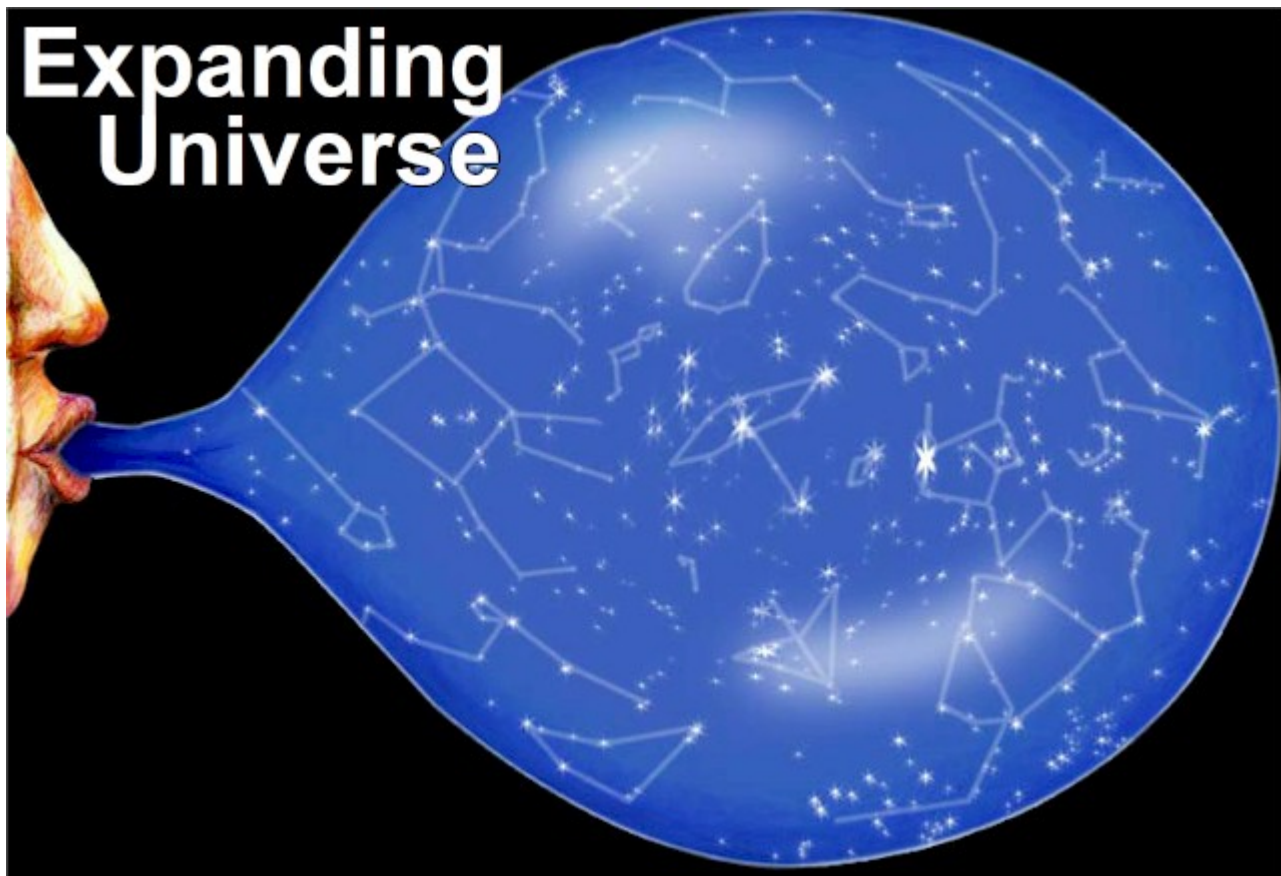


Leven wij in een de Sitterruimte?

De baanbrekende ontdekking dat het heelal versneld uitdijt, gedaan in 1998, werd in 2011 bekroond met een Nobelprijs. Ondanks het feit dat die versnelde uitdijing inmiddels vaste stof is voor iedere natuur-en sterrenkundestudent, breken wetenschappers zich nog steeds het hoofd over de bron ervan. Recent onderzoek naar de oorzaak van de mysterieuze uitdijing heeft geleid tot een grote controverse onder natuurkundigen.

Eén ding is duidelijk. Om de versnelde uitdijing van het heelal te verklaren, is het nodig om aan te nemen dat ons universum een zogeheten *positieve vacuümenergie* heeft. Dit wil zeggen dat, zelfs wanneer we ons voorstellen dat we alle materie uit het heelal verwijderen, de lege ruimte nog steeds een kleine positieve **energiedichtheid** heeft van zo'n 5×10^{-10} kg/(m s²). Die energiedichtheid wordt ook wel **donkere energie** genoemd.

De wiskundige vergelijking die zo'n leeg heelal met een constante positieve vacuümenergie beschrijft, werd al in 1917 ontdekt door de Nederlandse natuurkundige, wiskundige en astronoom Willem de Sitter. De Sitter vond deze vergelijking door de wetten van Einsteins zwaartekrachttheorie (**de algemene relativiteitstheorie**) te bestuderen. Een dergelijk universum wordt tegenwoordig naar hem een **de Sitterruimte** genoemd. De ontdekking dat ons universum versneld uitdijt, lijkt er dus op te wijzen dat het heelal, wanneer we de effecten van materie verwaarlozen, zo'n de Sitterruimte is. Tot zover de zaken die we begrijpen.



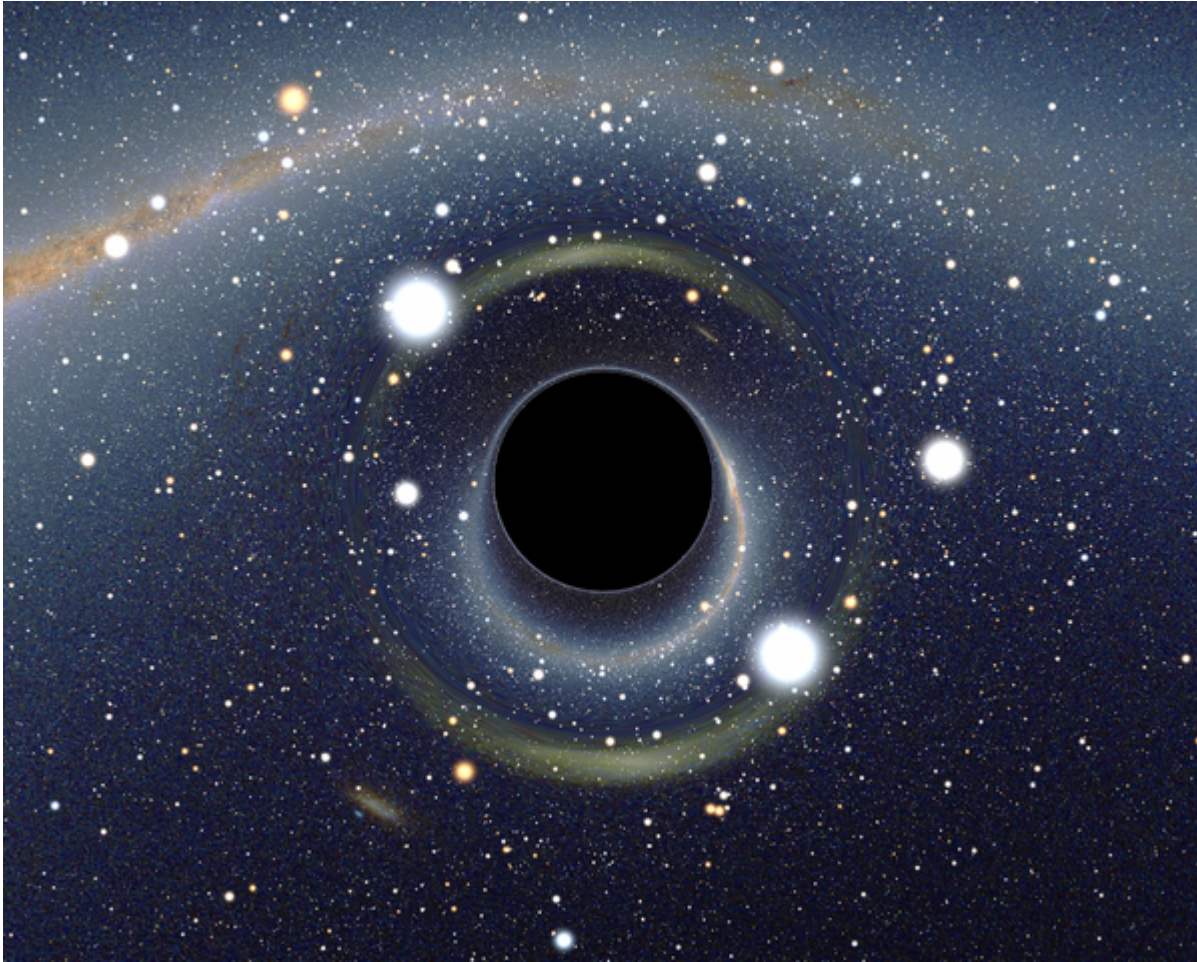
Afbeelding 1. Een uitdijend heelal. Een uitdijend heelal kan je je voorstellen als een ballon die wordt opgeblazen. De vacuümenergie “blaast” de ballon op en drijft de sterrenstelsels uit elkaar. Elke waarnemer in een sterrenstelsel ziet alle andere sterrenstelsels van zich af bewegen. (Bonusvraag: kun je ontdekken welke fout er in deze afbeelding gemaakt wordt?) Afbeelding: [SLAC / Nicolle Rager](#)

Mysterieuzer wordt het wanneer we niet alleen proberen om een de Sitterruimte te beschrijven aan de hand van de algemene relativiteitstheorie, zoals De Sitter zelf deed, maar om ook quantummechanische effecten mee te nemen. Dit vereist een theorie van [quantumzwaartekracht](#), waarvoor [snaartheorie](#) op dit moment de best bestudeerde kandidaattheorie is. Helaas blijkt het wiskundig zeer ingewikkeld om te bevestigen of ontcrachten dat snaartheorie inderdaad de Sitterruimtes kan beschrijven. Momenteel is er dan ook geen overeenstemming onder theoretisch natuurkundigen. Dit in tegenstelling tot de situatie rond *anti-de Sitterruimtes* (ook leeg, maar met een *negatieve* vacuumenergie), waarvan er wel snaartheoretische beschrijvingen bekend zijn – maar ja, die beschrijven dan

weer niet de situatie in ons heelal.

Dit leidt ons tot de volgende opmerkelijke situatie. Aan de ene kant lijken waarnemingen er sterk op te wijzen dat wij in een de Sitterruimte leven, maar aan de andere kant zijn natuurkundigen er nog niet in geslaagd om juist die de Sitterruimtes ook quantummechanisch te beschrijven.

De meest conservatieve oplossing van deze paradox is wellicht om te concluderen dat snaartheorie blijkbaar geen de Sitterruimtes kán beschrijven, en daarmee dus ook niet ons heelal beschrijft. Het mag duidelijk zijn dat dit perspectief niet populair is onder snaartheoretici. Niet omdat zij koste wat het kost vasthouden aan hun favoriete theorie van quantumzwaartekracht, maar vanwege de successen die snaartheorie wél heeft geboekt, zoals het verklaren van de [entropie van zwarte gaten](#) en de [AdS/CFT-correspondentie](#).



Afbeelding 2. Een zwart gat. Een van de successen van snaartheorie uit de jaren 90 is het verklaren van de entropie van een zwart gat. Afbeelding: Wikipediagebruiker [Alain R.](#)

Een tweede mogelijkheid, geopperd in een [recent artikel](#) van onder meer de prominente theoretisch natuurkundige Cumrun Vafa van de Harvard-universiteit, neemt aan dat snaartheorie inderdaad geen de Sitteroplossingen toelaat. In plaats daarvan beargumenteren Vafa en zijn collega's in hun (overigens nog zeker controversiële) artikel dat de positieve vacuümenergie die wij waarnemen in ons universum niet constant is (zoals in een de Sitterruimte), maar dat deze langzaam afneemt. Als deze hypothese klopt, heeft dat gigantische gevolgen voor de toekomst van ons universum. Het zou namelijk betekenen dat met het afnemen van de vacuümenergie ook de uitdijing van het heelal afneemt en dat deze zelfs zou kunnen omkeren! Het heelal stort dan op heel lange termijn weer in elkaar, een

zogeneten *Big Crunch*.

Het is niet verwonderlijk dat er, sinds het artikel van Vafa en collega's online is verschenen, een actieve discussie is ontstaan onder theoretisch natuurkundigen, waarbij er soms meerdere nieuwe artikelen per dag verschijnen. Tot nu toe is de vraag of wij in een de Sitteruniversum leven nog onbeantwoord, maar hopelijk brengen deze ontwikkelingen ons weer een stapje dichterbij in het ontrafelen van de mysterieuze uitdijning van het heelal.

Referentie

Georges Obied, Hiroshi Ooguri, Lev Spodyneiko en Cumrun Vafa, *De Sitter Space and the Swampland*