



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## **The lead zeppelin : a force sensor without a handle**

Waarde, B. van

### **Citation**

Waarde, B. van. (2016, November 2). *The lead zeppelin : a force sensor without a handle*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/43816>

Version: Not Applicable (or Unknown)

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/43816>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/43816> holds various files of this Leiden University dissertation

**Author:** Waarde, Bob van

**Title:** The lead zeppelin : a force sensor without a handle

**Issue Date:** 2016-11-02

# Samenvatting

De Lead Zeppelin is een klein brokje Lood dat zweeft door middel van magnetische levitatie. Lood is een supergeleider bij afdoende lage temperatuur — de experimenten beschreven in deze thesis vonden plaats bij 4.2 K, het kookpunt van Helium-4 — en kan daarom via het Meissnereffect zwevend gemaakt worden door een geschikt magneetveld aan te leggen. Wij doen dit door de Lead Zeppelin te omarmen met twee stroomdragende spoelen van tegengestelde polariteit, die zodoende een potentiaalput creëren waarin de Zeppelin gevangen zit. In dit proefschrift worden de ontwikkeling van het Lead Zeppelinexperiment en de daaropvolgend verrichte metingen beschreven.

Het idee voor de Lead Zeppelin is ontsproten aan de MRFM-experimenten die in onze groep gedaan worden. MRFM (Magnetic Resonance Force Microscopy) is een techniek die gebruik maakt van de minieme magnetische interactie tussen atomen en een uiterst gevoelige krachtsensor, die zich onder andere ten doel stelt complexe moleculen, zoals proteïnen en virussen, in beeld te brengen in hun natuurlijke habitat, in 3D en met atomaire resolutie. De krachtsensor in MRFM is een ferromagnetisch bolletje van enkele micrometers in diameter op het uiteinde van een hefboompijpe van 100 tot 200 micrometer lang ( $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}$ ). Deze sensor is gevoelig voor krachten in de orde van zeptoNewtons ( $1\ \text{zN} = 10^{-21}\ \text{N}$ ), wat, anders gezegd, overeenkomt met de zwaartekracht die u ondervindt van uw geëmigreerde collega in Australië. Deze gevoeligheid heeft het mogelijk gemaakt de magnetische kracht te meten tussen de sensor en  $\sim 500$  protonen.

Een nog grotere gevoeligheid wordt in MRFM, in principe, belemmerd door zogenoemde klemverliezen van de hefboom; het is dan ook voor de hand liggend om de hefboom uit het experiment te willen verwijderen. Zodoende stappen we over op de magnetische levitatie van een supergeleider, die geen klemverliezen kan lijden door de afwezigheid van zo'n hefboom.

Het ontwikkelen van een in toenemender mate gevoelige krachtsensor dient nog een ander doel: het experimenteel onderzoeken van de quantum mechanica van zware objecten. Het is namelijk duidelijk dat quantum mechanica geen goede theorie is om grote objecten als planeten of stoelen of kopjes koffie mee te beschrijven, terwijl zij met ongekennde precisie het gedrag beschrijft van kleine objecten als quarks en elektronen. Ergens op de schaal van klein naar groot, gaat er iets mis.

De algemene relativiteitstheorie, die de zwaartekracht beschrijft, werkt juist heel goed voor grote objecten, maar is experimenteel ongetoetst voor objecten lichter dan zo'n 90 gram. De algemene relativiteitstheorie en quantum mechanica beschrijven elk hun eigen deel van de werkelijkheid om ons heen, maar zijn tegelijkertijd inherent onverenigbaar. Het is buitengewoon interessant om een experiment te doen juist in het schemerig gebied waar beide theorieën elkaar tegenkomen. Hoe gedraagt een object zich dat groot genoeg is om een merkbare zwaartekracht te vertonen, maar dat klein genoeg is om de wetten van de quantum mechanica te gehoorzamen?

We beginnen dit proefschrift met het beschrijven van de door ons ontworpen meetopstelling. We bespreken de basisbenodigdheden om een succesvolle meting te kunnen doen en de theorie die erachter schuil gaat. Ook bekijken we voor hoeveel problemen externe vibraties kunnen zorgen en we rekenen uit wat de vereisten zijn om van de Lead Zeppelin een krachtsensor te maken die kan meedingen met de state-of-the-art. Omdat wij onze metingen doen met behulp van een Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) — een zeer gevoelige magnetometer — verdient het afschermen van het experiment van elektromagnetische verstoringen speciale aandacht.

In hoofdstuk 3 bespreken we in detail een onderdeel van de meetopstelling dat van cruciaal belang is gebleken: de Persistent Current Switch (PCS). De PCS vormt een schakelaar tussen het experiment en de ruizige buitenwereld, die ons in staat stelt de beweging van de Lead Zeppelin te meten zonder de door ons gebruikte SQUID-magnetometer te laten verdrinken in ruis.

In hoofdstuk 4 lanceren we de Lead Zeppelin: we tonen aan dat de Lead Zeppelin inderdaad zweeft en dat we dit kunnen meten. We zien ook dat de beweging wordt aangeslagen door externe vibraties. Bovendien bemerken we dat de Zeppelin een niet-lineaire component heeft in zijn bewegingsvergelijking, wat zich onder andere uit in het verband tussen de resonantiefrequenties van de Zeppelin en de levitatiestroom, alsmede in mengtermen tussen verschillende trillingsmodi van de Zeppelin. Uit de metingen blijkt verder dat de dempingscoëfficiënt van de Lead Zeppelin gedomineerd wordt door interactie met omringend Heliumgas.

We sluiten met hoofdstuk 5 af met een korte discussie en enkele tijdens de metingen bedachte verbeteringen. Het is bijvoorbeeld wenselijk om beter de externe vibraties te ontkoppelen van het experiment, waar we methoden voor aandragen, en om de demping op de Lead Zeppelin te verlagen teneinde zijn gebruik als sensor voor steeds kleinere krachten werkelijkheid te maken. Sommige van de voorgestelde verbeteringen zijn al gefabriceerd en hoeven nog slechts te worden getest; worden zij aan de praat gekregen, dan is een zwaartekrachtmeting tussen massa's lichter dan ooit tevoren binnen handbereik.



