



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Vibrations in materials with granularity

Zeravcic, Z.

### Citation

Zeravcic, Z. (2010, June 29). *Vibrations in materials with granularity*. Casimir PhD Series. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/15754>

Version: Corrected 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/1887/15754>

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

---

## SAMENVATTING

---

De aard van een *golf* hangt af van zijn fysische oorsprong; in dit proefschrift ligt de nadruk op mechanische golven. Verstoringen die zich in de tijd en de ruimte voortplanten door een medium (d.w.z. *mechanische golven*), brengen gewoonlijk energie over tussen punten die ver uit elkaar liggen, maar veroorzaken, als de amplitude van de trilling klein genoeg is, geen permanente verplaatsing van de elementaire bestanddelen van het medium. Deze bouwstenen, hoe groot of hoe klein ze ook zijn, trillen slechts om hun evenwichtsposities heen. Koppeling tussen de elementaire bestanddelen van het medium maken het mogelijk dat de trilling van één deeltje een trilling in een ander deeltje veroorzaakt, zo vormen zij een emergente golf. De golf bestaande uit trillingen is de *elementaire excitatie* die een mechanische systeem beschikbaar heeft en bepaalt de reactie van het systeem op verstoringen van buiten af.

Stel je nu voor dat er imperfecties zijn in het medium die lokaal de eigenschappen van het materiaal veranderen. Het klassieke beeld van de vaste stof fysica is dat men, zolang de hoeveelheid wanorde als gevolg van de imperfecties klein is, over de eigenschappen van het systeem kan nadenken in termen van coherente golven die verstrooid worden door de imperfecties. In deze manier van denken neemt de hoeveelheid verstrooiing simpelweg toe met de hoeveelheid wanorde. Dit simpele, perturbatieve, beeld is echter te naïef. 50 jaar geleden al is ontdekt dat voor elektronische systemen, bij genoeg wanorde, de golven zich kunnen lokaliseren in een klein gedeelte van het materiaal. Dit leidt tot fundamentele veranderingen in de mechanische, thermodynamische, statische en dynamische eigenschappen van het systeem.

In dit proefschrift behandelen we *materialen met granulariteit* — materialen die bestaan uit deeltjes die groot genoeg zijn dat de temperatuur geen rol speelt in de dynamica van het systeem. We bestuderen hun trillingseigenschappen, die sterk worden beïnvloed door verschillende soorten wanorde — in de posities, in de massa en in de wisselwerking.

Één soort systeem dat we onderzoeken zijn modellen voor granulaire materialen (maar ook schuimen, colloïdale glazen enz.). Dit zijn samenvattingen van zachte, wrijvingsloze deeltjes die elkaar afstoten als ze in contact zijn. Beginnend met een verdund systeem, *jammen* deze systemen (lopen zij vast) in een rigide structuur die weerstand biedt tegen schuifspanning voordat ze begint te stromen. Voor de simpelste deeltjes — bollen — laten deze systemen schalingsgedrag zien als functie van de afstand tot het *jammingspunt* en zijn ze uitgebreid bestudeerd gedurende de afgelopen tien jaar. De trillingen in deze systemen hebben veel bijzondere eigenschappen

vergeleken met de bekende systemen in de gecondenseerde materie, en bieden daarvoor een cruciaal inzicht in de structuur van vastgelopen systemen. Deze kennis zou ook nieuw licht kunnen werpen op glazen, al lange tijd een onopgeloste puzzel.

In hoofdstuk 2 richten we ons op samenpakkingen van zachte, wrijvingsloze omwentelingsellipsoïden in de buurt van het *jammingpunt*, we vragen ons af hoe de verandering van de vorm van de deeltjes de robuustheid van gedrag rond het vastlooppunt beïnvloedt. We hebben ontdekt dat bij de *jammingovergang* voor ellipsoïden, anders dan bij het geïdealiseerde geval van bollen, er veel onbeperkte en niet-triviale rotationele vrijheidsgraden zijn. Deze vormen samen een verzameling frequentienul trillingsvormen die langzaam mobiliseren tot een nieuwe rotationele band als de ellipticiteit toeneemt. Deze nieuwe band wordt, verassend genoeg, gescheiden van de frequentie nul door een verboden zone en ligt onder de laagste frequentie voor translationele trillingen. We hebben ontdekt dat deze nieuwe vrijheidsgraden niets veranderen aan het basis scenario dat het spectrum slechts bepaald wordt door de geometrie van de samenpakking.

Hoofdstuk 3 gaat over het lokaliseren van trillingsvormen in wrijvingsloze samenpakkingen van bollen. We introduceren een nieuwe methode, gemotiveerd door eerder werk op niet-Hermietse kwantum problemen. Deze methode werkt zowel goed in het gelokaliseerde regime, waar de trillingsgolven in het systeem zijn gelokaliseerd, als in het regime waar trillingsvormen uitgebreid zijn over het hele, eindige, systeem. Dat laatste is met name belangrijk omdat de lokalisatie die in twee dimensies veroorzaakt wordt door wanorde slechts in systemen die groot genoeg zijn kan worden waargenomen. Voor dit regime leiden wij een schalingsrelatie af voor de lokalisatie-eigenschappen door gebruik te maken van het gereedschap van willekeurige-matrixtheorie, een bekende methode om om te gaan met willekeurigheid in wanordelijke systemen.

Het tweede type systeem dat we in dit proefschrift onderzoeken zijn clusters van wisselwerkende bubbels. De collectieve dynamica van een dergelijk systeem zijn relevant voor het dempen en absorberen van geluid onderwater met behulp van wolken of gordijnen van bubbels, het (afwerende) effect van bubbelgordijnen op scholen vissen, de productie van geluid door kolonies pistoolgarnalen, het detecteren van onderzeeboten, diagnostiek met behulp van ultrasoon geluid en contrastvloeistof, het akoestisch breken van nierstenen, en vele andere industriële toepassingen. In deze systemen zijn de oscillaties in het volume van individuele bubbels in een cluster akoestisch gekoppeld. Het is daardoor uiteraard belangrijk om de reactie van bubbelclusters te onderzoeken op van buiten af aangebrachte geluidsgolven.

In hoofdstuk 4 kijken we naar de collectieve trillingen van een wolk bubbels in een akoestisch veld, gebruikmakend van methodes uit de gecondenseerde materie. Vergeleken met het vibrationele model van *jammed* stoffen, hebben bubbels zelfs wisselwerking als zij zich op grote afstand van elkaar bevinden en kunnen zij energie dissiperen, waardoor golven gedempt worden. Voor clusters die groot genoeg zijn is de collectieve reactie vaak erg anders dan een typische trillingsvorm, aangezien iedere trillingsvorm op genoeg frequenties reageert, dat veel trillingsvormen worden geëxciteerd als de wolk door ultrasoon geluid wordt aangedreven. De reden is het sterke

effect van viscositeit op de collectieve trillingsvorm, hetgeen verassend is aangezien het effect van visceuze demping klein is voor een enkele bubbel in water. Lokalisering van akoestische energie wordt alleen gevonden in het geval van veel wanorde in de positie of de straal van de bubbels. Het uitblijven van exponentiële lokalisatie in het geval van beperkte wanorde kan worden herleid tot de wisselwerking op grote afstand tussen de bubbels.

