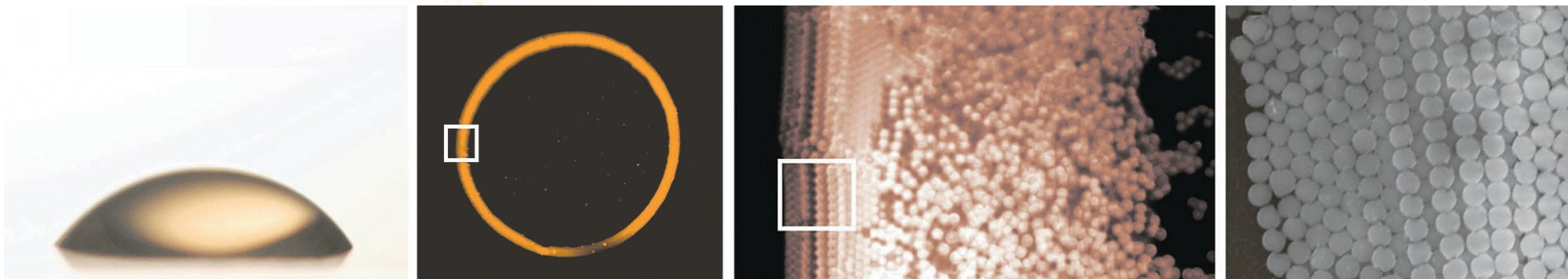


Een koffievlek vormt zich in twee stappen – eerst rustig en regelmatig, dan chaotisch



Van links naar rechts: een 'nepkoffie'-druppel met een diameter van ruim een millimeter, de ring van 'koffiedeeltjes' (nagebootst met polystyreenbolletjes) die achterblijft als het water verdamppt, vijftig keer uitvergroet, en nog eens twee maal verder uitvergroet. Beeld TU Twente

De verfijnde fysica van koffievlekken

Koffiedruppels drogen altijd op met een duidelijk donker randje. Twentse fysici ontdekten waarom dat zo is toen ze stromende deeltjes binnen een verdampende druppel filmde.

Door onze redacteur

MARGRIET VAN DER HEIJDEN

ROTTERDAM. Het is iets om te overdenken op een warme lome zomerdag. Of juist als de regen klettert en je moedeloos naar het tafelblad staart. Waarom droogt een druppel koffie op met een donker randje? Waarom krijgt niet de hele vlek dezelfde vage koffiekleur?

Maar wie had gedacht dat het antwoord op die vraag op *Youtube* is te vinden? Daar staat het filmpje dat Twentse fysici kort geleden presenteerden op een Amerikaans congres over vloeistofdynamica. Het heeft fijne tekeningetjes en een achtergrondmuziekje.

In het vakblad *Physical Review Letters* verscheen vorige week het bijbe-

horende artikel. Het beschrijft het meest verfijnde model van een opdrogende koffiedruppel tot dusver.

Het antwoord in grote lijnen werd vijftien jaar geleden al gevonden door Sidney Nagel, een natuurkundehoogleraar in Chicago die zich verbaasde over de vlekken op zijn aanrecht. Zijn verklaring was even eenvoudig als elegant. Wanneer water uit een koffiedruppel verdamppt, beginnen de randen van die druppel als eerste te verdrogen. Daardoor komt vanaf het midden van de druppel een stroom op gang die vers water naar de randen brengt. En passant voert die stroom ook koffiedeeltjes mee.

Als ook het aangevoerde water vervolgens verdamppt, blijven deze donkere deeltjes achter – aan de rand dus.

Maar: waarom groeit de donkere rand het snelst aan op het laatst als de druppel al bijna is verdwenen? En waarom ziet de binnenkant ervan er veel wanordelijker uit dan de nette buitenkant?

Die vragen hebben Twentse fysici onder aanvoering van Jacco Snoeijer nu beantwoord door een druppel nepkoffie vanuit allerlei hoeken te volgen met een camera die aan een microscoop was gekoppeld. En tijdens het opdrogen uiteraard. Ze maten bovendien de stroomsnelheid in de druppel.

Zo zagen de fysici dat het proces in



twee etappes verloopt, legt één van hen, Hanneke Gelderblom, uit. Aanvankelijk is de stroomsnelheid naar de randen toe laag – deeltjes worden meegevoerd met een vaartje van 1 micrometer per seconde. Aangekomen bij de rand hebben ze alle tijd om, via diffusie, een geschikte plek op te zoeken. Zo rangschikken de deeltjes zich in een regelmatige kristalvorm.

Maar als de druppel verder verdamppt en platter wordt, groeit de stroomsnelheid. Gelderblom: „Het is net als wanneer je een tuinslang een beetje dichtknijpt. Wanneer dan door zo'n nauwere opening toch evenveel water moet passeren, stroomt dat water sneller.”

De meegelepte koffiedeeltjes

doen dat ook en bewegen nu met wel 10 micrometer per seconde. Gelderblom: „Daardoor hebben ze geen tijd meer om een mooi plekje in de rand te zoeken. Voor ze dat kunnen doen, zijn ze al klemgezet door vers aangevoerde deeltjes.” In plaats van als een kristal oogt de rand hier dus meer als een chaotische verkeersopstopping, die razendsnel aangroeit.

Waarvoor is deze kennis van belang? Gelderblom: „In onze nepkoffie gebruikten we minuscule polystyreenbolletjes van gelijke grootte, maar je ziet eenzelfde proces ook in melk, inkt en alle andere vloeistoffen waarin kleine deeltjes zweven. Soms wil je dat zulke vloeistofdruppeltjes zonder kringen opdrogen – in inktprinters of in coatings bijvoorbeeld. En soms wil je het droogproces juist gebruiken om een heel mooi ringetje met een kristalstructuur te maken – voor minuscule structuurtjes op chips bijvoorbeeld. In al die gevallen komen onze inzichten van pas.”

Het filmpje is te vinden op *Youtube*. Tik de zoekterm

'*evaporation coffee drops*' in en het verschijnt bovenaan de lijst met zoekresultaten.



Vloeistoffilmpjes

Het filmpje over het verdampen van koffiedruppels was een winnende inzending voor de *Gallery of Fluid Dynamics*. Die 'galerie' stelt foto's en video's ten toon tijdens de jaarlijkse bijeenkomst van de afdeling vloeistofdynamica van de *American Physical Society*. Dat fysici uit deze hoek hun werk graag met video's en foto's illustreren is niet zo gek. Bij hun onderzoek gebruiken zij heel vaak camera's. Die leggen de processen vast tijdens vloeistofstroming, druppelvorming of bijvoorbeeld het ontmengen van emulsies. En leveren mooie plaatjes. Dit jaar onder meer van muizen, ratten en honden die in slowmotion water uit hun vacht schudden, van oliedruppeltjes die door water bewegen en van een magische suspensie van magnetische deeltjes.

www.aps.org/units/dfd/press-room/videos/index.cfm