



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Development and testing of the gravitational wave antenna MiniGRAIL in its full-featured configuration

Usenko, O.

Citation

Usenko, O. (2012, May 23). *Development and testing of the gravitational wave antenna MiniGRAIL in its full-featured configuration*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/18979>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/18979>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/18979> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Usenko, Oleksandr

Title: Development and testing of the gravitational wave antenna MiniGRAIL in its full-featured configuration

Date: 2012-05-23

Samenvatting

De zwakte van de zwaartekracht maakt de detectie van gravitatiegolven een van de meest uitdagende taken van de experimentele fysica. Terwijl deze golven bijna een eeuw geleden werden voorspeld door de algemene relativiteitstheorie van Einstein, zijn ze nog niet direct gemeten, ondanks de dramatische verbetering van de detector gevoeligheid. Tot nu toe werd alleen indirect bewijs van het bestaan van gravitatiegolven gevonden door waarneming van de binaire pulsar *PSR1913+16* door Hulse en Taylor [1, 2]. De mate van vertraging van de rotatie van de pulsar komt exact overeen met de door de algemene relativiteitstheorie voorspelde waarde ten gevolge van emissie van gravitatiegolven.

Maar de zwakte van de interactie met de materie maakt de gravitatiegolven juist erg interessant voor astrofysici. Nauwelijks geabsorbeerd door materie laten ze de fysici kijken naar gebeurtenissen, die niet waarneembaar zijn met behulp van detectoren van elektromagnetische golven.

De geschiedenis van gravitatiegolf-detectoren telt meer dan 45 jaar van ontwikkeling. De eerste antenne werd gebouwd door Joseph Weber in 1965 [3]. Het was een anderhalf ton zware cilindrische staaf van aluminium, opgehangen in vacuüm. Deze staaf had een mechanische resonantiefrequentie van $1,6\text{ kHz}$. In 1968 bouwde hij een tweede detector om coïncidentie-metingen te kunnen doen. Door het gebruik van piezo-elektrische transducers heeft hij een vervormingsgevoeligheid $\frac{\Delta h}{h}$ van ongeveer 10^{-16} kunnen bereiken. Hoewel hij de meting van een coïncidentie-signaal tussen twee detectoren heeft gemeld [4], was de amplitude van dat signaal ver boven het verwachte niveau voor de gravitatiegolven, en werd deze door de resultaten van andere groepen ook niet bevestigd.

De huidige generatie van detectoren is ongeveer zes ordes van grootte gevoeliger, maar is desondanks nog steeds niet in staat om de detectie van een gravitatiegolf signaal te melden.

Alle op dit moment bestaande gravitatiegolfdetectoren zijn gebaseerd op twee principes:

Het eerste type zijn zogenoemde interferometrische detectoren: LIGO, bestaande uit twee interferometers - LIGO Hanford en LIGO Livingston (USA) [5], VIRGO in Cascina (Italië) [6], GEO600 in Hannover (Duitsland) [7] en TAMA300 in Japan [8].

Een ander type is de resonante detector waaronder: (i) cilindrische detectoren: AURIGA in Legnano (Italië) [9], NAUTILUS in Frascati (Italië) en (ii) twee bolvormige

detectoren: Mario Schenberg in Brazilië [10] en MiniGRAIL [11] in Leiden.

In dit werk richten we ons alleen op het laatste type van detectoren, en op MiniGRAIL in het bijzonder.

Alle resonante detectoren zijn op soortgelijke wijze ontworpen. Het gevoelige deel van zo een resonante detector is een cilindervormige of bolvormige massa met hoge mechanische kwaliteitsfactor (in de orde van 10^6). Deze is mechanisch goed geïsoleerd van geluidsbronnen in de omgeving (seismische, akoestische, elektrische, enz.). De inwendige thermische ruis van de detector wordt omlaag gebracht door bij lage temperaturen te werken. Een gravitatiegolf die door zo een detector heen gaat, drijft de quadrupool resonante modi van de resonerende massa aan. Om deze beweging te kunnen detecteren, is aan de grote massa een tweede, veel lichtere, mechanische oscillator (transducer) bevestigd. De resonantie frequentie van de transducer wordt aangepast aan die van de te detecteren trillingmodus van de detector massa. Deze transducer is dan elektrisch gekoppeld met een extern uitlees circuit.

Een bolvormige gravitatie golf detector heeft veel onderscheidende functies. Een aantal van hen deelt hij met de staafvormige antennes (prijs, compactheid, onderhoudskosten, detectie principe), maar sommige zijn echt uniek: in tegenstelling tot de staafvormige detectoren, is de bol even gevoelig voor een gravitatiegolf vanuit welke richting dan ook. Het is ook mogelijk de polarisatie van de gravitatiegolf te bepalen. Om dezelfde hoeveelheid informatie te kunnen verkrijgen met behulp van staafvormige detectoren, moet men 5 identieke staven bouwen. Een ander voordeel van de bolvormige detector is dat, bij gelijke meetfrequentie, de bol een grotere doorsnede heeft. Een overzicht van de eigenschappen van sferische gravitatiegolfdetectoren is te vinden in [12].

Toch zijn er een aantal praktische problemen bij het gebruik van bolvormige detectoren. Omnidirectionele operatie vereist het gebruik van meerdere transducers, wat de betrouwbaarheid van de detector vermindert. De kalibratie en data analyse van de bolvormige antenne is ook gecompliceerder. Om dit probleem op te lossen hebben Johnson en Merkwitz een speciale configuratie - "*truncated icosahedral gravitational wave antenna*" (TIGA) voorgesteld. De zes transducers zijn geplaatst op de 6 vijfhoekige vlakken van een afgeknot icosahedron. Door de hoge symmetrie konden ze een eenvoudige algoritme voor reconstructie van het gravitatiegolf signaal van de vaste combinaties van transducer-uitgangen ontwikkelen.

Dit proefschrift is gericht op het bouwen van een volledig data-acquisitie systeem, en de voorbereiding van MiniGRAIL voor een meeting, met 6 transducers bij een temperatuur in het milliKelvin gebied. Het proefschrift is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 1 geven we een algemene inleiding in de fysica van gravitatiegolven, en de principes van gravitatiegolf-detectie. Het overzicht is gericht op de eigenschappen van resonante bolvormige detectoren en de MiniGRAIL opstelling in het bijzonder. Hoofdstuk 2 gaat over de ontwikkeling van het MiniGRAIL data-acquisitie systeem. Hoofdstuk 3 beschrijft verbeteringen in de opstelling die gemaakt zijn op basis van de resultaten van voorgaande experimenten. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de eerste kalibratie-run van MiniGRAIL gepresenteerd. Een toepassing van een gevoelige tweetraps SQUID versterker, ontwikkeld voor MiniGRAIL, in een magnetische reso-

nantie kracht-microscopie (MRFM) experiment wordt beschreven in hoofdstuk 5.