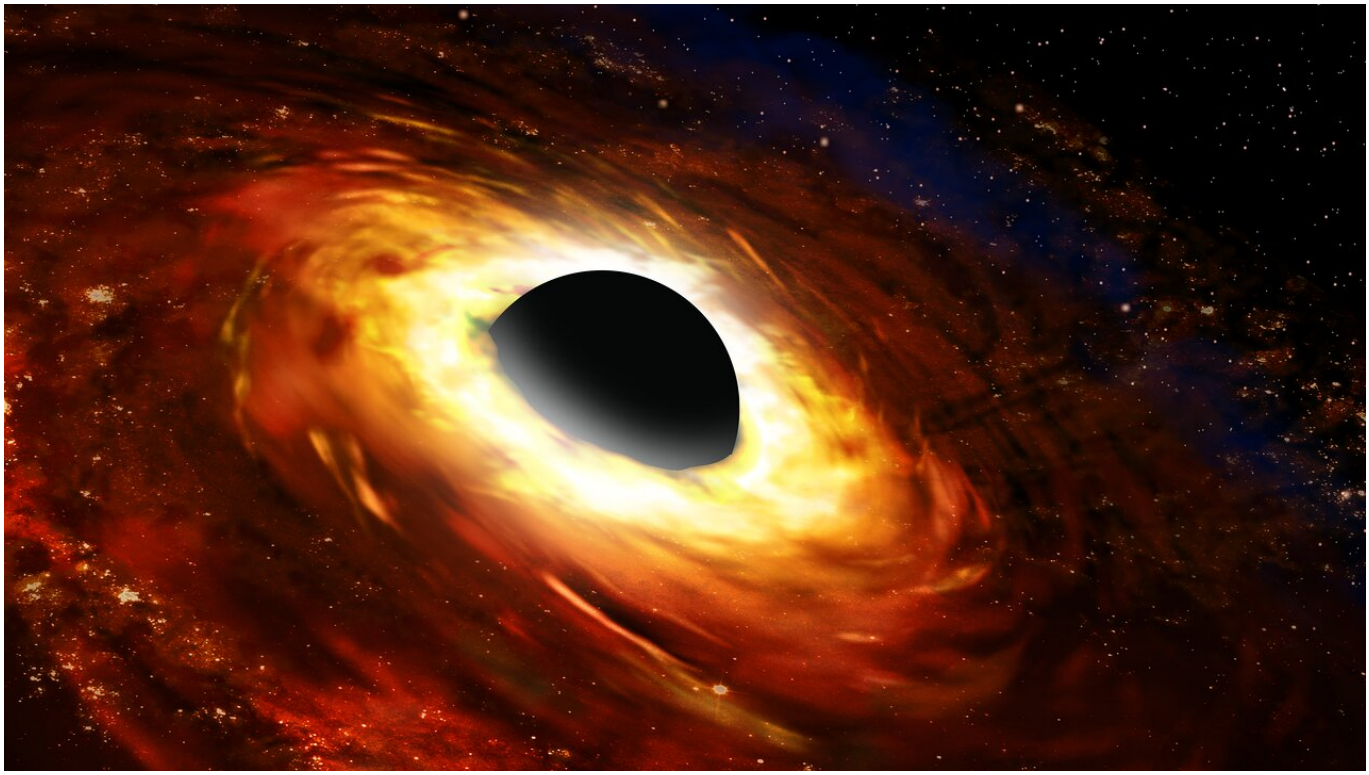
Verdampen alle zwarte gaten helemaal?

Onder invloed van Hawkingstraling verdampen zwarte gaten: als je maar lang genoeg wacht verdwijnen ze, zo is de verwachting. In dit artikel komen we zwarte gaten tegen die in eerste instantie lijken te stoppen met verdampen, in tegenspraak met de heersende consensus. Ik illustreer hoe deze paradox kan worden opgelost door quantummechanische correcties opnieuw in ogenschouw te nemen.



Verdampen alle zwarte gaten helemaal? Afbeelding: NOIRLab/AURA/NSF/P. Marenfeld.

Zwarte gaten en verdamping

Hoe zat het ook alweer met verdampende zwarte gaten? Als snel na de formulering van de algemene relativiteitstheorie werden oplossingen voor deze theorie gevonden die we nu zwarte gaten noemen. In het bijvoeglijk naamwoord ‘zwart’ ligt verankerd dat niets, zelfs

geen licht, uit deze gaten kan ontsnappen.

Wanneer men echter quantummechanische trekjes toevoegt aan de algemene relativiteitstheorie, blijken zwarte gaten niet meer zo zwart te zijn als gedacht: zwarte gaten zenden Hawkingdeeltjes uit! Onder invloed van deze Hawkingstraling is de verwachting dat zwarte gaten, na een hele poos wachten, geheel zullen verdampen. Toch blijken er gevallen te zijn waarin zwarte gaten in eerste instantie niet geheel lijken te verdampen, namelijk voor zogenaamde *extreme* zwarte gaten.

Extreme zwarte gaten: geen totale verdamping?

Extreme zwarte gaten zijn zwarte gaten die heel koud kunnen worden terwijl ze toch een eindig horizonoppervlak blijven hebben. Extreme zwarte gaten kunnen ontstaan door, bijvoorbeeld, voldoende elektrische lading te verkrijgen of door hard te roteren.

In het geval van zwarte gaten in drie ruimtelijke dimensies ontstaat er dan het volgende spanningsvlak: de energie van uitgezonden Hawkingdeeltjes is evenredig met de temperatuur, terwijl de energie van het zwarte gat kwadratisch van de temperatuur afhangt. Gevolg: voor heel hoge temperaturen is de energie van een zwart gat vele malen groter dan die van individuele Hawkingdeeltjes – dat is geen enkel probleem. Voor heel lage temperaturen (maar niet geheel nul) bevat het gehele zwarte gat echter te weinig energie om zelfs maar één Hawkingdeeltje uit te zenden. Betekent dit dat verdamping stopt voor temperaturen die laag genoeg zijn? Of moeten we een van onze aannames herzien?

Hoe we toch iets kunnen berekenen in de quantumzwaartekracht: de zadelpuntbenadering

De oplossing van de paradox blijkt te liggen in de subtiliteit van het interpreteren van de eerdergenoemde quantummechanische trekjes. Om dit te kunnen waarderen moeten we iets leren over zadelpuntbenaderingen.

De gedroomde combinatie van quantummechnica en zwaartekracht, genaamd quantumzwaartekracht, kan wellicht gevat worden in een wiskundig object dat de *partitiefunctie* heet. De partitiefunctie neemt een gewogen som van alle mogelijke configuraties van het system. Als je de partitiesom kan berekenen, dan kun je daar alle

fysisch relevante grootheden uit afleiden – een heel belangrijk object dus! Helaas hebben we voor zwarte gaten in drie ruimtelijke dimensies geen werkende theorie van de quantumzwaartekracht, dus weten we ook niet wat de partitiefunctie is.

Er gloort echter hoop aan de horizon, want wanneer quantummechanische effecten klein zijn kunnen we de partitiefunctie goed benaderen door middel van zogenoemde zadelpunttechnieken. Een zadelpunttechniek komt er grofweg op neer dat je je toelegt op de meest waarschijnlijke (en dominante!) bijdrage aan partitiefunctie en daar niet alle andere mogelijkheden bij optelt, wat heel lastig is.

Zadelpuntpijn

Laat ik de paradox herhalen: sommige zwarte gaten lijken vanaf een bepaalde lage temperatuur (bijna de extreme temperatuur) geen straling meer uit te zenden, waardoor ze eigenaardig genoeg lijken te stoppen met verdampen. De manier waarop dit alles is berekend, is met behulp van zadelpuntbenaderingen.

Wat blijkt? Precies voor de lage temperatuur waar het zwarte gat lijkt te stoppen met verdampen blijken zadelpuntcorrecties die je normaliter achterwege kan laten dominant te worden! Deze correcties vertellen je dat de benadering niet langer kan vertrouwen en niet meer weg kan komen met zadelpuntbenaderingen. Deze correcties blijken gerelateerd te zijn aan zogeheten ijksymmetrieën van het system.

Alhoewel snel roterende zwarte gaten, waarvoor deze resultaten in principe relevant zijn, in het heelal bestaan, is de voornaamste lering die we kunnen trekken uit deze paradox dat het belangrijk is om correcties (door ijksymmetrieën) van de partitiefunctie in gedachten te houden. Door schijnbare paradoxen in de natuurkunde te bestuderen leren we steeds beter welke technieken in welke situaties wel en niet bruikbaar zijn.