



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Foam Rheology Near the Jamming Transition

Woldhuis, E.L.

Citation

Woldhuis, E. L. (2013, December 11). *Foam Rheology Near the Jamming Transition*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/22836>

Version: Not Applicable (or Unknown)

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

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/22836>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/22836> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Woldhuis, Erik

Title: Foam rheology near the jamming transition

Issue Date: 2013-12-11

Samenvatting

Als zachte, elkaar afstotende deeltjes, zoals schuimbellen en emulsiedruppels, langs elkaar worden geschoven, vertonen zij interessant, schalingsgedrag. Dit gedrag wordt beheerst door een kritische punt, dat het *jamming* punt wordt genoemd; dit punt bevindt zich bij een schuifsnelheid van nul en een pakkingsdichtheid van ongeveer 0,84. Het complexe stromingsgedrag, of de rheologie, van systemen nabij *jamming* is het onderwerp van intense studie, aangezwengeld door het werk van Olsson en Teitel [11]. Zoals we bespreken in hoofdstuk 1, hebben verschillende onderzoeksgroepen verschillende, vaak tegenstrijdige, fenomenologische beschrijvingen van het rheologisch gedrag gevonden in systemen die onderling licht van elkaar verschillen. Hoewel volgens het standaard kritische schalingsparadigma kleine verschillen in de microscopische wisselwerking tussen de deeltjes geen invloed zouden moeten hebben op het rheologisch gedrag, beweren wij dat deze microscopische details wel degelijk belangrijk zijn voor het rheologisch gedrag van stromende materialen rond de *jamming* overgang.

Om dit te laten zien, ontwikkelen we in hoofdstuk 3 een model dat het rheologisch gedrag beschrijft, uitgaande van drie aannames die expliciet afhangen van de microscopische wisselwerking tussen de deeltjes. Dit model gaat uit van drie ingrediënten: behoud van **E**nergie, het concept van een **E**ffectieve deformatie in de stationaire toestand, en een constitutieve **E**lasticiteitsvergelijking die de effectieve deformatie en de schuifspanning verbindt. We noemen dit model het 3E model. Uit deze drie aannames voorspellen we het bestaan van een stromend Kritisch regime waarin de viscositeit afneemt bij toenemende afschuifsnelheid (bij hoge afschuifsnelheid en lage dichtheid), een vastestofachtig Vloeigrensregime (bij lage afschuifsnelheid en hoge dichtheid) en een nieuw Overgangsregime ertussenin.

In hoofdstuk 3 testen we ons model in computer simulaties van zachte masaloze deeltjes onder constante afschuiving en de resultaten van de simulaties zijn ruwweg consistent met ons 3E model. Echter, het Vloeigrensregime is lastig te bereiken: het vereist ofwel zeer hoge dichtheden ofwel zeer lage afschuifsnelheden; daarnaast is de overgang van het Vloeigrens- naar het Overgangsregime erg geleidelijk, waardoor de twee regimes lastig uit elkaar te halen zijn. Hierdoor is het moeilijk het model tot in alle details te testen. Om het

model toch beter te kunnen testen en het voorspellend vermogen van het model te vergroten hebben we een aantal uitbreidingen aan ons 3E schalingsmodel gemaakt.

De eerste uitbreiding van ons model is de overstap naar een volledig kwantitatief model, hetgeen we in hoofdstuk 4 introduceren en het Q3E model noemen. In dit kwantitatieve model zijn alle voorfactoren expliciet gemaakt en opgenomen. Deze nieuwe formulering stelt ons in staat om de drie ingrediënten van het model expliciet en kwantitatief te testen. Wederom zijn de simulaties consistent met ons model. In hoofdstuk 5 breiden we ons model uit naar een beschrijving van de loodrechte componenten van de spanningstensor. Hier blijkt dat we een empirische aanpassing van de constitutieve elasticiteitsvergelijking nodig hebben: de spanning hangt niet-lineair, in plaats van lineair, af van de effectieve deformatie. Met deze aanpassing is het model wederom consistent met onze simulaties.

In hoofdstuk 6 richten we onze aandacht op de fluctuaties in de relatieve beweging van de deeltjes bij stationaire stroming; het 3E model voorspelt dat de verhouding tussen de relatieve snelheden Δv en de afschuifnelheid divergeert voor langzame stromingen. Dit is een direct gevolg van energiebehoud in ons systeem, waar de dissipatiesnelheid wordt bepaald door het tweede moment van de verdeling van Δv . We bevestigen deze trend in het tweede moment van Δv in computer simulaties. Opvallend genoeg zijn we in staat om de volledige waarschijnlijkheidsverdeling van de relatieve snelheid van deeltjes in contact in detail te beschrijven. Hoewel een verklaring ontbreekt voor het schalen van het vierde en zesde moment van de verdeling, zijn we in staat deze te beschrijven met vergelijkbare schalingsfuncties als bij het tweede moment.

Ten slotte breiden we, in hoofdstuk 7, ons model uit voor niet-lineaire microscopische wisselwerking tussen de deeltjes. We stellen een natuurlijke uitbreiding van ons model voor en leiden af dat het inderdaad voorspelt dat het globale rheologische gedrag afhangt van de details van de microscopische wisselwerking tussen de deeltjes - in tegenstelling tot wat standaard kritische schalingstheorie zegt.

We testen deze belangrijke voorspelling op drie verschillende manieren. De eerste test die we hebben uitgevoerd is de vergelijking van ons model met twee experimentele onderzoeken: het stromende schuim van Katgert *et al.* [37] en de colloïd rheologie van Nordstrom *et al.* [39]. In beide gevallen presteert het model goed, al zijn er enkele uitzonderingen. De tweede test is het vergelijken van het model met simulaties, beschreven in hoofdstuk 8. Dit stelt ons in staat om de microscopische wisselwerking over een groter bereik te veranderen. Hoewel we slechts voorlopige resultaten uit onze simulaties hebben verkregen, zijn deze consistent met het model en laten ze duidelijk zien dat het macroscopisch gedrag afhangt van de microscopische wisselwerking tussen de deeltjes. Ten slotte vergelijken we ons model met simulaties op basis van een nieuwe code die ook de massa van de deeltjes meeneemt. Dit maakt de code realistischer maar helaas ook minder robuust. Daardoor zijn we beperkt tot een

kleine groep microscopische wisselwerkingen. Zelfs binnen deze kleine groep is maar een gedeelte consistent met ons model. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door het feit dat de aanwezigheid van massa een singuliere verstoring is op het massaloze geval.

