



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Threading the needle: constraining the stellar content and dynamics of the Galactic Centre with hypervelocity stars

Verberne, S.

Citation

Verberne, S. (2026, January 9). *Threading the needle: constraining the stellar content and dynamics of the Galactic Centre with hypervelocity stars*.

Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4286286>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4286286>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

SAMENVATTING

Door het oog van de naald

Iedereen heeft waarschijnlijk wel eens gehoord van zwarte gaten: objecten die zo massief zijn dat zelfs licht er niet aan kan ontsnappen. Grofweg zijn er twee soorten zwarte gaten: stellaire zwarte gaten en superzware zwarte gaten. Het verschil is dat stellaire zwarte gaten de relatief talrijke restanten zijn van zware sterren, terwijl superzware zwarte gaten zeldzaam zijn en zich meestal bevinden in de centra van sterrenstelsels, die miljarden sterren bevatten.

Van superzware zwarte gaten is bekend dat ze worden omringd door vele sterren in een dicht opeengepakte stercluster. Deze complexe dynamische omgeving roept de vraag op: wat als twee sterren die om elkaar heen draaien dicht langs een superzwaar zwart gat komen, maar niet zo dicht dat ze vernietigd worden? Dit is de vraag die de astronoom Jack G. Hills zichzelf stelde in een wetenschappelijk artikel dat in 1988 werd gepubliceerd. Hij voorspelde dat door de getijdenkracht van het zwarte gat één van de sterren gevangen zou worden in een korte baan rond het superzware zwarte gat, terwijl de andere ster met een extreem hoge snelheid zou worden weggeslingerd—sterren die hij supersnelle sterren noemde (Hills 1988). In Fig. 1 tonen we een artistieke impressie van deze interactie, die het Hills mechanisme wordt genoemd.



Figuur 1: Artistieke impressie van het wegslingeren van een supersnelle ster na de interactie tussen een massief zwart gat en een dubbelster. *Afbeelding: James Josephides, Swinburne Astronomy Productions.*

In de tijd dat Hills deze voorspelling maakte werd het bestaan van superzware zwarte gaten nog bediscussieerd. Hills verwachtte zelfs dat de

ontdekking van een supersnelle ster bijna onweerlegbaar bewijs zou leveren voor superzwarte zwarte gaten. Toch duurde het bijna 20 jaar voordat de eerste supersnelle ster werd ontdekt (Brown et al. 2005). Tegen die tijd waren superzwarte zwarte gaten al algemeen geaccepteerd. Desondanks zorgde de ontdekking voor een hernieuwde belangstelling voor het onderwerp. Supersnelle sterren vormen een uniek hulpmiddel om allerlei astrofysische vraagstukken te onderzoeken: zo kunnen we bijvoorbeeld leren over dynamische interacties in de drukke en chaotische omgeving nabij het superzwarte zwarte gat in het centrum van ons Melkwegstelsel en over de massa en vorm van de Melkweg.

Tot op heden kennen we slechts een handvol supersnelle sterren, en er is slechts één ster gevonden waarvan ondubbelzinnig kan worden vastgesteld dat deze uit het Galactisch Centrum is weggeslingerd. Gelukkig maken recente grootschalige waarnemingscampagnes het mogelijk om systematisch naar deze zeldzame sterren te zoeken. De ruimtetelescoop *Gaia* heeft in het bijzonder de posities en bewegingen van bijna twee miljard sterren gemeten. Deze schat aan gegevens wordt aangevuld met waarnemingen vanaf de grond die extra informatie leveren over miljoenen van deze sterren.

Dit onderzoek richt zich op het karakteriseren van de populatie supersnelle sterren in de Melkweg en het bepalen van de eigenschappen van de omgeving nabij het superzwarte zwarte gat in het Galactisch Centrum. We gebruiken een combinatie van de meest geavanceerde waarnemingen en speciaal ontwikkelde simulaties om het probleem gelijktijdig vanuit een observationeel en theoretisch perspectief te benaderen.

In Hoofdstuk 2 richtten we ons op het uitbreiden van het aantal sterren met snelheidsmetingen langs de gezichtslijn (radiële snelheid), die *Gaia* ‘slechts’ voor ongeveer 34 miljoen van de bijna twee miljard sterren in haar catalogus levert. Deze snelheden zijn namelijk nodig om een driedimensionaal beeld te vormen van de baan van een potentiële supersnelle ster en daarmee van zijn oorsprong. Hiervoor analyseerden we de lage resolutie spectroscopische metingen die *Gaia* in zijn laatste catalogus openbaar heeft gemaakt. Hoewel deze gegevens oorspronkelijk niet voor dit doel bedoeld waren, motiveerden de extreme snelheden van supersnelle sterren en de daardoor lagere vereiste meetnauwkeurigheid ons om het toch te proberen. We vergeleken de *Gaia* spectra met een raster van modelspectra om een eerste meting te verkrijgen. We corrigeerden systematische fouten in deze eerste metingen door onze resultaten te kalibreren met behulp van een groot aantal sterren met bekende radiële snelheden uit diverse catalogi. Onze volledige gepubliceerde catalogus bevat radiële snelheden voor ongeveer 125 miljoen objecten, naar ons weten de grootste in zijn soort op het moment van schrijven. Hoewel we met succes radiële snelheden konden meten met deze spectra, bleek het identificeren van potentiële supersnelle sterren lastig door een fractie van bronnen met onbetrouwbare metingen. Aangezien supersnelle sterren extreem zeldzaam zijn (ongeveer 1 op 100 miljoen sterren),

kan zelfs een zeer kleine fractie onbetrouwbare metingen problematisch zijn.

In Hoofdstuk 3 gebruikten we een andere methode om potentiële supersnelle sterren te vinden. We gebruikten de gemeten eigenbeweging (hoek-snelheid) aan de hemel die *Gaia* voor ongeveer 1,5 miljard sterren heeft bepaald, om te zoeken naar sterren die lijken te bewegen langs een baan die rechtstreeks uit het Galactisch Centrum komt. We maakten een catalogus van 600 veelbelovende kandidaten en namen vervolgaarnemingen vanaf de grond voor ongeveer 200 van deze sterren. We gebruikten het uitblijven van nieuwe ontdekkingen in deze steekproef om de zeldzaamheid van supersnelle sterren en hun massaverdeling te bepalen. Bovendien voorspelden we de eigenschappen van de nog onontdekte populatie supersnelle sterren die in de *Gaia*-gegevens verborgen zit.

In Hoofdstuk 4 gebruikten we de waarnemingen uit Hoofdstuk 3 om ons te informeren over de populatie en eigenschappen van sterren die gevangen worden in het Hills mechanisme. Het Galactisch Centrum herbergt een populatie sterren op sterk elliptische banen dicht bij het superzwarte zwarte gat, bekend als de S-ster cluster. We simuleerden gelijktijdig de uitgestoten en gevangen sterren, waarbij we de uitgestoten sterren vergeleken met onze supersnelle sterren zoektocht en de gevangen sterren met waarnemingen van het Galactisch Centrum. We vinden dat geen enkele voorouderpopulatie van dubbelsterren zowel de waargenomen eigenschappen van supersnelle sterren als die van sterren nabij het superzwarte zwarte gat in het Galactisch Centrum kan verklaren. In plaats daarvan vinden we dat een recent gevormde schijf van zware sterren waarschijnlijk de frequentie van supersnelle sterren in de afgelopen ~ 10 miljoen jaar met ongeveer een orde van grootte heeft verhoogd ten opzichte van de achtergrondwaarde.

In Hoofdstuk 5 breidden we onze zoektocht naar supersnelle sterren uit naar de sterren die tot miljarden jaren geleden zijn weggeslingerd, maar binnen ons sterrenstelsel zijn gebleven. Hiervoor gebruikten we gegevens van de recent gepubliceerde, DESI Milky Way Survey. We simuleerden de verdeling van het impulsmoment van sterren die uit het Galactisch Centrum zijn weggeslingerd, en gebruiken dit in combinatie met de karakteristiek hoge abundantie metalen die voor deze sterren wordt verwacht, om statistisch te zoeken naar een populatie van weggeslingerde sterren uit het Galactisch Centrum in DESI. We gebruikten het uitblijven van een detectie van deze populatie om voor het eerst de frequentie (hoe vaak iets gebeurt) van supersnelle sterren uit het Galactisch Centrum te bepalen over een tijdschaal van ~ 5 miljard jaar, onafhankelijk van het onderliggende mechanisme. Dit betekent dat ons resultaat niet alleen de frequentie van het Hills mechanisme bepaald, maar ook de frequentie van alternatieve wegslingermechanismen die in de literatuur zijn voorgesteld.