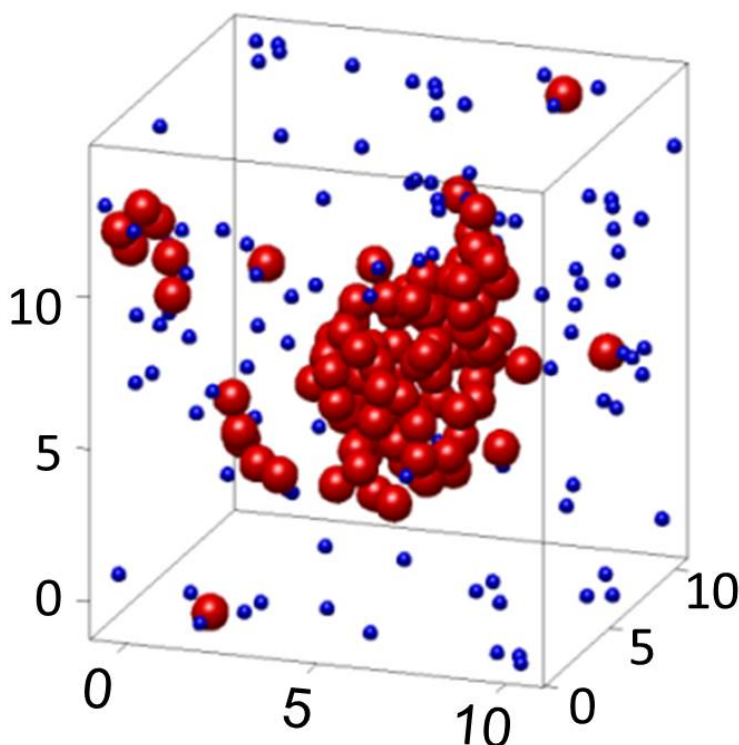


Nucleatie van vloeistoffen zichtbaar gemaakt

Onderzoekers van het UvA-Institute of Physics (IoP) en de Universiteit Leiden hebben een nieuwe techniek ontwikkeld voor het visualiseren en meten van het nucleatieproces dat verantwoordelijk is voor het ontstaan van kleine vloeistofdruppels in damp. De resultaten, deze week gepubliceerd in *Physical Review Letters*, verbeteren het begrip van de processen op de nanoschaal die ten grondslag liggen aan de nucleatie van vloeistoffen, en helpen bij het ontwikkelen van betere modellen voor nucleatie in andere vakgebieden, van nanowetenschappen tot atmosfeeronderzoek.



Afbeelding 1. Nucleatie.Een vloeistofkern, waargenomen met behulp van modeldeeltjes die de atomen voorstellen. De rode bolletjes zijn de vloeistof-achtige deeltjes, de blauwe bolletjes geven gasdeeltjes weer. Deze kern bleek in de waarnemingen precies groot genoeg om stabiel te blijven en te gaan groeien. De afstanden langs de assen zijn weergegeven in micrometers.

Nucleatie is de eerste stap in de vorming van een vloeistof vanuit de dampfase. Denk aan het ontstaan van wolken, wat gebeurt wanneer ineens minuscule waterdruppeltjes ontstaan uit de waterdamp in de lucht. Deze allerkleinste druppels, die het condensatieproces op gang brengen, heten 'kernen' – niet te verwarren met de kernen van individuele atomen – en hun rol in het opstarten van de vloeistofvorming is cruciaal voor processen in de atmosfeer, katalytische reacties en industriële processen.

Hoewel nucleatie al bijna een eeuw bestudeerd wordt, blijft het moeilijk om de snelheid van het proces te voorspellen: de eigenschappen van de kleine, nanometers grote kernen die de nucleatie bepalen – eigenschappen zoals de oppervlaktespanning – zijn niet goed bekend en lastig direct te meten. De nieuwe visualisatietechniek gebruikt microscopisch kleine bolvormige deeltjes om dit probleem op te lossen.

Mentos en Coca-Cola Light

Het nucleatie-effect komt ook voor in ons dagelijks leven. Iedereen kent het onverwacht overstromen van een fles bronwater als die bij het vervoeren geschud is. Dit effect wordt nog eens dramatisch versterkt in het beroemde Coca-Cola Light-Mentos-experiment. Een Mentosnoepje dat in een fles Coca-Cola Light wordt gedaan, leidt tot explosief overstromen van de drank. Deze explosieve overstroming ontstaat door een plotselinge nucleatie van het koolzuurgas, dat in het drankje is opgelost met een concentratie die eigenlijk 'te hoog is' – dat wil zeggen: hoger dan het verzadigingsniveau. Onder normale omstandigheden wordt de snelheid van dit proces begrensd door de nucleatie, aangezien er eerst kleine gasbelletjes gevormd moeten worden. Het maken van het oppervlak van deze gasbellen in de vloeistof kost energie: de zogeheten oppervlaktespanning. Wanneer er echter onzuiverheden of ruwe oppervlakken aan de vloeistof worden toegevoegd, neemt de nucleatie-energie substantieel af, en wordt het proces dramatisch versneld.

Micrometers grote bolletjes

Nucleatie vindt niet alleen plaats wanneer gassen uit vloeistoffen ontstaan, maar komt ook voor bij het omgekeerde proces, zoals bij de vorming van wolken. De onderzoekers zijn er nu in geslaagd om dit omgekeerde proces, de nucleatie van een vloeistof vanuit oververzadigde damp, direct te visualiseren. In plaats van een normale vloeistof gebruikten ze hiervoor een modelmateriaal dat is opgebouwd uit minuscule, micrometers grote bolletjes die in een oplosmiddel zweven. Net als echte atomen kunnen deze deeltjes alle toestanden van materie aannemen – gas, vloeistof en vaste stof – en ze gedragen zich ook in veel andere opzichten net als atomen.

Omdat de deeltjes zo'n tienduizend keer groter zijn dan atomen, kunnen ze gemakkelijk driedimensionaal afgebeeld worden, wat een rijk inzicht verschaft in processen op de atomaire schaal in de verschillende toestanden van materie, en in de overgangen tussen die toestanden. Door de aantrekkende kracht tussen de deeltjes te laten toenemen, konden de onderzoekers ze laten condenseren van een gasvormige naar een vloeibare toestand. Omgekeerd konden ze de gecondenseerde vloeistofoestand ook laten 'verdampen' door de aantrekking te verminderen. Door deze processen onder de microscoop te bekijken, konden de wetenschappers het nucleatieproces in ongekend detail volgen, en slaagden ze erin om driedimensionale afbeeldingen te maken van de vormen van de kernen – zie afbeelding 1. Uit de verschillende vormen kon vervolgens de oppervlaktespanning bepaald worden: de cruciale grootte die de nucleatie drijft en die tot nu toe niet in experimenten gemeten kon worden.

Controverse opgelost

De metingen bevestigen eerdere resultaten die met behulp van computersimulaties waren verkregen. De oppervlaktespanning daalde wanneer de kernen kleiner werden, en het oppervlak op atomaire schaal dus meer gekromd. Deze bevestiging van de simulatieresultaten is van belang omdat die resultaten in strijd waren met eerdere theoretische voorspellingen. De directe metingen aan vloeistofkernen lossen deze oude controverse op, en helpen de nucleatiesnelheid te begrijpen en voorspellen. Daar komt nog bij dat recente metingen in het International Space Station, waarbij enkele van dezelfde onderzoekers betrokken waren, hebben laten zien dat het nucleatieproces mogelijk veel

breder van toepassing is dan eerst werd gedacht - voorbij de gewone gas-vloeistofovergang, bij de vorming van grote clusters van moleculen zoals eiwitten. De resultaten verschaffen dus belangrijke inzichten in het ontstaan van gecondenseerde toestanden van materie in vakgebieden die variëren van nanowetenschappen tot scheikunde en metrologie.

Referenties

1. V. D. Nguyen, F. C. Schoemaker, E. M. Blokhuis, en P. Schall, *Measurement of the Curvature-Dependent Surface Tension in Nucleating Colloidal Liquids*, Phys. Rev. Lett. **121**, 246102 (2018).
2. M. A. C. Potenza, S. J. Veen, P. Schall en G. H. Wegdam, *Nucleation of weakly attractive aggregates in microgravity*, Europhys. Lett. **124**, 28002 (2018).

Afbeelding blokkenschema voorpagina: [Kevin Udy](#).