüm energieverdeling: 68 %

Verdeling donkere materie: 27%

Zichtbare materieverdeling: 5%

Dat betekent dat het universum zich nog steeds in de uitdijingsfase bevindt, aangezien de vacuümenergieverdeling nog steeds boven de 50% ligt. Door de lage temperatuur van de achtergrondstraling (3° Kelvin) wordt alleen donkere materie gevormd. Het percentage zichtbare materie van 5% zal hoogstwaarschijnlijk niet worden verhoogd, aangezien er in het huidige stadium geen expansiesnelheid meer is nabij  $c$  aan de rand van de vacuümenergiebol. Momenteel is er dan alleen omzetting van vacuümenergie in donkere materie.

Gezien vanuit het middelpunt van de bol betekent dit model dat de omzetting van vacuümenergie in materie nog steeds doorgaat, totdat alle vacuümenergie in materie is omgezet. Er is dan geen sprake meer van expansie maar van krimp. Zodra die samentrekking de snelheid van het licht bereikt (heelal raakt opgesloten), wordt alle materie omgezet in vacuümenergie en vindt er een nieuwe oerknal plaats.

De enige vraag die overblijft is: waar komt al die materie/vacuümenergie vandaan?

### **Drie natuurkundigen hebben de Nobelprijs voor natuurkunde 2011 gewonnen voor hun bewijs dat het heelal versneld uitdijt. De natuurkundigen deden deze opmerkelijke vondst door de afstand van supernova's te bepalen.**

Saul Perlmutter van het Lawrence Berkeley National Laboratory ontvangt in december samen met zijn collega's Brian Schmidt en Adam Riess de Nobelprijs voor natuurkunde. Perlmutter startte zijn Supernova Cosmology Project in 1988 om de veronderstelde vertraagde uitdijing van het universum te meten. Met een competitief project waren High z Supernova Search Team, Brian Schmidt en Adam Riess sinds 1994 op het goede spoor. De groepen waren betrokken bij een race. Het idee was dat door de grote hoeveelheid materie in het heelal de uitdijing zou vertragen. De verbijstering was groot, zo vertelde Schmidt telefonisch bij de presentatie, toen hij en Riess eind jaren negentig waanzinnige resultaten behaalden. "Gek om waar te zijn." Toch konden ze geen fouten ontdekken in hun waarnemingen. De rare resultaten bleken te kloppen en uiteindelijk publiceerden ze het resultaat. De ontdekking dat het heelal snel uitdijt, bevestigt Einsteins idee dat het heelal naast materie ook veel energie bevat. Die energie zorgt nu voor versnelde expansie

Licht bakens.

Voor hun metingen keken de natuurkundigen in hun projecten naar supernova's van het type Ia. Ze ontstaan wanneer een witte dwerg explodeert. Sommige kleinere sterren veranderen aan het einde van hun leven in zo'n witte dwerg. Soms kan het zwaartekrachtveld van zo'n witte dwerg materie van een naburige ster aanzuigen. Als de massa van de witte dwerg 1,4 keer de massa van de zon is, slaan allerlei fusiereacties in de ster op hol. Wat volgt is een krachtige explosie, een supernova, met een bepaalde helderheid. Dit zijn een soort bakens, waarbij de helderheid van de supernova een maat is voor de afstand.

Nu zijn dergelijke supernova's zeer zeldzaam. In een sterrenstelsel als de Melkweg ontploft een witte dwerg maar één of twee keer per millennium. Bij de supernovaprojecten maakten astronomen gebruik van moderne technieken, waaronder lichtgevoelige chips die duizenden sterrenstelsels in de gaten hielden. Zo konden ze enkele tientallen van die supernova's zien. Ze ontdekten dat verder terug in de tijd, op een afstand van zes miljard lichtjaar, de supernova's veel zwakker waren dan verwacht. Blijkbaar was hun afstand tot de aarde groter en dat is het bewijs van een snellere uitdijning van het heelal.

Natuurkundigen zijn doorgaans conservatief, benadrukt een van de Zweedse leden van het Nobelcomité bij de bekendmaking, maar desalniettemin werden de observaties en conclusies van de nieuwe Nobelprijswinnaars na publicatie vanaf 1998 snel geaccepteerd. Andere metingen bevestigden de conclusies. "Dit onderzoek vormt een mijlpaal in de natuurkunde en zorgt voor een nieuw begrip van het universum."