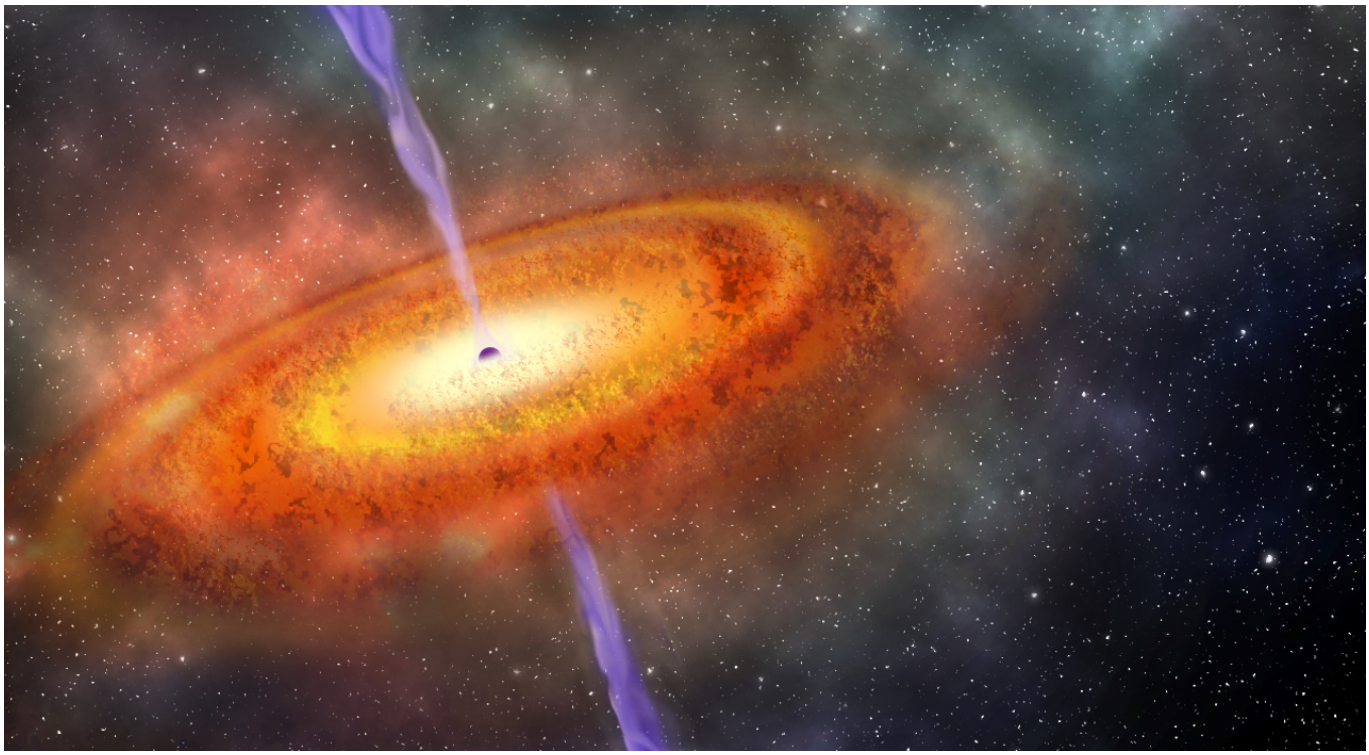
Hawkingstraling: ruis of informatie?

Oud QU-redacteur Watse Sybesma doet tegenwoordig onderzoek op IJsland, onder meer naar zwarte gaten. Enkele maanden geleden publiceerde hij een wetenschappelijk artikel over deze allesverslinders, en natuurlijk vroegen wij als redactie aan Watse of hij op onze site iets meer over zijn onderzoek wilde vertellen. Dat resulteerde zelfs in een serie van twee delen; vandaag brengt hij in deel 1 in herinnering wat de 'Pagetijd' van een zwart gat is, en waarom die tijd zo interessant is – zoals gebruikelijk, aan de hand van een fictief dagboek vol geheimen.



Afbeelding 1. Een asrtist's impression van een zwart gat. Hoelang moet je wachten voor je kunt achterhalen wat er in een zwart gat is gevallen? Afbeelding: Robin Dienel/Carnegie Institution for Science.

Hoelang moet je wachten voor je weet wat er in een zwart gat viel?

Stel je voor dat je almachtige aartsvijand probeert om je dagboek, tjokvol geheimen, te

ontfutselen. Om deze geheimen te bewaren, gooi je je dagboek in een zwart gat. Een mooie manier om informatie te vernietigen, lijkt het, maar deze oplossing kan zich tegen je keren doordat men in principe via Hawkingstraling, uitgezonden door het zwarte gat, objecten die door het zwarte gat verslonden zijn – zoals een dagboek – kan reconstrueren. In dit artikel vragen we ons af: hoelang duurt het minimaal voordat je aartsvijand met behulp van Hawkingstraling de geheimen uit het dagboek kan ontfutselen?

Het antwoord op die vraag blijkt van het soort zwart gat af te hangen – preciezer: van de leeftijd ervan. In deel één van dit tweeluik bestuderen we zware zwarte gaten die 'jong' zijn. In deel twee zullen we zware zwarte gaten bestuderen die 'oud' zijn.

Informatie en (Hawking)straling

Sherlock Holmes is een expert in het deduceren van feiten aan de hand van informatie. Wanneer jij je dagboek in brand zet, zou hij waarschijnlijk aan de hand van de rook, zonder de bron te zien, kunnen afleiden dat jij een boek verbrandt. Moeilijker wordt het om te raden wat er in het boek staat. Maar stel dat je een *almachtige* aartsvijand hebt, dan kan die in principe – volgens de natuurwetten – aan de hand van de rook, de as en alles wat er verder overblijft na de verbranding zelfs deduceren wat er in je dagboek staat.

Wanneer je, om privacyredenen, je dagboek niet verbrandt maar in een zwart gat gooit, kan je almachtige aartsvijand aan de hand van de Hawkingstraling, die een zwart gat volgens de quantummechanica uitzendt, hetzelfde trucje uithalen en je dagboek mét geheimen reconstrueren. Maar hoelang moet je almachtige aartsvijand minimaal wachten?

Zware zwarte gaten kunnen we temmen, lichte (nog) niet

Het extreme karakter van zwarte gaten zorgt ervoor dat quantummechanische effecten verweven raken met de relativiteitstheorie. Een bekend gevolg hiervan is bijvoorbeeld dat zwarte gaten Hawkingstraling uitspuwen. Een zwart gat verliest hierdoor massa en verdampt totdat het uiteindelijk is verdwenen. Voor zwarte gaten in ons universum geldt: hoe kleiner het zwarte gat, hoe hoger de temperatuur van de Hawkingstraling.

Het is een raadsel hoe verdampende zwarte gaten zich in volledige algemeenheid gedragen.

Maar gelukkig blijkt het in het geval van heel zware (en grote) zwarte gaten zo te zijn dat quantummechanische effecten relatief klein zijn, zolang je de zwarte gaten als geheel bestudeert en niet te veel inzoomt op kleine details. Hiermee hangt samen dat de Hawkingstraling van grote zwarte gaten relatief koud is. Daardoor verloopt het verdampingsproces traag en is het in het algemeen relatief goed te beschrijven.

Wat we dus willen doen, is het bestuderen van zwarte gaten voordat ze te klein worden, omdat we dan de quantummechanische correcties nog kunnen temmen. Maar wanneer is een zwart gat precies zwaar genoeg? Een goede vuistregel is: als de massa van het zwarte gat heel veel groter is dan de Planckmassa. Dit heeft ermee te maken dat quantummechanische correcties omgekeerd evenredig zijn met (machten) van dit getal. Of met andere woorden: als de verhouding van de massa van het zwarte gat en de Planckmassa een heel groot getal is, dan hebben we de boel goed onder controle, omdat de correcties klein zullen zijn.

Hoe redelijk is deze vuistregel? Voor een astrofysisch zwart gat met een massa gelijk aan die van onze zon blijkt de verhouding 10^{38} te zijn, een getal van bijna 40 cijfers, dus daar is het zonder meer toegestaan om ons te beperken tot zwakke quantummechanische correcties. Verder blijkt het ook zo te zijn, door een soortgelijke omgekeerd evenredige relatie tussen zwartegatenmassa en Hawkingstralingstemperatuur, dat zwarte gaten die zwaar worden geboren, het overgrote deel van hun leven, totdat ze geheel verdampt zijn, ook zwaar genoeg zullen blijven.

Jonge versus oude zwarte gaten

We willen dus zware zwarte gaten bestuderen omdat we anders geen theoretisch houvast hebben. Nu terug naar de vraag: hoelang duurt het minimaal voordat je aartsvijand met behulp van Hawkingstraling de geheimen uit je dagboek kan ontfutselen? Het verbazingwekkende antwoord is dat dit niet alleen afhangt van hoe groot bijvoorbeeld het dagboek en het zwarte gat zijn, maar ook van de *leeftijd* van het zwarte gat. Om dit te begrijpen moeten we de zogenaamde Pagekromme te bespreken. Aangezien dit begrip op deze site al eerder is besproken in dit artikel, beperken we ons hier tot een kleine opfrisbeurt van de resultaten – zie het genoemde artikel voor verdere details.



Afbeelding 2. Don Page. De bedenker van de Pagekromme en de Pagetijd. Foto: Wikimedia Commons.

Don Page, de naamgever van de Pagekromme, schreef in 1993 het wetenschappelijke artikel "Informatie in de (Hawking)straling van zwarte gaten". In dit werk nam hij aan dat informatie in een zwart gat niet verloren kan gaan, en concludeerde dat de straling van een pasgeboren verdampend (en zwaar) zwart gat nauwelijks informatie bevat over wat er ooit in het zwarte gat is gevallen of wat het ontstaan van het zwarte gat zelf heeft veroorzaakt. Het interessante is, dat Page tegelijkertijd ook liet zien dat op een zeker moment het verdampende zwarte gat een leeftijd bereikt, laten we dit 'oud' noemen, waarop de Hawkingstraling opeens wél informatie bevat over wat het zwarte gat heeft gevormd en wat er ooit in het zwarte gat is gevallen. Een belangrijke aanname daarbij is dat ook het oude zwarte gat nog steeds zwaar moet zijn. Deze overgang van 'jong' naar 'oud', dus ook de overgang van géén informatie kunnen reconstrueren naar wél informatie kunnen reconstrueren, vindt plaats op de zogenaamde *Pagetijd*.

Met andere woorden, als je je dagboek in een jong en zwaar zwart gat gooit, moet je almachtige aartsvijand in ieder geval tot de Pagetijd wachten voordat hij of zij je geheimen kan ontfutselen. Typisch vindt de Pagetijd plaats op grofweg de helft van het leven van een zwart gat. De tijd die het kost voor een zwart gat met de massa van onze zon om te

verdampen is op zijn zachtst gezegd flink lang: zo'n 10^{66} jaar. Om dit in perspectief te zetten: de oerknal vond 'pas' zo'n 10^{10} jaar geleden plaats. Als je je geheimen dus zo lang mogelijk wilt houden, zoek dan een zwaar en pasgeboren zwart gat om je dagboek in te slingeren!

Maar wat gebeurt er nu als jij je vergist en je dagboek per ongeluk in een zwaar maar *oud* zwart gat valt? Het interessante antwoord op die vraag bespreken we in deel 2 van deze serie, dat op 29 oktober op deze site verschijnt.