De raadselachtige kameleonmok

“Kameleonmokken” – drinkbekers die van kleur veranderen als je er hete thee of koffie in giet – zijn de laatste tijd erg populair. Het viel QU-hoofdredacteur Marcel Vonk op dat zulke mokken naast de kleurverandering nóg een leuk natuurkundig verschijnsel vertonen.

Afbeelding 1. Een kameleon.Kleurverandering komt overal in de natuur voor – van het dierenrijk tot het keukenkastje. Foto: Yosemite.

Soms zit boeiende natuurkunde in de kleinste dingen. Zo kreeg mijn vriendin laatst een “kameleonmok”: een beker die van kleur verandert als je hem vult met hete koffie of thee. Ik

was zo'n mok nog nooit eerder tegengekomen, maar kennelijk zijn ze populair, want deze week kreeg ik zelf bij de promotie van de Bonn Physics Show ook een dergelijke mok.

Thermochromisme

Natuurlijk is het meteen duidelijk dat zich in zo'n mok leuke natuurkunde afspeelt. Want waarom verkleurt de mok eigenlijk? Wat zoeken op het internet leert dat dit verschijnsel "thermochromisme" heet – eigenlijk een verzamelnaam voor een heleboel verschijnselen die allemaal hetzelfde effect teweeg brengen: kleurverandering bij temperatuurverandering. Zo zijn er kristallen die van structuur veranderen als de temperatuur toeneemt, waardoor ze licht van andere golflengtes gaan reflecteren. In de meeste thermochromische verf (zogeheten leuco-verf) wordt een ander proces gebruikt: hier zijn het individuele moleculen die bij een bepaalde temperatuur een andere "voorkeursstructuur" krijgen – een vorm of samenstelling die bij die temperatuur energetisch gunstiger is dan de vorm of samenstelling bij lagere temperatuur. Ook die verandering zorgt er vervolgens voor dat het molecuul licht met andere golflengtes (en dus: andere kleuren) gaat reflecteren.

Thermochromisme is een onderwerp voor een artikel op zich, maar bij zowel de mok van mijn vriendin als bij die van mezelf viel me nóg een verrassend natuurkundig verschijnsel op. Een verschijnsel dat niets met het kleurveranderingsproces te maken heeft – al helpt dat proces het wel om het aan te tonen. Bekijk het onderstaande filmpje van mijn eigen mok:

Het valt op dat de mok van onderen af begint te verkleuren – logisch, want daar komt de warme vloeistof het eerst. Helemaal onderaan blijft de mok nog blauw, want het verwarmen van de dikke bodem kost natuurlijk meer tijd dan het opwarmen van de dunne wand. De kleurverandering trekt vervolgens omhoog – ook nog zoals je zou verwachten – maar op het allerlaatst is er een omslag, en het laatste stukje verkleuring gaat juist van boven naar beneden! Hoe komt dat?

Wie het weet…

Mijn eerlijke antwoord: ik weet het niet precies, maar zoals het een goed theoretisch natuurkundige betaamt, heb ik wel mijn hypotheses. Er zijn verschillende processen die hier een rol kunnen spelen:

- Mijn eerste gedachte was: gassen en vloeistoffen die warmer worden, zetten uit, krijgen daardoor een lagere dichtheid, en stijgen op. Dat heeft in de mok twee gevolgen. Ten eerste zal als de mok vol zit, het water bovenin iets warmer zijn dan onderin. Verder: boven het langzaam stijgende waterpeil ontstaat stoom, en die stoom is nog wat heter dan het water – het zijn immers de snelste, dus heetste, watermoleculen die aan het water ontsnappen – en die stoom stijgt vervolgens ook op. Ook alles wat bóven het water zit wordt dus flink opgewarmd, en de bovenste rand van de mok ontvangt de meeste hete stoom. Dat verklaart in elk geval waarom ook de bovenrand van de mok al snel warm wordt, maar is dit ook genoeg om het effect te verklaren? Waarschijnlijk niet.
- Mijn tweede gedachte: aan de bovenkant is de mok open. Daar krijgt de stoom dus de kans om ook buiten de mok te komen, en wellicht wordt de bovenkant van de mok daardoor ook van buiten iets verwarmd, terwijl dat aan de onderkant niet gebeurt. Het is zeker mogelijk dat dit gebeurt, maar tegelijkertijd zal het effect niet heel groot zijn – zoals gezegd: het merendeel van de stoom stijgt immers op. Wel zit de verflaag van de mok natuurlijk aan de buitenkant, dus áls er verwarming van buiten optreedt zal dit veel sneller effect hebben dan de verwarming van binnen, die eerst door de wand van de mok heen moet trekken.
- Daarover gesproken: hoe zit het eigenlijk met die wand van de mok? Je zou verwachten dat die vrijwel overal even dik is, maar een greep in mijn keukenkastje leert me dat dat niet zo is: vrijwel elke mok is bij de bovenste 1 à 2 cm voelbaar dunner dan daaronder! Vraag me niet waarom – wellicht is er een pottenbakker onder de lezers die dit kan toelichten? Mogelijk is het een gevolg van de manier waarop de mok gemaakt wordt, of gaat het om een bewuste keuze om de mok prettiger te laten drinken – hoe het ook zij: die dunnere wand laat natuurlijk sneller warmte door en zal dus sneller ook aan de buitenkant warm zijn.

Ik vermoed dat alle drie de genoemde effecten een rol spelen, maar dat het vooral het laatste is wat het effect uit het filmpje verklaart. Als ik wat experimenteler ingesteld zou zijn, zou ik nu natuurlijk aan het meten slaan om die hypothese te toetsen, maar ik denk dat ik bij mijn leest blijf – wellicht wil een handige middelbare scholier er nog eens een profielwerkstuk aan wagen, en dan hoor ik erg graag de resultaten!