



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

A study on giant radio pulses

Karuppusamy, R.

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Karuppusamy, R. (2009). A study on giant radio pulses

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <http://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Nederlandse samenvatting

Radioastronomie is een relatief jong veld in de sterrenkunde dat al aanzienlijk heeft bijgedragen aan het herzien van onze ideeën over het heelal. Een treffend voorbeeld is de toevallige ontdekking van radiopulsars in 1967 door Jocelyn Bell, destijds bezig met haar promotieonderzoek, wat het begin van het pulsaronderzoek inluidde. Het woord “pulsar” is een afkorting van “Pulsating Source of Radio” (pulserende radiobron), een benaming die werd gebruikt door een journalist toen de ontdekking publiek werd gemaakt. Zoals de term al aanduidt, wordt het signaal van pulsars op radiofrequenties waargenomen als een fluctuatie in intensiteit of helderheid van de ontvangen straling. Het feit dat het gepulste signaal iedere dag vier minuten eerder aankwam bevestigde dat de bron van de radiostraling buiten ons zonnestelsel lag. De periodieke aard en snelle herhaling van het signaal betekende dat alleen een heel compact en snel roterend astronomisch object de bron van de pulserende radiogolven kon zijn. Dit was dus het eerste experimentele bewijs voor het bestaan van neutronensterren, dat 3 decennia eerder al was gepostuleerd door Baade & Zwicky (1934).

Neutronensterren vormen één van de eindpunten in de evolutie van zware sterren, dat wordt bereikt wanneer deze hun gehele brandstofvoorraad hebben uitgeput en exploderen in een enorm heldere ontploffing genaamd Type II supernova. Normaal gesproken wordt een ster behoed voor instorting onder invloed van de zwaartekracht veroorzaakt door zijn eigen massa doordat er stralingsdruk wordt gegenereerd bij de fusie van lichtere atomen tot zwaardere elementen in het binnenste van de ster. Echter, deze verbrandingsprocessen kunnen niet oneindig doorgaan; zij komen tot een einde wanneer silicium verbranding resulteert in de productie van nikkel-56. Voorbij dit punt is de formatie van nog zwaardere kernen door

middel van fusie een endotherm proces; het zal energie van de sterkern absorberen en daarbij de temperatuur en druk dusdanig veranderen dat de fusieprocessen stoppen. Het plotseling wegvallen van de stralingsdruk door verbranding geeft aanleiding tot het instorten van de ster onder invloed van zijn eigen zwaartekracht, waarbij het eindproduct afhankelijk is van de massa van de sterkern. Voor sterkernen met een massa tussen 1.4 en ~ 3 zonsmassa's zal de druk van gedegenereerde neutronen verdere instorting voorkomen, en zo ontstaat een neutronenster met een diameter van ongeveer 20 km. Zwaardere sterkernen zullen verder ineensorten tot een zwart gat. In het geval van een neutronenster zijn de oorspronkelijke magnetische flux en impulsmoment behouden. Bijgevolg worden het magneetveld aan het oppervlak en de rotatiesnelheid van het ingestorte object enorm versterkt, wat resulteert in een sterk magnetische, snel roterende neutronenster. Dit is één van de meest simpele mogelijke formatiescenario's. Een sterk magneetveld in de ingestorte ster kan ook het resultaat zijn van dynamo-mechanismen, zoals in de zon en de aarde.

De radiostraling van de pulsar zorgt ervoor dat we deze objecten op aarde kunnen waarnemen. Men denkt dat deze straling ontstaat in het gebied boven de magnetische polen van de ster. Het niet samenvallen van de rotatie- en magnetische assen geeft aanleiding tot een effect dat lijkt op het principe van een vuurtoren, waarbij het "licht" alleen op aarde wordt waargenomen wanneer de roterende bundel de aarde snijdt. Door het sterke magneetveld en de snelle rotatie ontstaat een plasma dat de neutronenster omringt; dit gebied wordt de magnetosfeer genoemd. Ondanks intensief onderzoek bestaat er nog geen complete theorie voor het radiopulsar-emissiemechanisme. Over het algemeen denkt men dat de radiostraling een product is van elektron-positron paren die tot zeer hoge snelheden worden versneld in de magnetosfeer van de neutronenster. De radiostraling van deze objecten en één aspect van de emissie in het bijzonder (reuzepulsan) staan centraal in dit proefschrift.

Figuur 9.1 geeft een simpele weergave van een radiopulsar. In deze figuur is de lichtcilinder te zien, het gebied rondom de neutronenster waarbinnen de co-rotatiesnelheid kleiner is dan de snelheid van het licht. De magnetische veldlijnen die binnen deze denkbeeldige cilinder liggen zijn gesloten, maar daarbuiten zijn ze open. De roterende radiopulsar kan worden vergeleken met een enorme roterende magneet en dit veroorzaakt een grote elektrische potentiaal nabij het oppervlak van de neutronenster. De grote elektrische potentiaal ontdoet het steroppervlak van elektronen, welke langs de open magnetische veldlijnen beginnen te stromen. De bewegingen van deze geladen deeltjes leiden uiteindelijk tot de waargenomen radiostraling.

Als de radiostraling van de pulsar over de tijd wordt gemiddeld geeft dit een gemiddeld pulsprofiel bij een bepaalde frequentie. Echter, de individuele pulsen hebben een rijk gevarieerd karakter. Sommige pulsars zenden pulsvormen uit die binnen één pulsperiode sterk variëren; hieronder vallen verschijnselen die worden aangeduid als "drifting subpulses" (verschuivende subpulsen), "microstructure" (microstructuur) en "giant pulses" (reuzepulsen). Verschuivende subpulsen veranderen op tijdschalen van enkele milliseconden. In sommige pulsars duren de variaties in de intensiteit enkele microseconden; dit wordt microstructuur genoemd. In zulke gevallen hebben de variaties een karakteristieke tijdschaal korter dan een enkele puls, zoals bijvoorbeeld de $\sim 570 \mu\text{s}$ structuren in PSR B1133+16.

Sommige pulsars zenden extreme pulsen uit die slechts enkele nanoseconden duren een

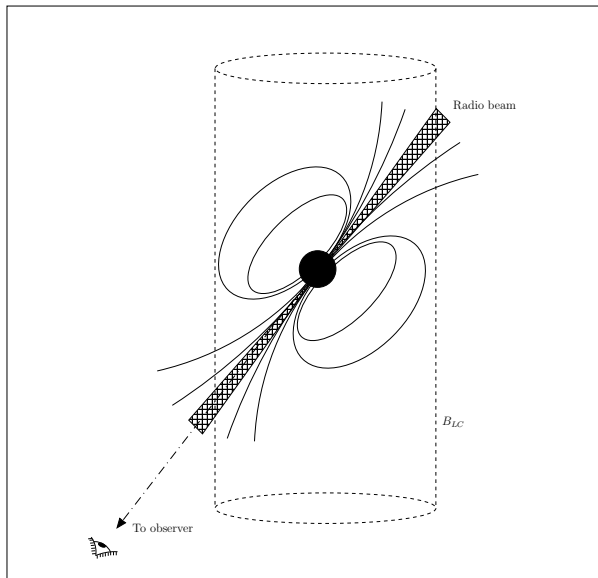


Figure 9.1: Een schematische weergave van een radiopulsar. De lichtcilinder en de magnetische veldlijnen zijn weergegeven. De radiobundel ontstaat boven de magnetische polen.

een buitengewoon hoge intensiteit hebben. Zo hebben de reuzepulsen van de Krab-pulsar een helderheidstemperatuur van 10^{41} K en kunnen ze minder dan 0.4 ns duren (Hankins & Eilek 2007). Pulsen van PSR B1937+21 kunnen korter zijn dan 15 ns, met een helderheidstemperatuur van 10^{37} K (Soglasnov et al. 2004). Met deze korte pulsen kunnen we efficiënt het tussenliggende interstellaire medium (ISM) peilen door de pulsverbreding veroorzaakt door verstrooiing te bestuderen. In dit proefschrift zijn technieken gebaseerd op autocorrelatie en Fourieranalyse gebruikt om deze pulsar-verschijnselen te analyseren.

Het signaal van de radiopulsar zoals dat door telescopen wordt ontvangen heeft zich een weg gebaad door het ISM en vertoont de effecten van deze voortplanting, zoals verbreding van de pulsen en uitsmeren van het signaal. Zoals hierboven is besproken, ligt veel informatie over de pulsar emissie opgeslagen in de tijdsvariaties van het gepulste signaal en daarom moet voor elk effect dat de tijdsresolutie beperkt gecorrigeerd worden. Het eerste effect is dispersie van het signaal, die wordt veroorzaakt doordat de verschillende frequenties uitgezonden door de pulsar zich met net iets andere snelheden door het geïoniseerde ISM voortbewegen. Hierdoor arriveren de hogere frequenties eerder op aarde dan de lagere frequenties. Verder vereisen de zwakke straling van de pulsars en de gewenste hoge tijdsresolutie een grote bandbreedte, om zo de getrouwheid van het signaal te verbeteren. Echter, grote bandbreedten versterken het effect van uitsmeren door dispersie, waardoor de pulsar in sommige gevallen niet gedetecteerd kan worden. Daarom moet voor dit effect gecorrigeerd worden en dat vereist precieze en snelle computerapparatuur.

Om gevoelig te zijn voor zwakke pulsarsignalen is een telescoop met een groot oppervlak

noodzakelijk. Wegens deze en eerdergenoemde redenen is voor het bestuderen van diverse pulsars in dit werk de Westerbork Synthesis Radio Telescope (WSRT) met de Pulsar Machine II (PuMa-II) gebruikt. De WSRT is afgebeeld in Figuur 9.2 en bestaat uit 14 telescopen, elk waarvan een diameter van 25 m heeft. Het in fase samenvoegen van de signalen van deze telescopen resulteert in een signaal equivalent aan dat van een telescoop met een diameter van 93 m. PuMa-II is ontworpen en ontwikkeld als onderdeel van het promotieproject beschreven in dit proefschrift. Het instrument biedt het coherent corrigeren voor dispersie als een standaardfunctie, met een maximale tijdsresolutie van 25 ns. Daarbij kan de combinatie van de WSRT en PuMa-II een bandbreedte van 160 MHz bieden, wat zorgt voor een goede gevoeligheid voor korte en zwakke gepulste signalen.

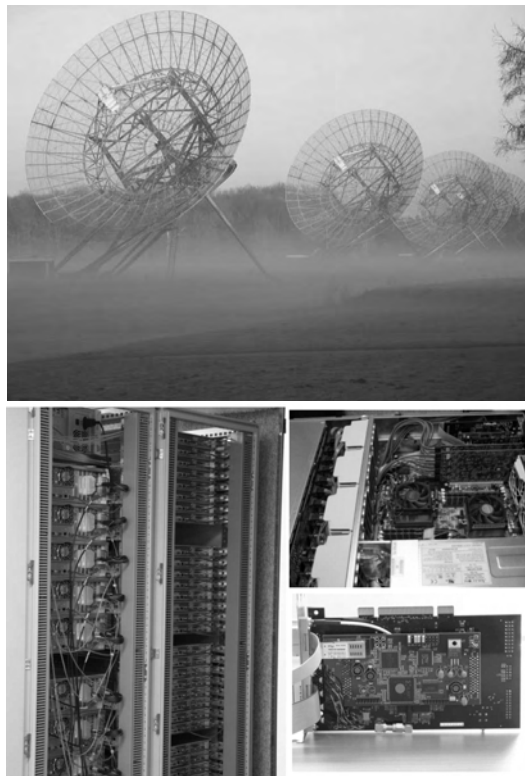


Figure 9.2: Enkele telescopen van de WSRT zijn afgebeeld in de bovenste figuur. Elke antenne van de keten is een parabolische reflector met een diameter van 25 m. De onderste figuur laat de Pulsar Machine-II zien. Rechts naast het instrument is één module te zien waarvan de bovenkant is verwijderd. Onder de computer module is aangepaste hardware te zien, welke als deel van dit proefschrift is ontwikkeld.

Dit proefschrift

Dit proefschrift begint met de beschrijving van het ontwerpen en ontwikkelen van de nieuwe pulsar machine, PuMa-II, in hoofdstuk 2. Het PuMa-II instrument (afgebeeld in Figuur 2) is speciaal gebouwd om dispersie coherent en vrijwel realtime te corrigeren voor een grote bandbreedte (tot 160 MHz), wat pulsar waarnemingen tot 30 uur lang mogelijk maakt. De flexibiliteit en hoge resolutie van het instrument bieden de mogelijkheid om verscheidene aspecten van pulsars te bestuderen. Het gebruik van PuMa-II resulteert in een groot volume aan verwerkte data en daarom omvatte het ontwerp van het instrument ook een 22-TB archief en een 24-tape backup faciliteit, welke 9.6 TB opslagruimte biedt.

Het grote oppervlak van de WSRT en de hoge tijdsresolutie, volledig coherente dispersiecorrectie en grote bandbreedte van PuMa-II boden een uitstekende mogelijkheid om enkele aspecten van de raadselachtige reuzepulsen te onderzoeken, in het bijzonder in de Krab-pulsar. Hoofdstukken 3 en 5 behelzen een studie van de reuzepulsen van de Krab-pulsar bij twee verschillende frequenties. Een studie over zo'n grote bandbreedte van een grote populatie van pulsen was nog niet eerder gedaan, voornamelijk wegens instrumentele beperkingen. De reuzepulsen van de Krab-pulsar bleken zeer gevoelig het ISM te kunnen peilen. Ook werden verstrooiing en snelle helderheidsvariaties bestudeerd op de twee waarneemfrequenties.

Binnen een jaar na het in gebruik nemen van de PuMa-II werd de WSRT uitgerust met low-frequency front-ends (LFFEs) die toegang verschaffen tot de hemel in de 115–180 MHz radiofrequentieband. Het was toen al duidelijk dat tegen alle verwachtingen in een groep pulsars waaronder B0031-07, B1112+50 en J152+2359 reuzepulsen vertonen bij lage frequenties. Bovendien toonde een ongerelateerd experiment bij de WSRT heldere pulsen aan in PSR B1133+16. De emissie van deze ogenschijnlijk normale pulsars, die echter bij lange radiogolflengten emissie gelijkend op reuzepulsen vertonen, kon nu effectief bestudeerd worden met de LFFEs en de PuMa-II. De pulsen die werden verzameld om reuzepuls-emissie te onderzoeken, dienden ook nog ander doelen – analyse van andere pulseigenschappen zoals verschuivende pulsen en microstructuur. Dit onderzoek vormt het onderwerp van hoofdstuk 4.

De flexibele verwerking in PuMa-II heeft tot gevolg dat een enkele waarneming op meerdere manieren verwerkt kan worden. Deze eigenschap is gebruikt voor het onderzoeken van de emissie van reuzepulsen door milliseconde-pulsars (MSPs). Van enkele van deze pulsars, bijvoorbeeld B1937+21, B1821-24 en J0218+4232 was bekend dat ze reuzepulsen uitzenden. Bovendien werden deze pulsars regelmatig waargenomen met de WSRT als onderdeel van het langlopende pulsar timing programma. De flexibiliteit van PuMa-II werd aangewend om meer reuzepulsen van deze bronnen te verzamelen met als doel de eigenschappen van de reuzepulsen van deze MSPs beter in kaart te brengen. Hoofdstuk 6 gaat over het onderzoek van dit type. In het bijzonder wordt de efficiëntie van de “piggy-back” methode uitgelicht die het mogelijk maakt extra pulsen vrijwel zonder kosten te verzamelen.

De waarnemingen en analyses in dit proefschrift bieden dus een overzicht van de emissie van reuzepulsen door pulsars in verschillende stadia van hun ontwikkeling – van de jonge pulsars zoals de Krab, via oudere pulsars zoals B1133+16, B1112+50 en B0031-07, tot de zeer oude MSPs.