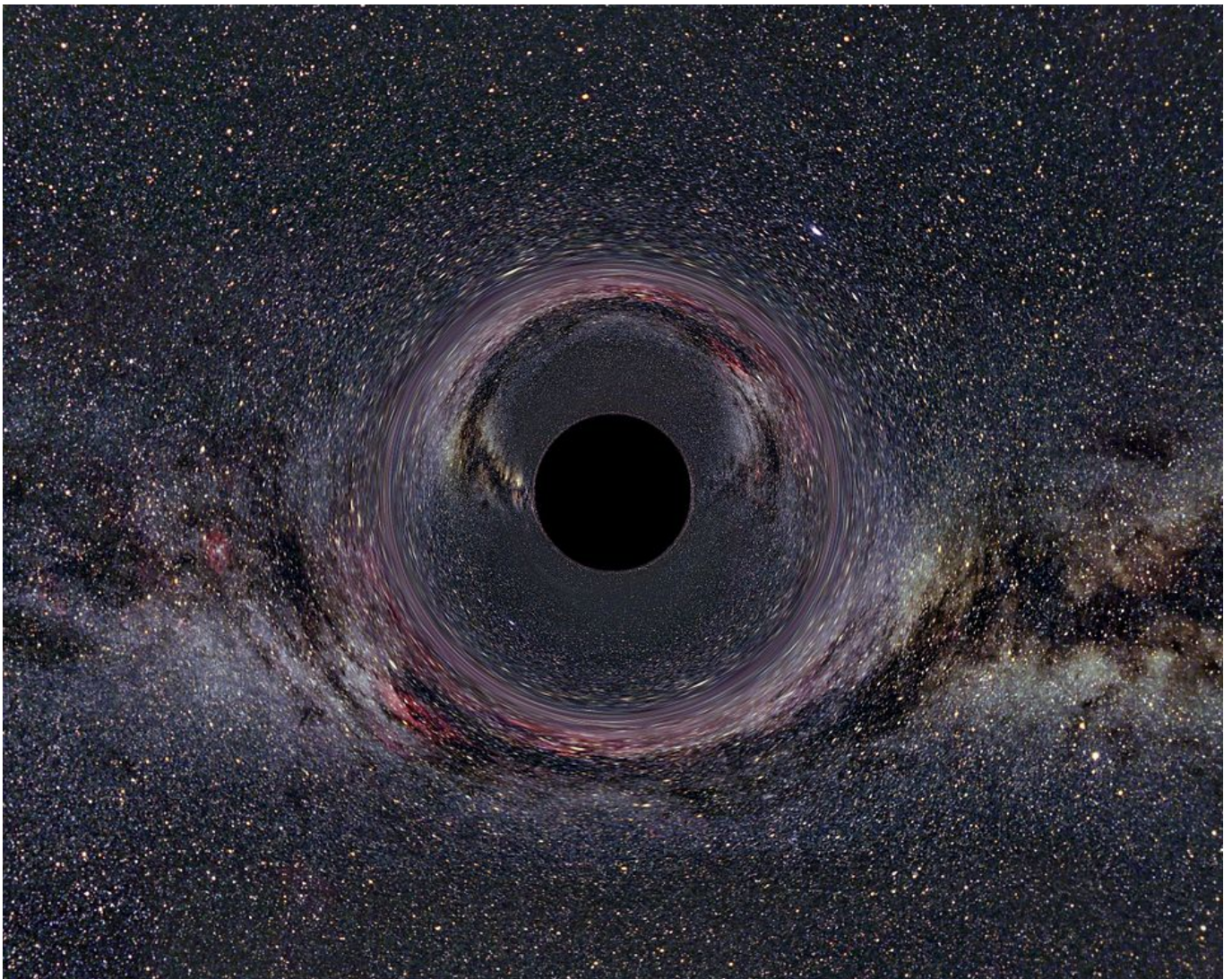


## Kosmische censuur

*Wat zit er achter de horizon van een zwart gat? Het principe van 'kosmische censuur' stelt dat we het antwoord op die vraag misschien wel nooit kunnen geven.*



Afbeelding 1. Wat is er achter de horizon van een zwart gat? Afbeelding: [Ute Kraus](#), Institute of Physics, Universität Hildesheim, [Space Time Travel](#).

Volgens Einsteins [algemene relativiteitstheorie](#) wordt de ruimtetijd gekromd door aanwezige

materie, en reageren andere massa's vervolgens weer op die kromming – een reactie die wij kennen onder de meer alledaagse naam 'zwaartekracht'. Een oplossing van Einsteins vergelijkingen is dus een bepaalde meetkundige vorm die consistent is met de verdeling van energie of massa in de ruimtetijd, en die zo beschrijft hoe de ruimte om bijvoorbeeld de zon gekromd is. Met zo'n oplossing kunnen we dan het gedrag van (in dit voorbeeld) de aarde voorspellen.

## Singulariteiten

In sommige oplossingen van de Einsteinvergelijkingen, bijvoorbeeld de oplossing die de ruimte in en rondom een zwart gat beschrijft, zitten echter bijzondere punten: de zwaartekracht zou daar oneindig groot moeten zijn, en het punt zou een oneindige dichtheid moeten hebben. Zo'n punt noemen we een 'singulariteit'.

Een dergelijke singulariteit is nogal vreemd, en onze natuurwetten zijn niet geschikt om de natuurkunde in een singulariteit te beschrijven. We weten niet wat er zou gebeuren als we een singulariteit tegenkomen in ons heelal: als we de bestaande natuurwetten letterlijk nemen zou causaliteit geschonden kunnen worden, en de natuurkunde zou zijn voorspellend vermogen kunnen kwijtraken.

## Deterministisch?

Om te zien wat daarmee bedoeld wordt, moeten we ons eerst realiseren dat de klassieke natuurkunde *deterministisch* is: als je de natuurwetten kent die een bepaald systeem beschrijven, en je kent de begincondities, dan kun je de evolutie van het systeem tot oneindig ver in de toekomst voorspellen.

Wat gaat er dan mis in een singulariteit? We noemden al het voorbeeld van een zwart gat: in de vergelijkingen die een zwart gat beschrijven, kunnen we zien dat er zo'n singulariteit is, precies midden in het zwarte gat. Om in te zien wat er misgaat, kunnen we ons voorstellen wat er gebeurt als we in een zwart gat vallen. We vallen eerst voorbij de **horizon**, het 'point of

no return'. We kunnen nu nooit meer uit het zwarte gat ontsnappen, maar Einsteins vergelijkingen werken op deze plek nog steeds prima. Als we nog verder vallen, dan passeren we nog een grens, die meer wiskundig van aard is: de zogeheten *Cauchy-horizon*. In Einsteins vergelijkingen zijn vanaf dit punt ineens allerlei oplossingen mogelijk voor de ruimtetijd achter deze horizon. Onze toekomst wordt dus niet meer eenduidig door de vergelijkingen bepaald, en dit wegvallen van determinisme is een grote zonde in de natuurkunde.



---

Afbeelding 2. Roger Penrose. Afbeelding: Cirone-Musi, Festival della Scienza.

## Kosmische censuur

Als oplossing voor dit probleem formuleerde de theoretisch natuurkundige Roger Penrose in 1969 de 'strong cosmic censorship conjecture', oftewel het 'vermoeden van sterke kosmische censuur'. Volgens dit principe kunnen singulariteiten niet bestaan: de ruimtetijd achter de Cauchy-horizon houdt simpelweg op te bestaan. Deze 'sterke' versie van Penroses vermoeden is waarschijnlijk niet correct, omdat die tot allerlei andere wiskundige problemen leidt. Een 'zwakke' versie is echter nog altijd populair en onderwerp van veel onderzoek.

Het principe van zwakke kosmische censuur stelt dat singulariteiten altijd verborgen moeten

zijn achter een (gewone) horizon – ‘naakte’ singulariteiten zijn verboden. We hebben hierboven gezien dat dit bij zwarte gaten inderdaad het geval is. Dat betekent dat we nooit oog in oog komen te staan met een singulariteit – of althans niet aan de buitenwereld kunnen vertellen wat er dan gebeurt – terwijl de natuurwetten daarbuiten prima werken. Als één of andere gemene wetenschapper besluit ons op de hak te nemen door zo’n naakte singulariteit te proberen te bouwen, dan moet hij heel veel massa verzamelen tot de dichtheid oneindig groot wordt – maar in dat proces zal er volgens het vermoeden altijd een horizon moeten ontstaan die ons beschermt voor de gevolgen van de singulariteit.

### [Van zwakke censuur naar zwakke zwaartekracht](#)

Een volledig bewijs voor kosmische censuur is er vooralsnog niet, maar er zijn wel tests voor. Eén van die tests is een link die recentelijk gelegd is tussen het ‘vermoeden van zwakke kosmische censuur’ en een ander vermoeden dat het ‘vermoeden van zwakke zwaartekracht’ genoemd wordt. Wat dat is en hoe de relatie met kosmische censuur precies werkt, zal ik volgende maand in het slot van dit tweeluik nader toelichten.