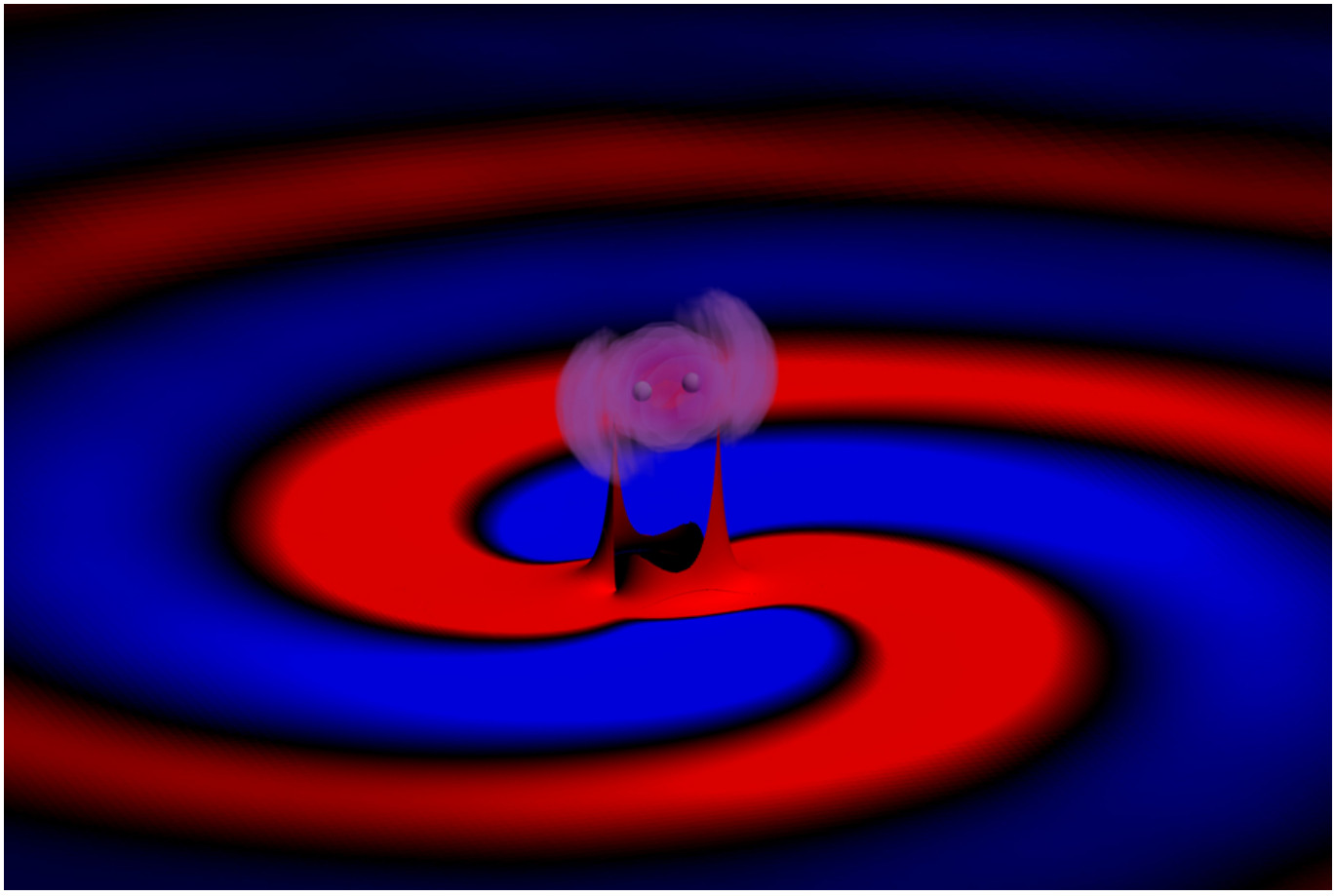
Donkerematerie modellen testen met waarnemingen

Wetenschappers kijken reikhalzend uit naar toekomstige detectoren voor zwaartekrachtgolven. Die extreem gevoelige detectoren zouden een schat aan gegevens moeten opleveren, die onder andere licht kunnen werpen op het mysterie van donkere materie. Zoals natuurkundigen echter laten zien in een recente publicatie in *Physical Review Letters*, hoeven we niet alleen maar te wachten: met behulp van een slim model en de al beschikbare gegevens kunnen sommige van de meer extreme modellen voor donkere materie nu al worden getest.



Donkere materie en zwaartekrachtgolven. Als twee zwarte gaten (de paarse bolletjes)

samensmelten in een omgeving met donkere materie (paarse wolk), heeft dit een duidelijk effect op de uitgaande zwaartekrachtgolven (rood en blauw). Afbeelding door de auteurs van de publicatie.

Donkere materie wordt verondersteld het grootste deel van de materie in het universum uit te maken, maar heeft alleen via zwaartekracht interactie met gewone materie. In de buurt van zwarte gaten kunnen zwaartekrachtinteracties de groei van dichte structuren van donkere materie in gang zetten. Als deze structuren blijven bestaan tijdens de spiraalvormige toenadering van twee samensmeltende zwarte gaten, kunnen ze de dynamiek van het binaire systeem veranderen en sporen achterlaten in het signaal van zwaartekrachtgolven.

Een nieuw model, ontwikkeld door UvA-IoP- en GRAPPA-onderzoeker Rodrigo Vicente in samenwerking met Soumen Roy (UC Louvain), Josu Aurrekoetxea (MIT), Katy Clough (Queen Mary-universiteit Londen) en Pedro Ferreira (Universiteit van Oxford), voorspelt hoe zwaartekrachtgolven eruit zouden zien als ze geproduceerd zouden worden door zwarte gaten die zich door een dichte wolk van donkere materie bewegen in plaats van door de lege ruimte.

Eerdere studies hadden al aangetoond dat zwaartekrachtgolven ons kunnen helpen begrijpen hoe gewone materie en donkere materie zich gedragen in de extreme zwaartekrachtvelden rond zwarte gaten. Het meeste onderzoek op dit gebied richtte zich tot nu toe echter op toekomstige waarnemingen met ruimtegebaseerde detectoren zoals LISA. Omdat deze experimenten langere signalen en verschillende soorten bronnen zullen waarnemen, wordt verwacht dat ze een ongeëvenaarde gevoeligheid voor dergelijke effecten zullen bieden.

Het recente onderzoek verkende daarentegen wat er al te leren valt over specifieke modellen van donkere materie met behulp van de huidige zwaartekrachtgolfgegevens. De onderzoekers gebruikten hun model om te testen of signalen die op aarde zijn gedetecteerd overeenkomen met de voorspelde patronen van afdrukken van donkere materie. Daartoe pasten ze het model toe op openbaar beschikbare gegevens die zijn vastgelegd door de LIGO-Virgo-KAGRA zwaartekrachtgolfobservatoria (LVK) tijdens hun eerste drie observatieperiodes. Hoewel LVK in deze periode veel zwaartekrachtgolfsignalen detecteerde, concentreerde het team zich op de duidelijkste gevallen: 28 gebeurtenissen die werden veroorzaakt door de samensmelting van binaire zwarte gaten.

Voor elke gebeurtenis vergeleken de onderzoekers het waargenomen zwaartekrachtgolfsignaal met hun voorspelling van hoe diezelfde gebeurtenis eruit zou zien als het zich in een donkere-materieomgeving zou voordoen. Ze vergeleken het ook met de standaardverwachting: een signaal dat wordt geproduceerd door zwarte gaten die in een vacuüm samensmelten.

Van de 28 geanalyseerde signalen waren er 27 consistent met het standaard vacuümscenario. Eén gebeurtenis, GW190728, viel op omdat het donkere-materiemodel de data beter beschreef dan het standaardmodel van zwarte gaten die samensmelten in de lege ruimte. Dit is echter nog geen bewijs voor donkere materie. De statistische significantie is te laag en verder onafhankelijk onderzoek is nodig.

Over het geheel genomen laat het onderzoek zien dat sommige van de meer extreme modellen voor donkere materie al getest kunnen worden met signalen die worden waargenomen door huidige zwaartekrachtgolfexperimenten.

Publicatie

Scalar Fields around Black Hole Binaries in LIGO-Virgo-KAGRA. Soumen Roy, Rodrigo Vicente, Josu C. Aurrekoetxea, Katy Clough en Pedro G. Ferreira. Phys. Rev. Lett. **136** (2026) 191402.