

Sporen van quarkmaterie in zwaarte-krachtgolven?

Het klinkt bijna als een strikvraag: waar bestaat een neutronenster uit? Neutronen, zou je zeggen. Maar sowieso zijn die niet het hele verhaal: deze overblijfselen van zware sterren bevatten ook kleine percentages protonen en elektronen. Bovendien is het mogelijk dat in hun binnenste een exotische vorm van materie te vinden is die uit losse quarks bestaat. En zwaartekrachtgolven zijn misschien wel hét middel bij uitstek om deze zogenoemde *deconfined quark matter* aan het licht te brengen, schrijven natuurkundige Fabian Gittins van de Universiteit Utrecht en collega's in een recent artikel in *Physical Review Letters* [1].

Abrupte overgang

Onder normale omstandigheden komen quarks alleen voor als onderdeel van samengestelde deeltjes zoals protonen en neutronen. Maar de theorie die we gebruiken om te beschrijven hoe quarks bij elkaar worden gehouden, de quantumchromodynamica of QCD, voorspelt dat deze deeltjes bij extreem hoge temperaturen of dichtheden los voorkomen, vertelt Gittins. “We weten alleen niet waar de overgang zit.”

Neutronensterren bieden een mogelijkheid om die grens te identificeren. Het idee is dan dat de neutronen en protonen in het binnenste van deze extreem compacte objecten zo hard op elkaar geperst worden, dat er een faseovergang plaatsvindt van normale materie naar losse quarks. De kern bestaat dan uit *deconfined quark matter*, met daaromheen een laag van neutronen en enkele protonen en elektronen. Als twee neutronensterren in een spiraal naar elkaar toe bewegen, zou die faseovergang op te merken moeten zijn in de daarbij uitgezonden zwaartekrachtgolven. Tenminste, als die overgang abrupt plaatsvindt in plaats van geleidelijk. “In dat laatste geval zou ik niet weten hoe we hem ooit moeten gaan zien”, geeft Gittins toe.

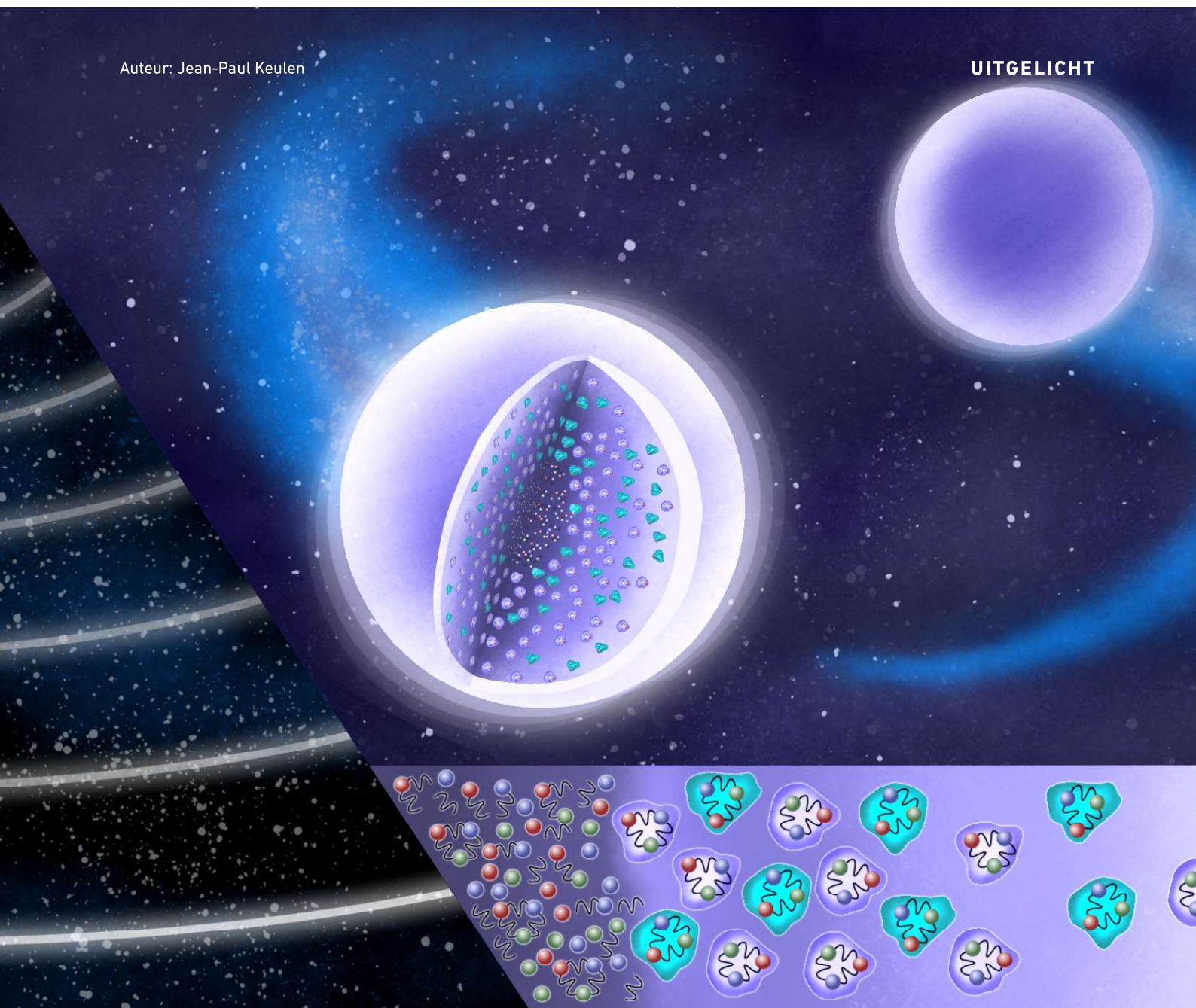
Nog meer vervormd

Hoe vertaalt zo'n interne aangelegenheid zich dan naar de uitgezonden zwaartekrachtgolven? Om te beginnen is het goed om te weten dat als twee neutronensterren naar elkaar toe cirkelen, ze een beetje vervormen door getijdekrachten. “Daar gaat dan energie in zitten die ten koste gaat van de baanbeweging van de sterren”, legt Gittins uit. “Daardoor bewegen



neutronensterren sneller naar elkaar toe en smelten ze eerder samen.” Bevatten neutronensterren bovendien een scherpe faseovergang van gewone materie naar quarkmaterie, dan correspondeert met die overgang een bepaalde frequentie. Bereikt de baanfrequentie van het systeem van naar elkaar toe bewegende neutronensterren deze waarde, dan gaan de sterren resoneren. Daardoor raken ze nog meer vervormd dan anders en wordt er nog meer energie uit de baan weggehaald. En de net iets sneller verlopende samensmelting die daaruit voortkomt, zou je moeten kunnen terugzien in de zwaartekrachtgolven.

Als de overgang heel geprononceerd is, zou die volgens Gittins en collega's



In het binnenste van een neutronenster zouden door de hoge dichtheid de aanwezige neutronen en protonen kunnen overgaan in losse quarks. Die faseovergang zou vervolgens te zien kunnen zijn in de zwaartekrachtgolven die twee naar elkaar toe bewegende neutronensterren genereren (illustratie: Niels Kerstes).

al met de huidige observatoria voor zwaartekrachtgolven te zien moeten zijn. Anders kunnen de opgewaardeerde versie van het Amerikaanse observatorium LIGO, genaamd LIGO A+ en LIGO A#, misschien uitkomst bieden, of de volgende generatie aan zwaartekrachtobservatoria: de Einsteintelescoop en de Cosmic Explorer.

Smoking gun

Mocht een zwaartekrachtgolf inderdaad tekenen vertonen die zouden kunnen wijzen op de betreffende faseovergang, dan spreken de

onderzoekers van een *smoking gun*. Maar zou zo'n meting dan niet ook op een ander verschijnsel kunnen duiden? Dat is niet heel waarschijnlijk, zegt Gittins. De frequentie valt namelijk in een gebied dat niet wordt geassocieerd met andere mogelijke oorzaken. "Dat zou dan een heel exotische vorm van materie moeten zijn waar nog maar weinig onderzoek naar is gedaan. Maar het is natuurlijk altijd lastig om alle andere mogelijkheden uit te sluiten." Gittins vindt het vooral fascinerend hoe je met deze methode de ene natuurkracht gebruikt om de andere te onderzoeken, op totaal verschillende

schalen. "Dat maakt deze studie zo interessant."

REFERENTIE

1. A.R. Counsell, F. Gittins, N. Andersson, I. Tews, Interface modes in inspiralling neutron stars: A gravitational-wave probe of first-order phase transitions, *Phys. Rev. Lett.* **135**, 081402 (2025).