



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Granular flows : fluidization and anisotropy

Wortel, G.H.

Citation

Wortel, G. H. (2014, November 19). *Granular flows : fluidization and anisotropy*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/29750>

Version: Not Applicable (or Unknown)

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/29750>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/29750> holds various files of this Leiden University dissertation

Author: Wortel, Geert

Title: Granular flows : fluidization and anisotropy

Issue Date: 2015-11-19

Samenvatting

Dit proefschrift gaat over de natuurkunde van de stroming van granulaire materialen. Een granulair materiaal, zoals zand, is een materiaal dat bestaat uit losse korrels. Hoewel één korrel een simpel object is, kan het collectieve gedrag van miljarden korrels samen erg ingewikkeld zijn. In verrassend veel gevallen is het niet precies bekend hoe een granulair materiaal zich gedraagt en dat terwijl dit soort materialen zowel in het leven van alledag, als in de industrie, als in de natuur enorm veel voorkomen.

Net als materialen zoals water, dat als ijs, vloeibaar water en damp voor kan komen, kan zand ook verschillende toestanden (fases) aannemen. Als je bijvoorbeeld over het strand loopt, dan gedraagt zand zich als een stevige vaste stof, maar als je na afloop het zand uit je schoenen giet, dan stroomt het als een vloeistof. Het voornaamste deel van dit proefschrift gaat over experimenten waar we onderzoeken wat er precies gebeurt als je zand een beetje “vloeibaar” probeert te maken door het zachtjes te schudden.

Als twee lagen zand langs elkaar stromen, is er een relatief dunne *afschuifzone* waar de korrels daadwerkelijk langs elkaar schuren. Het is gebleken dat zandstroming vrij goed te begrijpen is, als je deze afschuifzone beschouwt als twee oppervlakken die langs elkaar bewegen met een zekere wrijving. Opvallend genoeg hangt de benodigde kracht niet af van de stroomsnelheid, dit omdat de kracht vooral gebruikt wordt om de wrijving te overwinnen. In hoofdstuk 3 onderzoeken we of dit beeld blijft kloppen als het zand zachtjes geschud wordt. We vinden dat ook het gedrag van heel zacht geschud zand bepaald wordt door wrijving. Echter, de wrijvingsweerstand hangt nu af van hoe hard je precies schudt én van hoe snel het zand stroomt. Als je iets harder schudt, gebeurt er iets heel anders. Het zand wordt nu zo zacht dat je andere natuurkunde, namelijk die van vloeistoffen, nodig hebt om de zandstroming te beschrijven.

Als je een plank met zand steeds iets schever houdt, glijdt het zand voor een zekere hoek ineens hard naar beneden. Het is onmogelijk om zand rustig van de plank te laten stromen. Wanneer de korrels zacht geschud worden, is trage stroming wel mogelijk. Echter, het zand is slechts “vloeibaar” genoeg om heel traag te stromen en er zijn nog steeds tussenliggende snelheden die niet mogelijk zijn. Hoe harder je schudt, hoe meer snelheden er mogelijk worden. Boven een zekere kritische schudintensiteit zijn alle snelheden toegestaan. In hoofdstuk 4 bestuderen we de trage en snelle stroming en de overgang ertussen. We beschouwen dit vanuit het belangrijke, *kritische* punt waar de twee soorten stroming samenkomen.

Als zand een bepaalde kant op heeft gestroomd, heeft die richting zich in het systeem ingebouwd. Dit resulteert erin dat wanneer je het zand nu nogmaals wilt laten stromen, het meer kracht kost om dit weer in dezelfde richting te doen dan in de tegengestelde. We zeggen dat de pakking *anisotroop* is. In hoofdstuk 5 laten we zien dat je deze anisotropie kunt meten door te kijken hoe deze uit de pakking verdwijnt als het systeem geschud wordt. We vinden een relatie tussen hoeveel kracht op het zand werd uitgeoefend toen het stroomde en de resulterende anisotropie. Dit vertelt ons dat anisotropie een cruciaal ingrediënt is voor het begrijpen van zandstroming.

In hoofdstuk 6 bestuderen we de stroming van staafvormige deeltjes. Een belangrijk verschil tussen staaf- en bolvormige deeltjes is dat het voor staafvormige deeltjes van belang is in welke richting ze liggen. Granulaire materialen zetten typisch uit als je ze laat stromen, maar staafjes kunnen zich ordenen waardoor ze juist een zeer hoge dichtheid bereiken. Uit onze stromingsexperimenten, waar we, als we staafjes laten stromen, een heuvel zien verrijzen uit het oppervlak, blijkt dat de uitzetting het van de ordening wint. Uit metingen in een CT-scanner, waarbij we ook de deeltjes onder het oppervlak kunnen zien, blijkt dat er in het midden van het systeem tevens een continue stroming van deeltjes omhoog is die het groeien van de heuvel veroorzaakt. Aan de rand van de heuvel vallen de deeltjes dan weer naar beneden. Dit is een mooi voorbeeld van de invloed van de vorm van de deeltjes op hun stromingsgedrag.