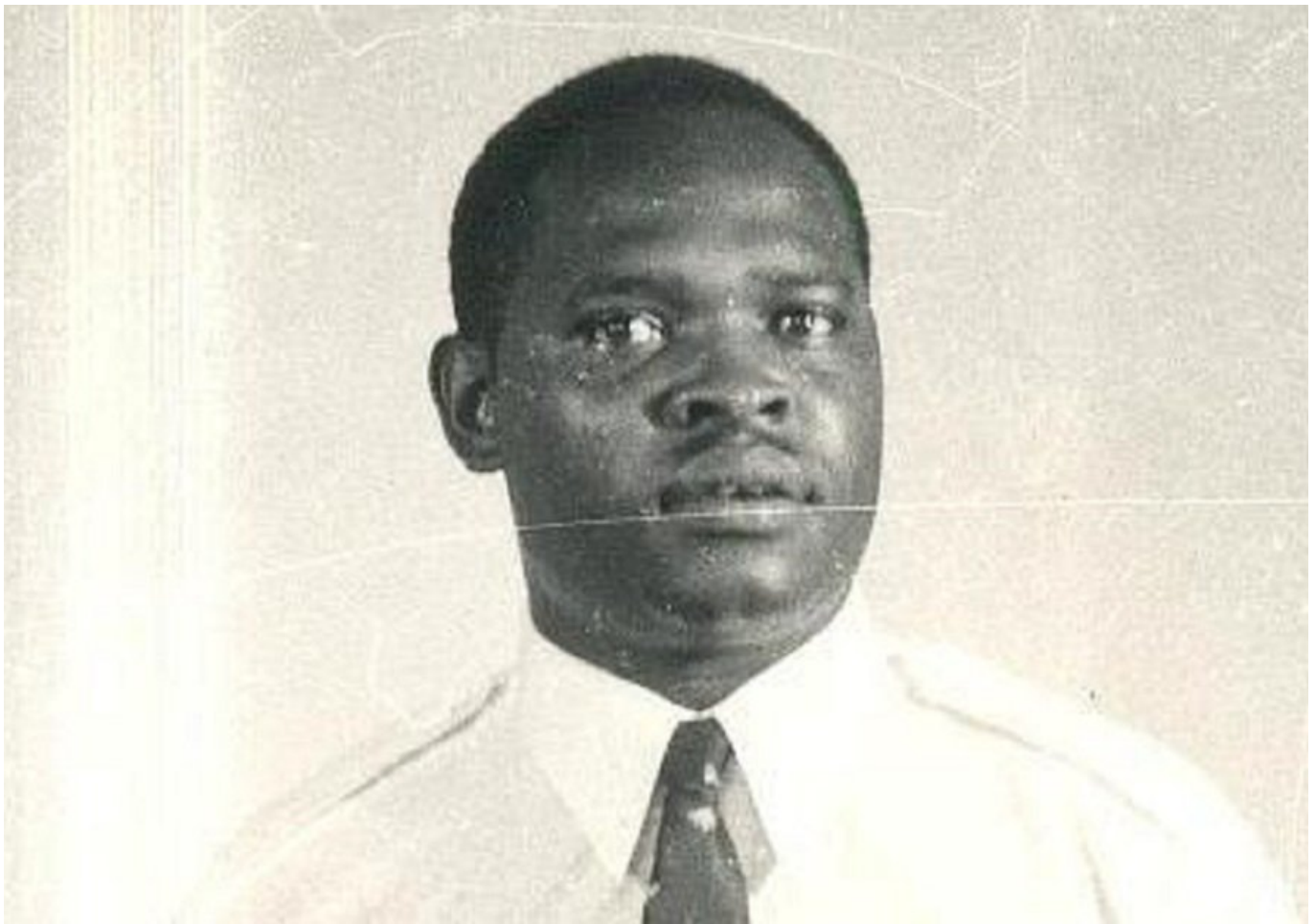


Het Mpemba-effect: hoe warm water sneller bevroest

Een maand geleden verscheen op deze website [een artikel over pathologische wetenschap](#): hoe de combinatie van enthousiasme en naïviteit kan leiden tot wetenschap van dingen die niet bestaan. Vandaag hebben we het over een fenomeen dat perfect in dat plaatje lijkt te passen, maar het kritisch onderzoek van onafhankelijke onderzoekers wél heeft weten te overleven. We hebben het vandaag namelijk over het verrassende “Mpemba-effect”: het onwaarschijnlijk gedrag waarbij warm water sneller weet te bevriezen dan koud water.

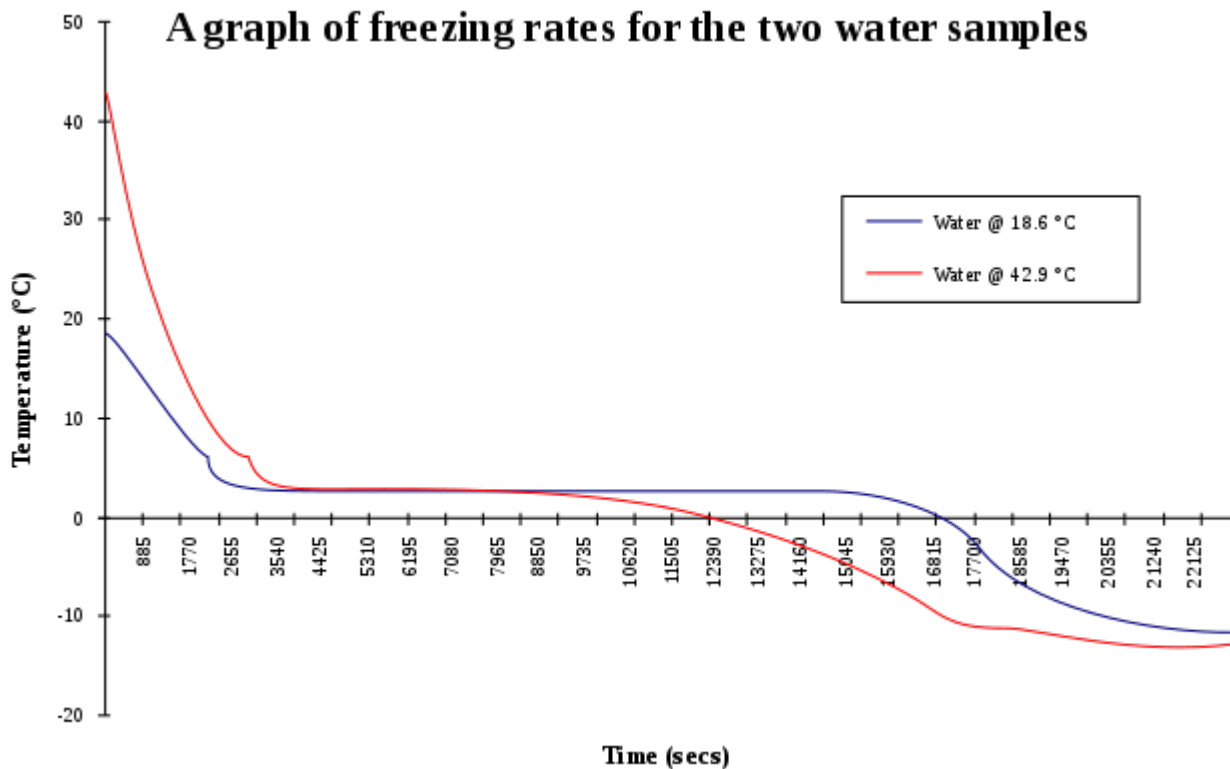


Afbeelding 1. Erasto Mpemba in zijn jonge jaren. De Tanzaniaan Erasto Mpemba (1950) werd op jonge leeftijd bekend door zijn naam te verbinden aan een fenomeen dat ook René Descartes, Francis Bacon en zelfs Aristoteles al hadden opgemerkt: warm water bevriest sneller dan koud water. Afbeelding van [Face2FaceAfrica](#).

Ons verhaal begint in het dorpje Magamba, zo'n 200 kilometer ten noorden van de toenmalige Tanzaniaanse hoofdstad Dar es Salaam. Dat de temperatuur in Afrika hoog kan oplopen, is waarschijnlijk geen verrassing. Het kwik moet op de betreffende dag in 1963 ook hoog gestegen zijn, want de kinderen van de lokale middelbare school maakten vol overgave een partij verfrissend roomijs. Een van de kinderen, een 13-jarige jongen met de naam Erasto Mpemba, had geen tijd om de kokende melk te laten afkoelen voordat hij het in de vriezer kon laten stollen. Tot zijn grote verbazing en ieders ongeloof, leek zijn melk sneller bevroren te zijn dan die van zijn vriendjes die wel eerst hun melk buiten de vriezer hadden kunnen laten afkoelen.

“Dat kan niet gebeuren”, vertelde Erasto's natuurkundeleraar hem, en die had natuurlijk groot gelijk. Newton heeft ons geleerd dat elke stof afkoelt met een snelheid die evenredig is met het verschil tussen de temperatuur van de stof en die van de omgeving. Een stof, zoals kokende melk, zal dus inderdaad aan het begin *sneller* afkoelen dan later in het proces, maar de *totale* tijd die deze stof nodig heeft om tot een eindtemperatuur te komen wordt daardoor niet korter. Een zandloper die met meer zand gevuld is dan een andere, zal ook niet sneller leeg zijn als je ze tegelijk laat lopen. Zo werkt het niet voor zandlopers, en zo werkt het ook niet voor melk of water. Alleen: dat doet het blijkbaar wel!

Zo'n vijf jaar na Mpemba's eerste ervaring met het tegenintuïtieve effect dat zijn naam draagt, publiceerde hij een erg charmant [artikel](#) erover in het vakblad *Physics Education*. Hij deed dat samen met een Brits diplomaat en wetenschapper aan University College Dar es Salaam, Denis Osborne. De boodschap van het artikel was vooral pedagogisch, want de nieuwsgierigheid en open kinderlijke geest van Erasto Mpemba werden in eerste instantie de kop ingedrukt door gevestigde wetenschappers van wie de onbevangenheid allang was dichtgetimmerd door “zekerheden”. Wees dus kritisch tegenover autoritaire opvoeders, is de eerste boodschap, maar daarnaast werden in het artikel de bevindingen van Mpemba ook wat kwantitatiever gepresenteerd, en werden enkele verklaringen al uitgesloten.



Afbeelding 2. Bevriezingstijden voor verschillende begintemperaturen. Water met een hogere starttemperatuur (rood) bereikt bizar genoeg sneller negatieve temperaturen, en bevriest dus sneller dan water met een lagere starttemperatuur (blauw). De curves in deze grafiek stagneren een lange tijd op 0 graden Celsius, waar vloeibaar water zogenaamde “latente” warmte afstaat om ijs te worden. Water dat net nog heel warm was, lijkt dat veel sneller te doen. Bron: [Wikimedia Commons](#).

In samenwerking met Osborne voerde Mpemba het experiment eerst dus in gecontroleerde omstandigheden uit. Hieruit bleek dat 70 milliliter kraanwater met een begintemperatuur van 93 graden Celsius wel drie keer sneller bevroor dan water met een begintemperatuur van 20 graden! (Zie ook afbeelding 2.) Ook werden meteen een aantal mogelijke redenen voor dit onverwacht gedrag geïdentificeerd en onder controle gebracht om de invloed experimenteel uit te sluiten; met name werd als koud water ook water gebruikt dat recent gekookt was, zodat de hoeveelheid opgeloste luchtmoleculen in beide onderzochte stalen hetzelfde was. Daarnaast werd de beker water in de vriezer netjes op isolerend materiaal geplaatst, want ijs onder de beker dat smelt, zou het contactoppervlak met de koelelementen sterk kunnen vergroten. Na deze voorzorgsmaatregelen deden de onderzoekers een belangrijke observatie: de inhoud van het bekertje met water valt niet volledig te beschrijven met een enkele temperatuur, zoals in simpele thermodynamische modellen wordt aangenomen. De

temperatuur op de bodem, wist Osborne te meten, is namelijk significant hoger dan die bij het oppervlak, en dat temperatuurverschil is weer sterk afhankelijk van de begintemperatuur. Hij had daarom een vermoeden dat dit temperatuurverschil binnenin de vloeistof wel eens een grote rol zou kunnen spelen in de manier van bevriezen.

Voor we verdergaan, moet het hele experiment in perspectief geplaatst worden. Het gaat immers niet over een universeel fenomeen: in veel gevallen zal kouder water wél gewoon 'newtoniaans' gedrag vertonen en sneller bevriezen dan warm water. Preciezer valt het Mpemba-effect dus te verwoorden zoals te lezen staat in [een meer recent artikel](#): "Er bestaat een set aan beginparameters, en een paar temperaturen, zodat van twee lichamen [...] die enkel verschillen in initiële uniforme temperatuur, de warme sneller zal bevriezen". De zoektocht naar welke parameters precies welke invloed hebben, is echter lang niet eenvoudig. [Volgens sommigen](#) kan het daarom best wel eens een probleem zijn waarvan de oplossing geen dieper fysisch inzicht verschaft, maar in ieder geval is het een probleem dat de puzzelaars binnen de natuurkunde aan het werk zet.

De reden dat het Mpemba-effect vanuit theoretisch-fysisch standpunt geen interessant probleem zou kunnen zijn, is dat wellicht een heleboel factoren gelijktijdig bijdragen. Een eerste factor die zeker bijdraagt, is simpelweg dat een deel van het water zal verdampen voordat het kan bevriezen, zodat er in het totaal minder water is om te doen bevriezen. Toch wijst onderzoek uit dat er meer aan de hand moet zijn. De temperatuurgradiënt waar Osborne het al over had, veroorzaakt een relatief snelle convectiestroom bij warm water, die de verspreiding van ijskristallen zou kunnen bevorderen. In warm water is de neiging van waterstofatomen om zich te binden aan mineralen, die bevriezing verhinderen, ook iets lager. Twee recente papers zijn theoretisch wat diepgaander. In [een artikel van 2015](#) wordt beweerd dat water van een hogere begintemperatuur gemakkelijker ringvormige waterstructuren toelaat - iets dat toevallig ook erg doet denken aan het "polywater" in [het artikel](#) over pathologische wetenschap. Deze ringvormige structuren, hexameren genaamd, zouden een belangrijke rol kunnen spelen in kristallisatie van water naar ijs. In [dit artikel](#) spreekt men dan weer tot in groot thermodynamisch detail over het Mpemba-effect bij *gassen*. Het onderwerp leeft met andere woorden zeker voort, en het zou zo maar eens kunnen dat een echt diep antwoord nog verscholen ligt.



Afbeelding 3. Het Mpemba-effect via een omweg. Wanneer je op een ijskoude winterdag een pan kokend water de vrieskou in lanceert, is het effect een spectaculaire ijswolk. Dit fenomeen wordt soms ook het Mpemba-effect genoemd. Afbeelding: [Norbert Pietsch](#).

Een laatste opmerking: het Mpemba-effect wordt [online](#) ook veel getoond door het uitgooien van een pan kokend water bij buitentemperaturen van enkele tientallen graden onder nul. Het effect is een spectaculaire wolk van bevroren mist (afbeelding 3) die niet ontstaat bij het gooien van koud water, maar of het hier werkelijk over het Mpemba-effect gaat is twijfelachtig. Dit kokend water gaat in de droge, koude lucht meteen verdampen, en het verdampte water kan dan desublimeren (direct van gasvormig naar vast gaan) in de vorm van ijsdeeltjes. Het betreft hier dus een soort Mpemba-effect-via-een-omweg. Als we in Nederland zulke vriestemperaturen nog krijgen, let dan bij het testen van deze bizarre fysica wel op dat je je handen niet verbrandt!