Kritiek op Verlindes zwaartekrachttheorie

Erik Verlindes nieuwe theorie van zwaartekracht blijft de gemoederen in de wetenschap bezighouden. De fysici Milgrom en Sanders wijzen erop dat de theorie niet zo goed werkt als een andere fenomenologische theorie, MOND. Volgens Verlinde zijn de vergelijkingen die uit zijn theorie volgen echter nog niet zo breed toepasbaar als Milgrom en Sanders aannemen. Hij heeft in het huidige artikel nog verschillende aannames en benaderingen gemaakt, waardoor het problematisch is om zijn formules zomaar toe te passen op de meeste sterrenstelsels of bijvoorbeeld het zonnestelsel.



Afbeelding 1. Erik Verlinde.In zijn artikel *Emergent gravity and the dark universe* presenteerde de UvA-onderzoeker zijn nieuwste inzichten over het gedrag van de zwaartekracht op kosmologische schaal.

Verlindes formule

Eind vorig jaar was het groot nieuws: Erik Verlinde presenteerde een nieuwe theorie van zwaartekracht. Inmiddels is de rust weergekeerd in de media, en kunnen we de balans opmaken van de verschillende reacties die vanuit de wetenschap op Verlindes artikel zijn

gekomen. Tot nu toe zijn er meerdere artikelen van sterrenkundigen verschenen over Verlindes theorie. Ik zal hier in het bijzonder ingaan op een artikel van Mordehai Milgrom en Robert Sanders. Zij zijn erg kritisch en wijzen erop dat de theorie minder kan verklaren dan een andere zwaartekrachttheorie, Modified Newtonian Dynamics (MOND), die bedacht is door Milgrom zelf. Ik zal hun kritiek bediscussiëren en daarna Verlindes reactie op Milgrom en Sanders weergeven.

Eerst nog even Verlindes theorie zelf. Volgens Verlinde is zwaartekracht geen fundamentele kracht, maar is de kracht 'emergent', in de zin dat die pas op macroscopische schaal tevoorschijn komt. Het idee van emergente zwaartekracht bestaat al wat langer, maar in het artikel van november claimt Verlinde dat dit idee waarneembare gevolgen heeft op kosmologische schaal. De wetten van Newton en Einstein moeten volgens hem namelijk worden aangepast op de schaal van sterrenstelsels.

Deze aanpassing komt in de vorm van een extra zwaartekracht, die wellicht het grote probleem van donkere materie in de sterrenkunde zou kunnen oplossen. In zijn artikel leidt Verlinde een formule af die de hoeveelheid schijnbare donkere materie M_D (die dus volgens hem niet echt bestaat) relateert aan de hoeveelheid gewone materie M_B in een sterrenstelsel. Voor de liefhebbers: die formule ziet er als volgt uit:

$$\int_0^r \frac{GM_D^2(r')}{r'^2} dr' = \frac{M_B(r) a_0 r}{6}.$$

In deze formule is G de zwaartekrachtconstante, r is de afstand tot het centrum van de materieverdeling, en $a_0=cH_0$, waarbij c de lichtsnelheid is, en H_0 de zogenaamde Hubble-constante die aangeeft hoe groot het heelal is. Hoewel Verlindes theorie veel meer is dan deze formule, is juist deze formule het meest interessant voor sterrenkundigen. Zij kunnen deze relatie namelijk aan tests onderwerpen.

Kritiek van Milgrom en Sanders

De belangrijkste kritiek van Milgrom en Sanders is dat Verlindes theorie nog niet zo goed werkt als Modified Newtonian Dynamics (MOND). Dat is een theorie die een aanpassing voorspelt van Newtons tweede wet, en die ook het probleem van donkere materie in

sterrenstels probeert op te lossen. Milgrom en Sanders noemen Verlindes theorie “rather tentative, both in its theoretical foundations and its phenomenology” (2). Volgens hen zijn er veel robuustere theorieen die waarnemingen in sterrenstelsels beter kunnen verklaren. Ze wijzen erop dat Verlindes formule een nogal beperkt bereik heeft, in de zin dat die alleen van toepassing is op statische, geïsoleerde, bolvormige massa’s M_B. Het is onduidelijk, beweren de auteurs, hoe Verlindes formule zou kunnen worden veralgemeniseerd naar meer algemene massaverdelingen. Daarnaast beschrijven ze de theoretische argumenten over verstrengelingsentropie in het artikel als “opaque” (ondoorzichtig).

Verder schrijven Milgrom en Sanders dat Verlindes formule in conflict zou zijn met waarnemingen in ons zonnestelsel. Dit punt is verder uitgewerkt in dit artikel van de sterrenkundigen Hees, Famaey en Bertone. De snelheden van onze planeten zijn zeer precies gemeten, en deze waarnemingen kunnen gewoon worden verklaard met Newtoniaanse fysica. Er is dus geen extra donkere materie nodig om deze snelheden te verklaren. Als je Verlindes formule echter naïef zou toepassen op planeten in ons zonnestelsel, dan zou je wel verwachten dat er donkere materie is. Verlindes antwoord op dit schijnbare conflict zullen we hieronder bespreken.



Afbeelding 2. Milgrom en Sanders.Moti Milgrom en Bob Sanders schreven een kritische reactie op Erik Verlindes theorie van emergente zwaartekracht.

Reactie van Verlinde

Momenteel is het artikel van Erik Verlinde nog onder review bij het open access tijdschrift *SciPost.* Het is niet onlogisch dat juist Milgrom is gevraagd om het artikel als referee te beoordelen. In zijn reactie op het refereerapport van Milgrom, dat slechts bestaat uit een verwijzing naar zijn artikel met Sanders, schrijft Erik Verlinde:

“The aim was to take the first steps towards a theoretical explanation of these observations

based on current advances in our understanding of the emergence of gravity. In the paper I did not claim to present a fully developed theory and made clear that a more detailed description of the underlying microscopic theory, the generalization to non-spherically symmetric mass distributions and other improvements of the theory were being left for future work.

In particular, formula (7.40) [*de hierboven beschreven formule, red.*] was presented as a first estimate of the effect of the volume law entanglement on the emergent gravity laws, not as the final outcome of a fully developed theory. The fact that formula (7.40) still has shortcomings is therefore not surprising given the approximations and assumptions that have gone into its derivation. Since these approximations are only justified in the regime where the gravitational acceleration is below or of the order of cH_0, no predictions were made for situations with strong gravitational fields such as the solar system. For instance, the theory of linear elasticity as employed in the paper will break down when the total acceleration exceeds cH_0."

Verlinde wijst er dus op dat er te veel wordt gefocust op de ene formule die we hierboven beschreven, terwijl de belangrijkste bijdrage van zijn artikel bestaat uit het leggen van een verband tussen de microscopische beschrijving van emergente zwaartekracht, aan de ene kant, en observaties in sterrenstelsels aan de andere kant. Het testen van zijn formule is problematisch omdat er verschillende aannames en benaderingen in het artikel worden gemaakt. Een voorbeeld van een aanname is dat de formule hierboven alleen geldt voor bolvormige objecten, terwijl sterrenstelsels in het echt vaak de vorm van een platte schijf hebben. Een ander voorbeeld is dat de formule alleen geldt voor massa's die een zeer lage versnelling hebben, van de orde van grootte van $cH_0 \approx 10^{-10}\,\mathrm{m/s^2}$. Als je die aanname zou toepassen op de zwaartekracht van onze zon, dan blijkt dat de formule pas geldt ver buiten de grenzen van ons zonnestelsel. De planeet Neptunus versnelt bijvoorbeeld met $10^{-6}\,\mathrm{m/s^2}$ rondom de zon, grofweg 10.000 keer zo veel als deze grensversnelling. Deze aanname in Verlindes theorie hebben Milgrom en Sanders blijkbaar over het hoofd gezien.

Conclusie

In zekere zin zijn Milgrom, Sanders en Verlinde het dus eens: de formule van Verlinde is nog

lang niet op alle situaties in het heelal van toepassing. Milgrom en Sanders zien dat met name als zwakte; Verlinde benadrukt juist het feit dat zijn theorie, in tegenstelling tot MOND, een *verklaring* geeft voor het vreemde gedrag van de zwaartekracht op grote schaal. Centraal staat volgens hem dus niet de beperkt toepasbare formule hierboven, maar het feit dat die formule uit geheel nieuwe ideeën afgeleid kan worden. In de toekomst kunnen uit diezelfde ideeën ook breder toepasbare vergelijkingen worden afgeleid.

De discussie zal waarschijnlijk pas echt een uitkomst krijgen wanneer dat laatste gebeurt. Zodra er meer succesvolle toepassingsgebieden van de ideeën van Verlinde komen zullen die ideeën bij de critici aan vertrouwen winnen. *Of* en zo ja, *wanneer* dat zal gebeuren is natuurlijk niet te voorspellen – daarvoor zullen we verder wetenschappelijk werk moeten afwachten. Stay tuned!

Referenties

1. *Emergent Gravity and the Dark Universe* – Erik Verlinde 2016 (arXiv:1611.02269)
Onder review bij het tijdschrift *SciPost Physics,* zie hier voor het rapport van Milgrom en de reactie van Verlinde.

2. *Perspective on MOND emergence from Verlinde's `emergent gravity' and its recent test by weak lensing* – Mordehai Milgrom en Robert Sanders 2016 (arXiv:1612.09582)