Waarom is zwaartekracht zo zwak?

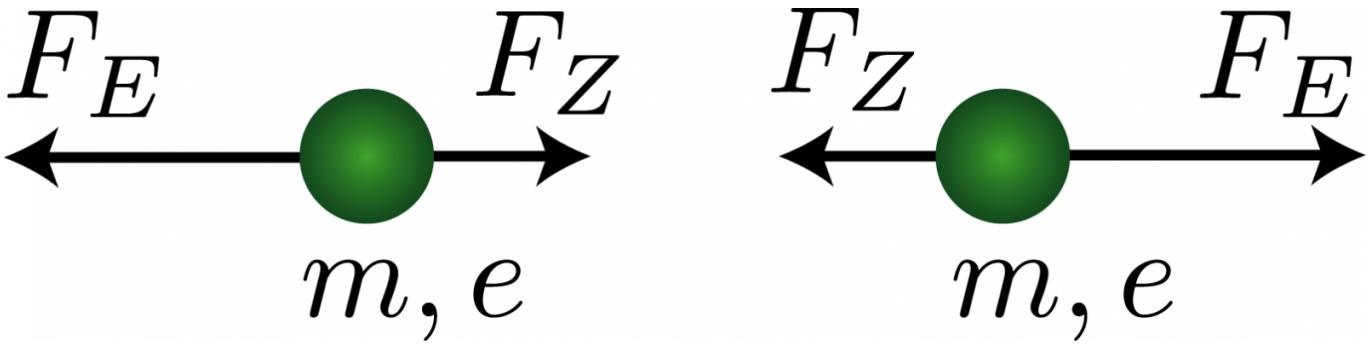
Ondanks het feit dat zwaartekracht een belangrijke rol speelt in het dagelijks leven, is het een zeer zwakke kracht. Stel je maar eens voor dat je met een magneet je sleutelbos optilt. De aarde trekt met zijn gigantische massa van 6 x 10^{24} kg aan de sleutelbos, maar toch is de kracht die een kleine magneet uitoefent sterker en wint die kracht het van de zwaartekracht! In dit artikel zullen we zien dat dit misschien geen toevalligheid is, maar dat er een verklaring zou kunnen zijn voor het feit dat de zwaartekracht zo zwak is in ons universum.



Afbeelding 1. Een magneet tilt ijzerafval op.Doordat de zwaartekracht zo zwak is, kan een magneet de zwaartekracht van de aarde overwinnen. Foto uit Factory and industrial management (1891).

De reden dat zwaartekracht ondanks zijn zwakte toch een merkbaar effect heeft, is dat die kracht altijd aantrekkend is en dus over grote afstanden optelt. Denk bijvoorbeeld aan ons zonnestelsel. De totale massa van het zonnestelsel (en daarmee de zwaartekracht) is gigantisch, maar de totale elektrische lading (en daarmee de elektrische kracht) is nagenoeg nul. Wanneer we niet naar dit soort grote afstanden kijken, maar naar twee “normale”

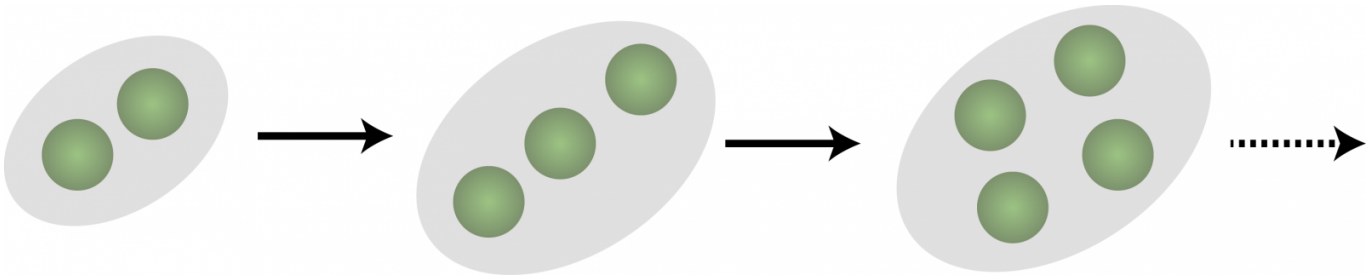
massieve en geladen deeltjes, is zwaartekracht veel zwakker – zie afbeelding 2.



Afbeelding 2. Zwaartekracht en elektrische kracht.Twee deeltjes met gelijke massa m en lading e. De aantrekkende zwaartekracht F_Z is veel zwakker dan de afstotende elektrische kracht F_E (hier niet in verhouding weergegeven), waardoor de deeltjes van elkaar af bewegen.

Als we zwaartekracht vergelijken met de andere fundamentele krachten in de natuur, is de zwakte van zwaartekracht nogal eigenaardig. *Alle* andere krachten zijn namelijk vele malen sterker. Waarom gedraagt zwaartekracht zich zo anders dan de andere krachten? Is hier een fundamentele verklaring voor te vinden?

Recent theoretisch onderzoek lijkt inderdaad in deze richting te wijzen. Stel je eens voor dat we in een wereld zouden leven waarin zwaartekracht sterker is dan bijvoorbeeld de elektrische kracht. Het is dan mogelijk om twee deeltjes met gelijke massa en gelijke lading samen te voegen, bijeengehouden door de zwaartekracht. Op deze manier maken we een nieuw deeltje, en we kunnen dit proces blijven herhalen door steeds een deeltje toe te voegen. Op deze manier maken we een gigantische “toren” van nieuwe deeltjes – zie afbeelding 3.



Afbeelding 3. Een “toren” van deeltjes.In een wereld waar zwaartekracht sterker is dan de elektrische kracht,

kunnen we nieuwe deeltjes maken door massieve en geladen deeltjes samen te voegen. De zwaartekracht houdt deze nieuwe deeltjes bijeen.

Het bestaan van zo'n toren zou grote gevolgen hebben. De Amerikaanse theoretische natuurkundige Leonard Susskind heeft in een wetenschappelijk artikel in de jaren 90 laten zien dat zo'n toren van deeltjes ook een gigantische entropie moet hebben. Uit de wetten van de thermodynamica volgt dat deze natuurkundige grootheid, waarover we al veel schreven op de site, altijd groter wordt.

Susskind beargumenteerde met behulp van dit gegeven dat elk systeem met een temperatuur, zoals bijvoorbeeld de zon, onmiddellijk al zijn energie zal omzetten in een dergelijke toren van deeltjes, omdat dit de entropie van het systeem verhoogt. Aangezien de zon nog steeds elke dag schijnt kan dit proces niet gebeurd zijn. De logische conclusie is dus dat deze toren van deeltjes niet kán bestaan! Nu kun je je natuurlijk nog steeds afvragen waaróm wij dan in een heelal met zo'n zwakke zwaartekracht leven, maar met een antropisch argument (zie "De slechtste voorspelling in de natuurkunde"), zou je de redenering ook kunnen omdraaien door te zeggen dat in een heelal met te *sterke* zwaartekracht nooit intelligente waarnemers kunnen ontstaan. Het feit dat wij het heelal kunnen waarnemen, impliceert dus dat we in een heelal met zwakke zwaartekracht moeten leven. Of een dergelijke antropische redenering overtuigend is, is net als in het hierboven genoemde artikel natuurlijk een kwestie van smaak.

Hoe dan ook, dit soort inzichten waren de inspiratie voor een groep theoretische natuurkundigen van de Harvard-universiteit (Nima Arkani-Hamed, Lubos Motl, Alberto Nicolis en Cumrun Vafa) om in 2006 te postuleren dat het een *vereiste* is dat in elke correcte theorie van de fundamentele krachten, zwaartekracht de zwakste kracht is. Als dit waar is, is het namelijk onmogelijk om de hierboven beschreven toren van deeltjes te bouwen. Tegenwoordig is dit "zwakke-zwaartekrachtpostulaat" een zeer actief onderzoeksgebied en er wordt naarstig gezocht naar een bewijs voor dit postulaat, dan wel een tegenargument. Wat de uitkomst van dit onderzoek ook zal zijn, het is duidelijk dat we met een dergelijk resultaat een stap dichterbij zullen komen in het ontrafelen van de geheimen van de zwaartekracht.

Referenties

- Leonard Susskind, *Trouble For Remnants*
- Nima Arkani-Hamed, Lubos Motl, Alberto Nicolis en Cumrun Vafa, *The String Landscape, Black Holes and Gravity as the Weakest Force*