



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Unravelling Heterodyne Force Microscopy

Verbiest, G.J.

Citation

Verbiest, G. J. (2013, November 19). *Unravelling Heterodyne Force Microscopy. Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/22238>

Version: Not Applicable (or Unknown)

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/22238>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/22238> holds various files of this Leiden University dissertation

Author: Verbiest, Gerard Jan

Title: Unravelling heterodyne force microscopy

Issue Date: 2013-11-19

Samenvatting

De afgelopen vier jaar heb ik onderzoek verricht aan de zogeheten Heterodyne Kracht Microscop. De Heterodyne Kracht Microscop is een Atomaire Kracht Microscop waarin ultrasoon geluid wordt gebruikt om begraven objecten zichtbaar te maken.

In de Atomaire Kracht Microscop wordt met een ontzettend klein naaldje een oppervlak afgetast. Dit gebeurt op dezelfde wijze als een blinde man die de straat aftast met zijn stok. Het grote verschil zit in de schaal waarop dit gebeurt. Een blinde man tast typisch een oppervlak van één vierkante meter af, terwijl de Atomaire Kracht Microscop typisch één vierkante micrometer af tast. Een micrometer is een miljoenste meter. Om dit verschil duidelijk te maken geef ik de volgende analogie. Een miljoen meter is gelijk aan duizend kilometer. Dit is ongeveer gelijk aan de afstand tussen de Universiteit Leiden en Wenen in Oostenrijk.

Het uiteinde van de stok die een blinde man gebruikt is typische een paar centimeter lang. In het geval van de Atomaire Kracht Microscop is dit typisch tien nanometer, in andere woorden, ca. 30 atomen. Ook deze afstanden verschillen een factor miljoen. Een nanometer is een miljoenste millimeter.

Er is nog een overeenkomst tussen de blinde man en zijn stok, en de Atomaire Kracht Microscop. Beide zijn in staat om alleen het oppervlak af te tasten. Ze kunnen nauwelijks informatie verkrijgen over wat *onder* het oppervlak zit. Het enige wat ze kunnen doen om toch informatie te verkrijgen over begraven objecten, is om hard met het stokje in het oppervlak te duwen. Het oppervlak voelt dan harder of zachter aan en bovendien, als er iets vlak onder het oppervlak zit, kunnen ze hier op stuiten. Denk bijvoorbeeld aan een steen die verborgen zit onder een graszode.

Het is duidelijk, dat het in beide gevallen niet mogelijk is, om informatie te verkrijgen over diep begraven objecten; denk bijvoorbeeld aan het sprookje "De prinses op de erwt". Maar er is een uitweg voor de Atomaire Kracht Microscop: met de toepassing van ultrasoon geluid is het wel mogelijk, om diep begraven objecten te "voelen". We nemen als voorbeeld een muur in een huis. Door vanaf de ene kamer geluid door de muur te sturen naar de andere kant (kamer), kunnen we, door naar de trilling van de wand te luisteren, horen of de muur hol is. Ondanks het feit dat we de holtes in de muur niet kunnen zien als we naar de wand kijken, weten we dan toch waar ze zitten. Door dit idee toe te passen in een Atomaire Kracht Microscop, heeft men geprobeerd informatie van objecten onder het oppervlak te verkrijgen met een schaal van nanometers tot micrometers. Er zijn zelfs metingen gerapporteerd die laten

zien, dat het mogelijk is om begraven balletjes met een doorsnede van maar 20 nm (ca. 60 atomen) op een diepte van een paar micrometers te detecteren. Dit is te vergelijken met een erwt, welke 25 cm diep is begraven.

Er is echter een probleem met het ultrasone geluid dat men door de te bestuderen objecten stuurt. De benodigde frequentie van de ultrasone golf is vele malen hoger dan het bereik waarnaar de naald in de Atomaire Kracht Microscopie kan luisteren. Dit is te vergelijken met een hondenfluit, waarvan wij het geluid ook niet kunnen horen. Op te merken is, dat bij de hondenfluit de frequentie van het geluid maar ~ 2.5 keer hoger als de hoogste toon, die wij nog wel kunnen horen, terwijl het ultrasoonsignaal ~ 30 keer hoger is dan de frequentie waarnaar de naald van de Kracht Microscopie nog kan luisteren. Dit probleem kan worden omzeild als men technologie toepast, welke ook wordt gebruikt in een alledaagse radio. Het geheim ligt in de toepassing van *twee* niet-luisterbare signalen. Door niet-lineariteiten mengen deze en produceren een laagfrequent signaal, welke dan wel met de naald van de Atomaire Kracht Microscopie kan worden opgepikt. Hiervoor moeten wij dus niet alleen maar een ultrasoon signaal door het te besturen object sturen, maar ook nog een tweede ultrasoon signaal, nu door de naald. Omdat wij precies weten, welk signaal wij door de naald sturen, kunnen wij uit het mengsignaal het signaal afleiden, dat door het te besturen object is gelopen en informatie in zich draagt over de begraven objecten. Deze techniek heet de Heterodyne Kracht Microscopie.

Voordat ik aan mijn onderzoek begon waren er veel vragen over de werking van zo een Heterodyne Kracht Microscopie. Zo werd er bijvoorbeeld gespeculeerd over hoe het ultrasone geluid zich door de te bestuderen objecten voortbeweegt. Daarnaast was het ook niet duidelijk hoe de naald luistert naar het mengsignaal van de twee gebruikte ultrasone geluiden. Ook was niet duidelijk waardoor het contrast in de experimenten nu daadwerkelijk veroorzaakt werd.

Na vier jaar onderzoek hebben we een aantal van deze vragen kunnen beantwoorden. We weten nu zeker, dat het ultrasone geluid, op basis van de technologisch haalbare frequentie van dit geluid, op dit moment nauwelijks beïnvloed wordt door wat zich onder het oppervlak bevindt. Dit komt doordat de golflengte van het ultrasone geluid, welke typisch een millimeter is, vele malen groter is dan de te bestuderen objecten. Wij hebben ook nauwkeurig experimenteel en via een simulatie bestudeerd, hoe het naaldje nu daadwerkelijk gaat bewegen, als het naar het mengsignaal van de twee gebruikte ultrasone geluiden luistert. Wij hebben geleerd, dat details hier een belangrijke rol spelen en dat de vaak toegepaste, theoretische standaard benadering voor het mengsignaal niet de realiteit beschrijft in ons systeem. Omdat er geen analytische theorie voor het mengsignaal bestond, hebben wij de theorie voor heterodyne metingen aangepast, zodat de oplossing nu geldig is voor iedere mogelijke interactie.

Als laatste hebben we metingen verricht aan een zeer goed gedefinieerd ob-

ject. We hebben de herkomst van het contrast kunnen herleiden in metingen aan begraven goudballetjes in een zacht polymeer (te vergelijken met plastic). Het resultaat was nogal verrassend, omdat het volledig afweek van de algemene opvattingen: door het ultrasone geluid gaan de goudballetjes lichtjes rondstuiten in het polymeer. De balletjes ervaren hierdoor wrijving met het polymeer, waardoor het ultrasone geluid een deel van zijn sterkte verliest aan de goudballetjes. Dit wordt opgepikt door het naaldje op de frequentie van het mengsignaal van de twee gebruikte ultrasone geluiden en leidt uiteindelijk tot een contrast aan het oppervlak. De diep begraven goudballetjes zijn op deze manier zichtbaar aan het oppervlak.

Mocht deze techniek het uiteindelijk mogelijk maken om begraven objecten kwantitatief te meten op de schaal van nanometers tot micrometers, dan zijn er vele toepassingen denkbaar. Een uitermate belangrijk voorbeeld hiervan is het begrijpen van de werking van een menselijke cel. Deze techniek kan het mogelijk maken processen in zo'n cel 'live' te kunnen volgen, zonder de cel kapot te maken. Er zijn echter ook vele mogelijke toepassingen denkbaar in de Nanotechnologie, Materiaalkunde, Micro-elektronica, Biologie, en zelfs in de medische wetenschappen.

