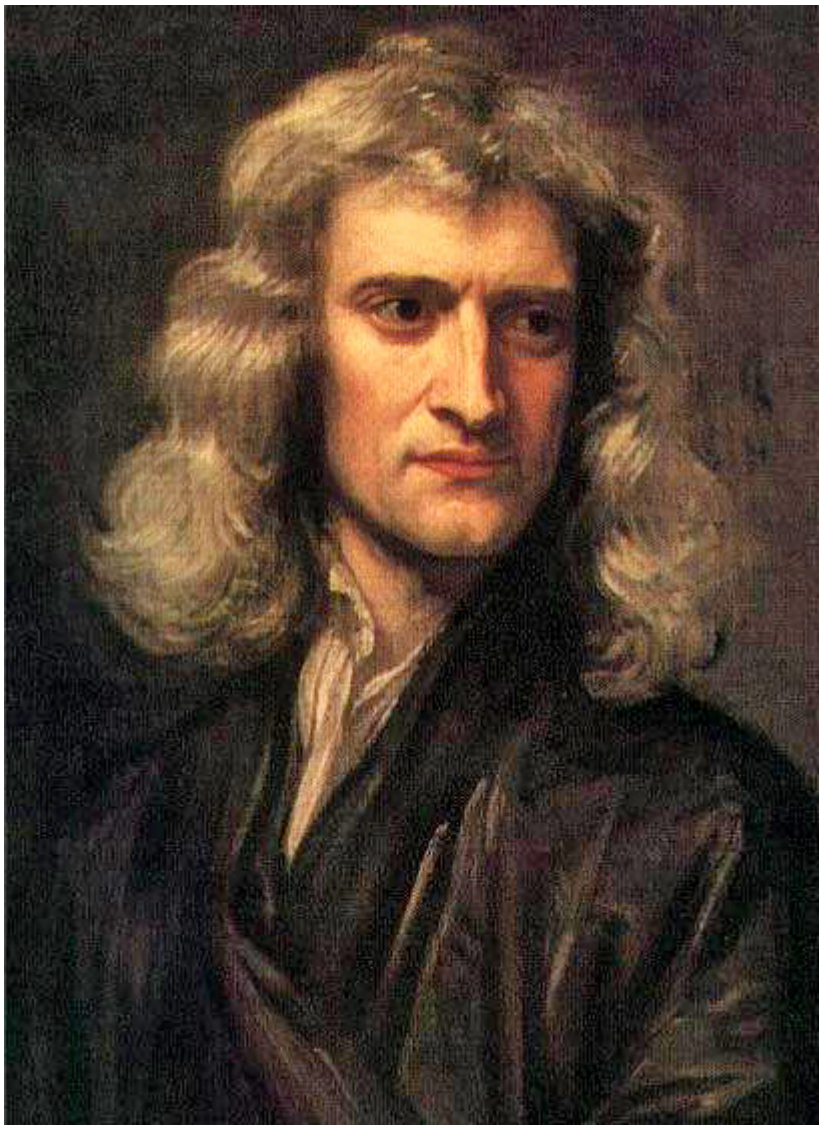
Hoe snel is de zwaartekracht?

Volgens Einsteins algemene relativiteit beweegt de zwaartekracht met de snelheid van het licht, maar volgens alternatieve theorieën hoeft dat niet zo te zijn. Hoe kunnen we vaststellen wat juist is? Neutronensterren maken het mogelijk deze vraag te beantwoorden.



Afbeelding 1. Isaac Newton. Schilderij van Godfrey Kneller.

That one body may act upon another at a distance through a vacuum without the

> mediation of anything else, by and through which their action and force may be conveyed from one another, is to me so great an absurdity that, I believe, no man who has in philosophic matters a competent faculty of thinking could ever fall into it.
>
> – Isaac Newton 1692

In de bovenstaande quote geeft Isaac Newton toe dat zijn theorie van de zwaartekracht fysisch bizarre resultaten kan geven. De crux van het probleem is dat veranderingen in de zwaartekracht direct gevoeld kunnen worden door alle objecten, ongeacht de afstand tussen die objecten. Dit probleem werd pas meer dan 200 jaar na deze quote opgelost door Albert Einstein, wiens algemene relativiteit een harde grens stelde aan de snelheid van informatie, en dus ook aan veranderingen in de zwaartekracht: de lichtsnelheid. Maar deze grens is een postulaat. Er is geen bewijs vanuit fundamentelere fysische principes. Daarom laten veel alternatieve theorieën voor zwaartekracht dit postulaat los, en staan ze toe dat die kracht met een andere snelheid voortbeweegt dan licht.

Om zulke theorieën te testen, moeten we de snelheid van de zwaartekracht meten. Dit was lange tijd een lastig vraagstuk, maar dankzij de eerste directe meting van zwaartekrachtsgolven is tegenwoordig een stuk meer mogelijk. Alleen zwaartekrachtsgolven meten is helaas niet genoeg, omdat het bepalen van de afstand naar de bron erg onnauwkeurig is. Dit probleem wordt verholpen als we een proces waarnemen dat zowel zwaartekrachtsgolven als licht uitzendt. Gelukkig bestaan er hemellichamen die precies dit mogelijk maken: botsende neutronensterren!

Als twee neutronensterren om elkaar heen draaien, dan trekken ze elkaar kort voordat ze samensmelten uit elkaar. Deze verstoorde massa verzamelt zich in een donutvorm rondom de twee kernen, en vanuit de donut kunnen hoog-energetische *jets* ontstaan. Een jet is een gerichte, gebundelde stroom van gas die ontstaat als materie weggeslingerd wordt door elektromagnetische velden rondom een hemellichaam. Deze jets kunnen dan gamma-straling produceren, tot op een paar seconden na het daadwerkelijk samensmelten van de neutronensterren. Als we nu kort na elkaar een zwaartekrachtsgolf en een gamma-signaal waarnemen, dan kunnen we berekenen hoeveel sneller of langzamer dan het licht de zwaartekracht is.

Afbeelding 1. Het sterrenstelsel NGC4993. Waarnemingen door de Hubble-telescoop, die de bijbehorende lichtflits van GW170817 laten zien. Credits: NASA and ESA; Acknowledgment: A. Levan (U. Warwick), N. Tanvir (U. Leicester), and A. Fruchter and O. Fox (STScI)

Op 17 augustus 2017 namen drie detectoren een zwaartekrachtsgolf waar die overeenkwam met het samensmelten van twee neutronensterren. Een signaal van gamma-straling werd 1,7

seconden later gedetecteerd, en andere optische metingen konden het oorspronkelijke sterrenstelsel aanwijzen als NGC 4993 (zie afbeelding 1) [1]. De afstand naar NGC 4993 is ongeveer 140 miljoen lichtjaar, of 4,3 x 10^{21} km. Over deze gigantische afstand was het verschil in aankomsttijd minder dan twee seconden! Nu is geen enkele meting in de natuurkunde ooit 100% nauwkeurig, maar zelfs met een pessimistische schatting konden wetenschappers de verhouding tussen de zwaartekrachtssnelheid en de lichtsnelheid vaststellen op 1 met een foutmarge van 3 x 10^{-15} omlaag en 7 x 10^{-16} omhoog. Oftewel: als de verhouding niet precies 1 is, verschilt die niet eerder dan in het 15^{e} of 16^{e} decimaal achter de komma!

Deze meting alleen kon verschillende groepen alternatieve zwaartekrachttheorieën uitsluiten, en de precisie van de meting zal met iedere komende combinatie-waarneming steeds beter worden. Zwaartekrachtsgolven laten ons voor het eerst in de geschiedenis meekijken bij de heftigste processen in het heelal, en met steeds meer waarnemingen kunnen we nu eindelijk de grenzen van de algemene relativiteit onderzoeken.

---

*[1] LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, Fermi Gamma-Ray Burst Monitor, and INTEGRAL. "Gravitational waves and gamma-rays from a binary neutron star merger: GW170817 and GRB 170817A." ApJL **848** L13 (2017).*