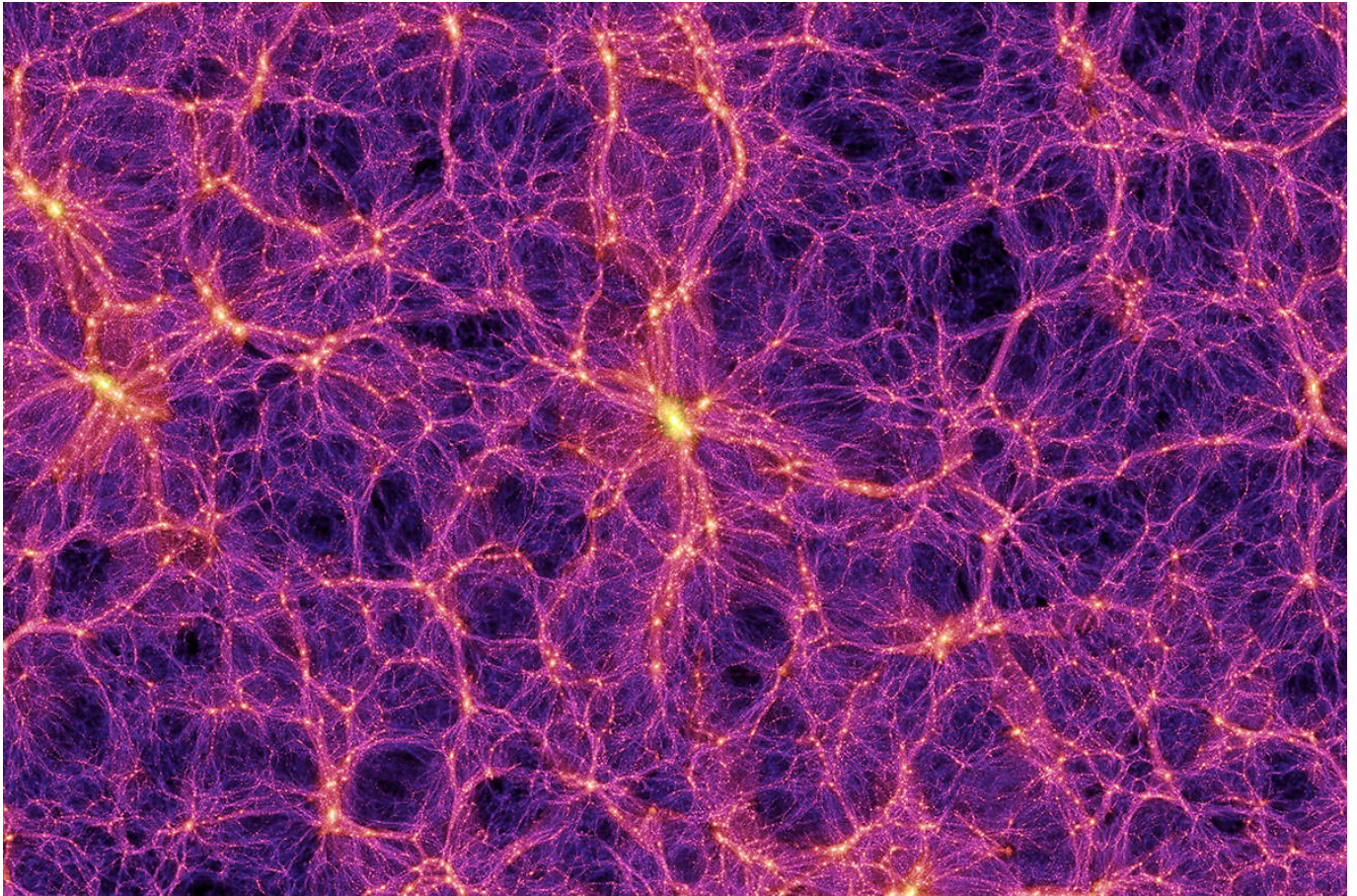


Leven in een uitdijend heelal (2)

We leven in een uitdijend heelal. In deel 1 van ons dossier over kosmologie hebben we kunnen lezen dat Edwin Hubble in 1929 tot deze verbazingwekkende conclusie kwam. In deel 2 zijn vervolgens enkele interessante gevolgen aan bod gekomen, zoals het eenzame lot van ons universum wanneer sterren sneller dan met de lichtsnelheid bij ons vandaan bewegen. Maar wat drijft die uitdijing? Is de Hubbleconstante constant in de tijd of veranderlijk? En als het universum uitdijt, dijen wij zelf dan ook uit? In deel 3 van dit dossier geeft Vincent Min antwoord op deze vragen.

Rond de tijd dat Edwin Hubble de uitdijing van het universum waarnam, dachten de onderzoekers Friedmann, Lemaître, Robertson en Walker onafhankelijk daarvan al na over de theoretische mogelijkheid van een uitdijend heelal. Ze stelden een natuurkundig model op waarin het universum kan uitdijen. Bij het opstellen maakten ze de aanname dat we op grote schalen kijken, waar het heelal *homogeen* is. Dat wil zeggen dat zowel materie als straling gelijk verdeeld zijn over de gehele ruimte.



Afbeelding 1. Verdeling van materie in het heelal. Op grote schaal is het heelal een “spinneweb” van materie, met plaatselijk grote en kleine dichtheden. Als we ver genoeg uitzoomen is de verdeling echter homogeen.

Afbeelding: Volker Springel/Max Planck Institute For Astrophysics/SPL.

Hoe de ruimte zich op die schaal gedraagt, wordt bepaald door de vergelijkingen die volgen uit Einsteins algemene relativiteitstheorie. Na een studie van deze vergelijkingen concludeerden de onderzoekers dat er drie verschillende mogelijke scenario’s zijn, afhankelijk van de soorten energie in het universum. We kunnen drie verschillende soorten energie onderscheiden die bijdragen aan de uitdijning van het heelal:

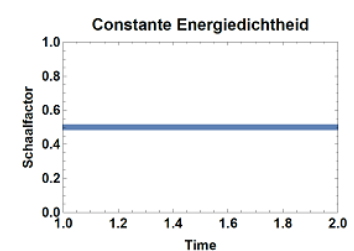
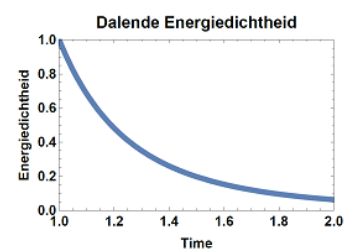
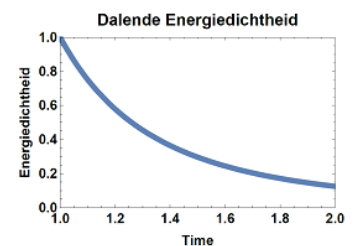
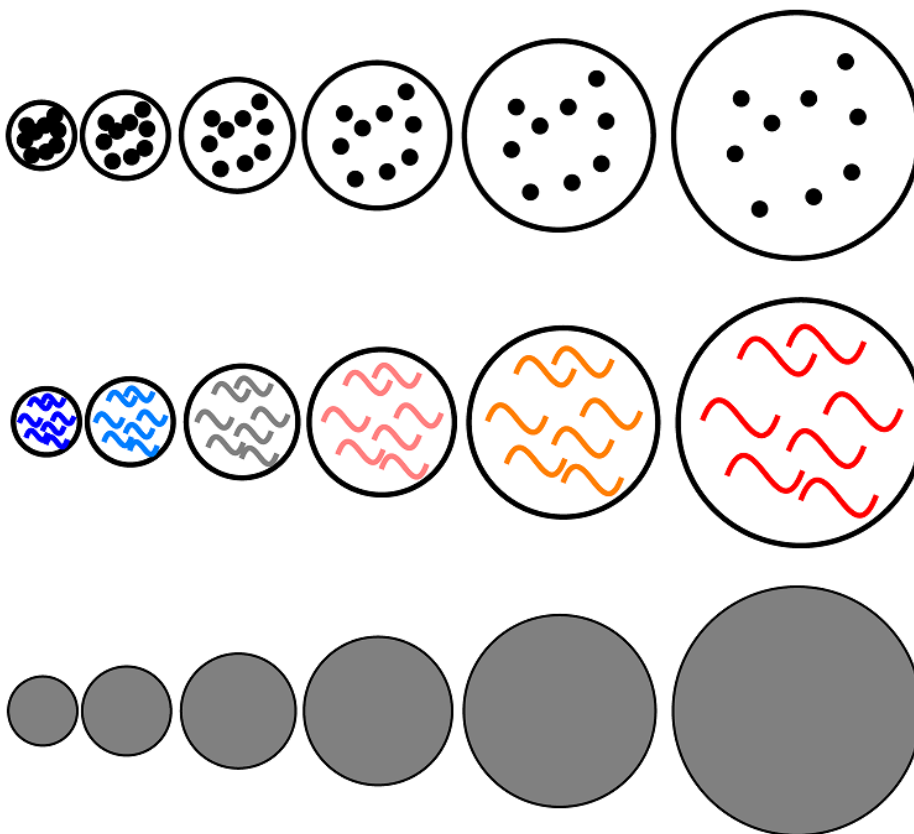
1. Straling (onder andere fotonen en neutrino’s),
2. Materie (zowel normale materie zoals neutronen en protonen als [donkere materie](#)),
3. [Donkere energie](#).

Deze drie soorten energie hebben elk een verschillend effect op de uitdijning. In het verleden heeft ons universum fases meegemaakt waar straling, materie en donkere energie op verschillende tijdstippen de energiedichtheid hebben gedomineerd. Om in te zien wanneer

straling, materie en donkere energie de dominante vorm van energiedichtheid waren, moeten we de bestuderen hoe de energiedichtheid verandert als gevolg van de uitdijing.

Laten we ons eerst focussen op materie. De energiedichtheid van een doosje materie is gegeven door de massa in het doosje gedeeld door het volume van het doosje. Dat betekent dat dezelfde hoeveelheid massa in een doosje met een twee keer zo groot volume een twee keer zo lage energiedichtheid heeft. Tijdens de uitdijing van het universum blijft de totale hoeveelheid materie ongeveer constant en dus daalt de energiedichtheid van materie in een uitdijend heelal.

De energiedichtheid van straling hangt naast het volume ook nog af van de frequentie. Vanwege de uitdijing worden golven uitgerekt en daalt de frequentie. Daarom daalt de energiedichtheid van straling nog sneller dan die van materie. Hoe zit het dan met de energiedichtheid van donkere energie? De oorsprong van donkere energie is nog niet goed begrepen. De simpelste verklaring is dat het een eigenschap is van de lege ruimte zelf. De energiedichtheid van donkere energie is dan ook constant terwijl het universum uitdijt, omdat elk stukje ruimte dezelfde hoeveelheid donkere energie bevat.



Afbeelding 2. Materie, straling en donkere energie. Als het heelal uitdijt, gedragen de drie vormen van “vulling” zich heel anders. De energiedichtheid van materie en straling neemt op verschillende manieren af, en de energiedichtheid van donkere energie blijft zelfs constant.

Stel nu dat we een universum hebben met straling, materie en donkere energie. In het begin is het universum nog zeer klein en dan is straling de dominerende energiedichtheid vanwege de frequentie die erg hoog moet zijn in dit kleine heelal. Door de uitdijning van het heelal neemt deze energiedichtheid echter sneller af dan die van materie en donkere energie. Op den duur zal materie of donkere energie de dominerende energiedichtheid worden. Als er genoeg materie aanwezig is, dan zal er eerst een periode zijn waarin de energiedichtheid van materie domineert. Als het universum ver genoeg uitdijt zal echter altijd donkere energie als de dominerende energiedichtheid overblijven.

In ons universum wordt de uitdijning van het heelal momenteel gedomineerd door donkere energie. De transitie van materie naar donkere energie is ongeveer 5 miljard jaar geleden begonnen. Het is onbekend of de mensheid niet had kunnen ontstaan in een tijdperk waar materie de dominerende energiedichtheid was. Wanneer we de vergelijkingen bestuderen die volgen uit Einsteins algemene relativiteitstheorie zien we dat dominantie van donkere energie leidt tot een exponentiële groei van het universum. Dit impliceert een versnelde uitdijning en een onveranderlijke Hubbleconstante. Materie en straling leiden echter tot een uitdijning die afneemt met de tijd en een Hubbleconstante die verandert met de tijd. De constante van Hubble is dus wel constant in de ruimte, maar niet in de tijd! Als donkere energie niet op tijd de uitdijning overneemt, dan kan de uitdijning negatief worden en kan het universum weer beginnen te krimpen. Dat zou leiden tot een “eindkrak”, het tegenovergestelde van een oerknal! In ons universum heeft donkere energie de overhand gekregen. Door het model van Friedmann, Lemaître, Robertson en Walker met observaties te vergelijken, is gemeten dat de totale hoeveelheid energie in ons universum vandaag de dag als volgt is verdeeld:

1. Materie: ~31%
2. Straling: <1%
3. Donkere energie: ~68%

Donkere energie heeft nu dus de overhand. De energiedichtheid van donkere energie is

relatief laag, maar vanwege de grote hoeveelheid ruimte in ons universum is de uiteindelijke bijdrage zeer groot. De energiedichtheid van donkere energie is zelfs zo laag dat wetenschappers zeer veel moeite hebben om een theoretische verklaring te vinden voor die waarde. Afhankelijk van de aannames zitten theoretische voorspellingen 60 tot wel 120 ordes van grootte naast de gemeten waarde van de energiedichtheid van donkere energie! Dit is een van de grote openstaande problemen in de natuurkunde.

Nu vraag je je misschien af: "Als het universum uitdijt, dij ik dan ook uit?". Zoals eerder genoemd, hebben Friedmann, Lemaître, Robertson en Walker de aanname gemaakt dat ze op grote schalen kijken waar het universum homogeen en isotroop (in elke richting hetzelfde) is. Dit is geen goede aanname op kleinere schalen, zoals de grootte van een mens. Op deze kleine schalen wordt zwaartekracht volledig overschaduwd door de elektromagnetische, zwakke en sterke kracht en is er van uitdijng geen sprake. Zoals de natuurkundige Richard Price zei: "Je buikje mag dan uitdijen, maar je kan de uitdijng van het heelal er niet de schuld van geven".