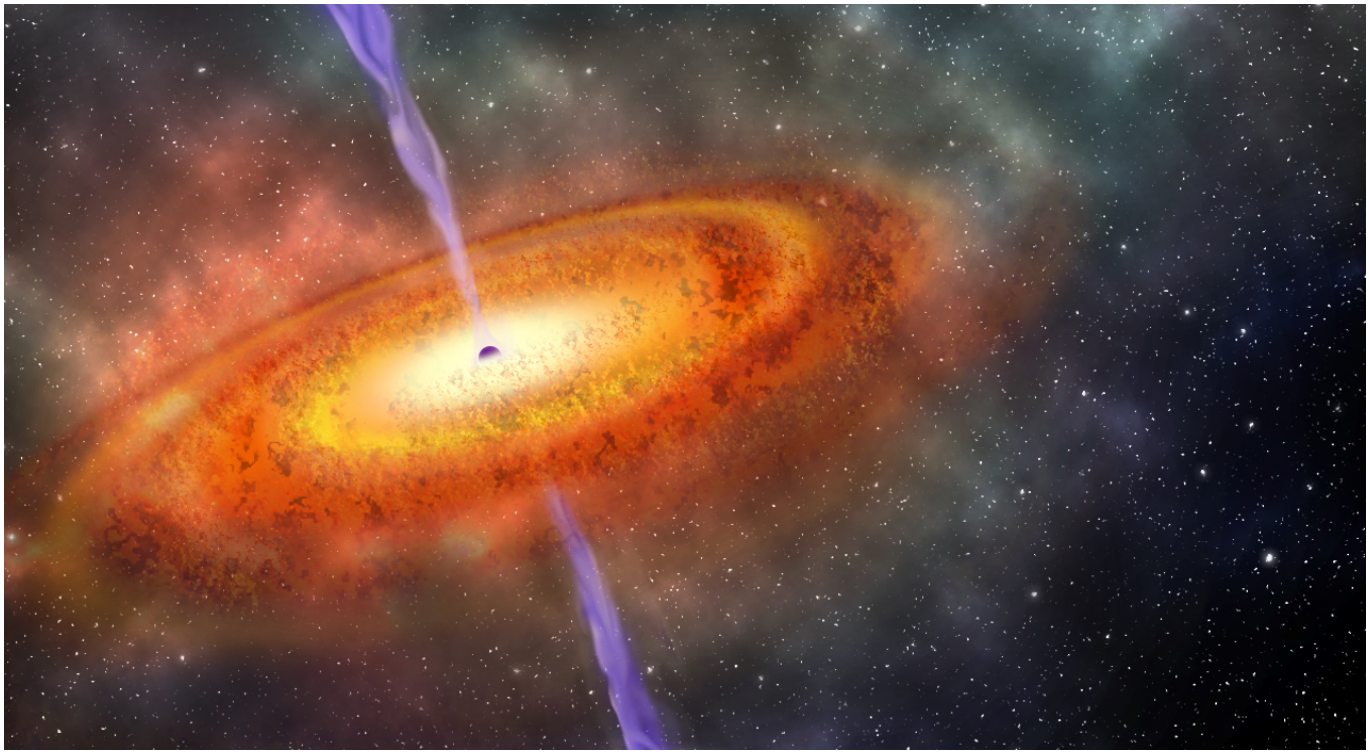
Hawkingstraling: ruis of informatie? (2)

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 2 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.

In mijn vorige artikel besprak ik dat het antwoord op de vraag "Hoelang moet je wachten

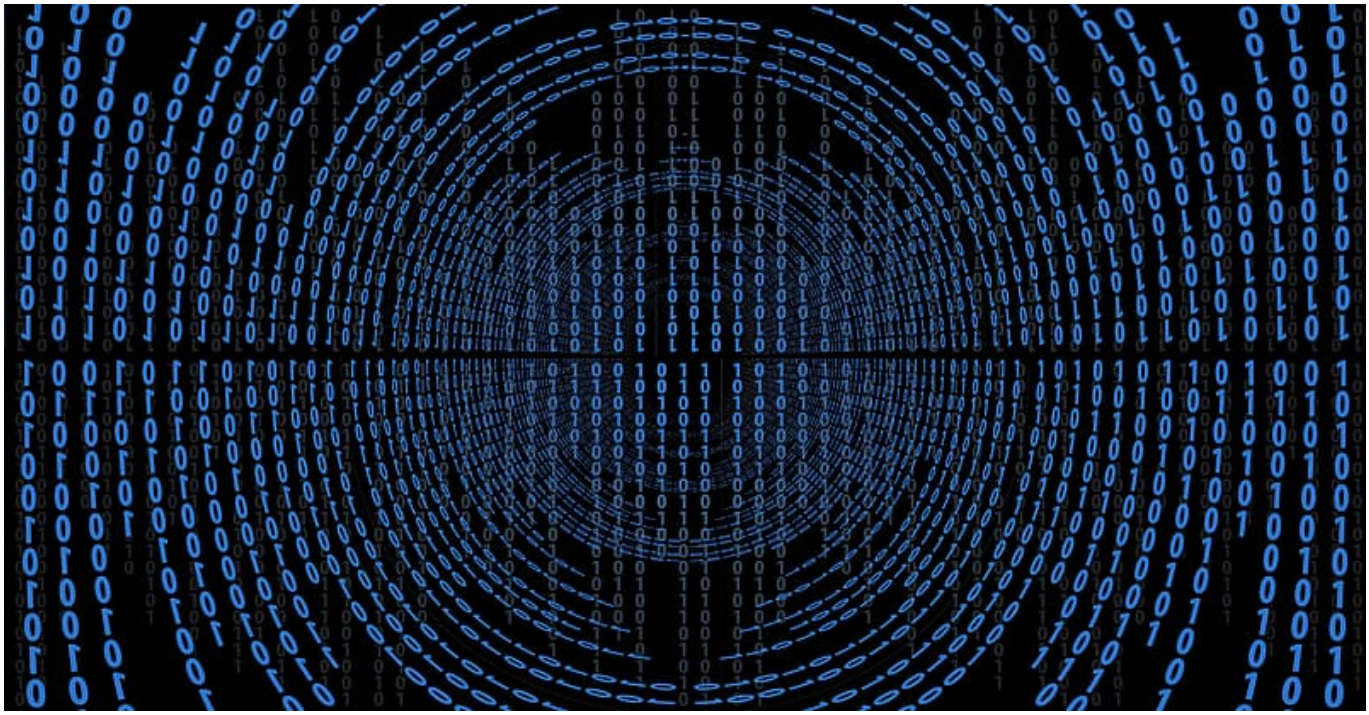
voor je weet wat er in een zwart gat viel?" sterk afhangt van of het zwarte gat *jong* of *oud* is. Het bleek dat de Hawkingstraling die een jong zwart gat uitzendt namelijk vrijwel geen informatie bevat over wat er ooit in dat zwarte gat viel. Met andere woorden: voor jonge zwarte gaten is het hopeloos om er ooit achter te komen wat er allemaal in is gevallen. Maar voor de speurders gloort er hoop aan de horizon, want voor oude zwarte gaten blijkt het verhaal heel anders! In dit artikel geef ik antwoord op de vraag: hoelang moet je minimaal wachten voordat je kan ontfutselen wat er in een *oud* zwart gat viel?

Hawkingstraling en informatie

Een 'jong' zwart gat gaat over in een 'oud' zwart gat als de zogenaamde *Pagetijd* is bereikt, grofweg halverwege de totale leeftijd van het zwarte gat. Op dat moment gebeurt er iets belangrijks. Don Page merkte op (in dit artikel) dat tot aan de Pagetijd (die natuurlijk pas later naar hem vernoemd werd) de grootste hoeveelheid informatie zich in het zwarte gat zelf moet bevinden. Op de Pagetijd verandert dat. De informatie begint het zwarte gat uit te sijpelen!

Dat kan doordat de Hawkingstraling die uit het zwarte gat komt na de Pagetijd, dus bij een oud zwart gat, informatie draagt door middel van verstrengeling met eerder uitgezonden Hawkingstraling. Door deze straling te verzamelen kun je, *in principe*, informatie herleiden over wat er ooit in het zwarte gat is gevallen.

Laat ik dat verduidelijken. Stel: je wilt *precies* weten hoe een zwart gat gevormd is. Dan moet je vanaf de geboorte van het zwarte gat *alle* Hawkingstraling opvangen. Totdat de Pagetijd is bereikt, heb je in feite niets aan die Hawkingstraling. Na de Pagetijd blijkt nieuw opgevangen Hawkingstraling verstrengeld te zijn met eerder – dus ook vóór de Pagetijd – uitgezonden Hawkingstraling. Die 'verstrengeling' houdt in dat een vroeg uitgezonden deeltje en een laat uitgezonden deeltje *samen* een heel klein beetje informatie bevatten – al is het niet mogelijk om die informatie af te lezen uit een van de deeltjes *afzonderlijk*. Wanneer het zwarte gat helemaal is verdampt, kun je uit de verstrengeling van alle deeltjes samen in principe afleiden wat het zwarte gat heeft gevormd en wat er ooit met het zwarte gat is gebeurd. Ik benadruk hier *in principe*, omdat dit makkelijker gezegd is dan gedaan. Zelfs als je al in staat bent alle straling op te vangen en ergens op te slaan, is het verre van duidelijk hoe je te werk moet gaan om het decoderen te beginnen.



Afbeelding 2. Informatie uit een zwart gat. Als je maar lang genoeg wacht komt alle informatie weer uit een zwart gat – al zal het decoderen niet meevallen! Afbeelding: Pikrepo.

Scramblingtijd: tijd om te verhaspelen

We weten nu dat oude zwarte gaten een tipje van de sluier oplichten aan de hand van de Hawkingstraling die ze uitzenden. Dus als iemand jouw dagboek, dat je in het zwarte gat gooide toen het zwarte gat nog jong was, wil decoderen, dan moet deze persoon eerst wachten tot de Pagetijd verstreken is. Maar hoelang duurt het vervolgens minimaal voordat je een object kan decoderen uit een oud zwart gat?

Laten we de opzet een beetje versimpelen. Stel: je gooit je dagboek op een gegeven moment ná het verstrijken van de Pagetijd in het zwarte gat. Het blijkt dan dat iemand wederom minimaal een bepaalde tijd moet wachten voordat deze persoon jouw dagboek kan decoderen – een tijd die de *scramblingtijd* heet. Deze tijdsschaal hangt hoofdzakelijk af van de massa van het zwarte gat in kwestie en is ongevoelig voor hetgeen je erin gooit. Voor een zwart gat met de massa van onze zon is de scramblingtijd grofweg een tiende milliseconde. Dat is extreem kort vergeleken met de tijd die het een zwart gat kost om te verdampen!

Het Engelse woord ‘scrambling’ laat zich in deze context het best vertalen naar ‘verhaspelen’. Je kan scramblingtijd zien als de minimale tijd die een zwart gat nodig heeft om dingen die in een zwart gat vallen te verwerken.

Klonen is verboden

Stel dat je heel veel pagina's uit je dagboek scheurt voor je het in het zwarte gat slingert. Je zou verwachten dat, als je maar genoeg pagina's verwijdert, iemand jouw dagboek zou moeten kunnen decoderen in een tijd die korter is dan de scramblingtijd. Een voor de hand liggende conclusie – minder informatie zou je immers sneller moeten kunnen decoderen – maar niet de juiste! Als je dat wél zou lukken, dan heb je succesvol de quantummechanica ontkracht… niet heel waarschijnlijk, dus.

De reden hiervoor is dat de informatie die we in het zwarte gat gooien op het diepste niveau quantummechanisch van aard is – ons dagboek was dus een metafoor voor *quantum*informatie. In dit artikel van Patrick Hayden en John Preskill, die een soortgelijke situatie als hierboven beschouwden, werd het volgende opgemerkt. Stel dat iemand inderdaad jouw dagboek kan decoderen in een kortere tijd dan de scramblingtijd. Wanneer dat gebeurt, kan deze persoon vervolgens het zwarte gat in duiken om jouw oorspronkelijke dagboek te bemachtigen. Wanneer dat lukt is een van de basisgevolgen van de quantummechanica geschonden: quantuminformatie kan niet gekopieerd worden! Je kunt dus niet én het dagboek, én de informatie uit de Hawkingstraling in je bezit hebben.

De bovengenoemde wetenschappers rekenden uit dat het precies na het verstrijken van de scramblingtijd onmogelijk wordt om een zwart gat in te duiken om het oorspronkelijke dagboek te bemachtigen. Het dagboek blijkt dan onontkomelijk te worden verzwolgen door de singulariteit die ten grondslag aan het zwarte gat ligt!

Het antwoord op de vraag "Hoelang moet je wachten voor je weet wat er in een zwart gat viel?" luidt al met al dus als volgt. Wanneer je informatie uit een *jong* zwart terug wilt krijgen, dan moet je op z'n minst tot de Pagetijd wachten. Wanneer je informatie die ná de Pagetijd in een zwart is gevallen terug wilt krijgen, dan moet je op z'n minst de véél kortere scramblingtijd wachten. Met andere woorden: van een oud zwart gat moet je het leren!