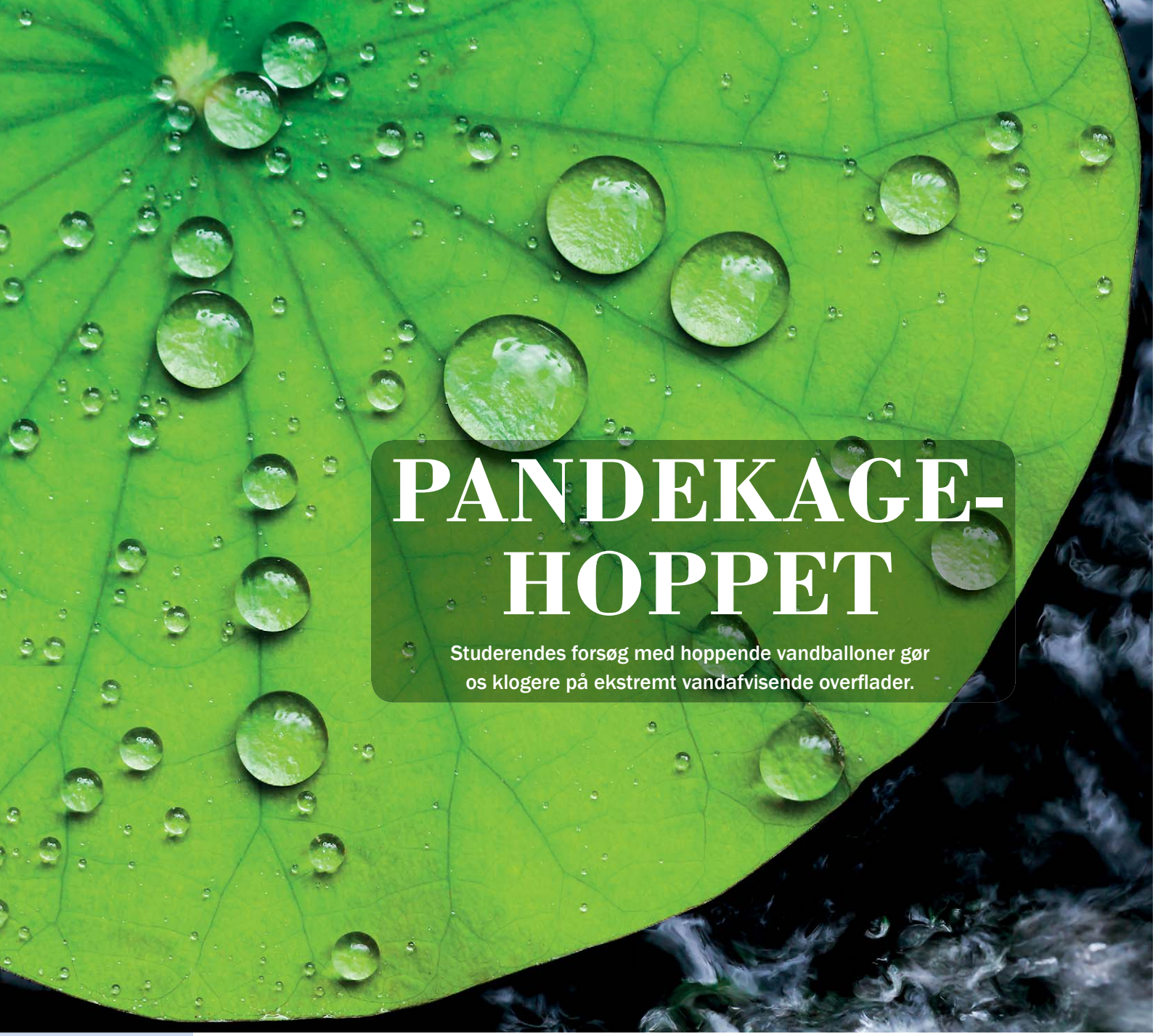


PANDEKAGE-HOPPET

Studerendes forsøg med hoppende vandballoner gør os klogere på ekstremt vandafvisende overflader.

Forfatteren

Tina Hecksher er lektor i fysik, tilknyttet Glas og Tid centeret ved Institut for Naturvidenskab og Miljø, Roskilde Universitet, og var projektvejleder for studentergruppen. tihe@ruc.dk

En gruppe førsteårsstuderende på Roskilde Universitet har vist, at vandballoner opfører sig næsten præcis som bittesmå vanddråber. Det har de gjort ved at studere, hvordan vandballoner hopper, dels på en flad overflade og – måske mere overraskende – på et sømbræt.

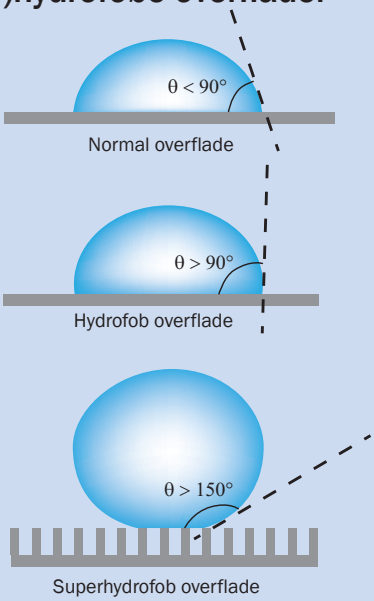
Deres arbejde er for nyligt publiceret i tidsskriftet *European Journal of Physics* i samarbejde med professor i fysik ved Oxford University Julia Yeomans. Forsøgene med vandballonerne var nemlig inspireret af hendes tidligere artikel i *Nature Physics* i 2014, som omhandlede vanddråbers hop på hydrofobe overflader med struktur på mikrometerskala.

Vandafvisende overflader

Kendere af fysisk kemi ved, at hydrofob betyder vandskyende, og at det har noget at gøre med interaktioner mellem molekyler. Hydrofobe molekyler (eller hydrofobe dele af molekyler) blander ikke godt med vand, så hydrofobe overflader er altså vandafvisende. Man kan tydeligt kende hydrofobe overflader på, at vand på overfladen kupler op i små perler i stedet for at brede sig ud og "væde" overfladen. Hydrofobe overflader er karakteriseret ved, at *kontaktvinklen* er mere end 90°. Superhydrofobe overflader er ekstremt vandafvisende, og de defineres ved at have en kontaktvinkel på over 150°. For at opnå så store kontaktvinkler på materialer har man hentet inspiration i naturen: Lotusblomsten er kendt for, at vand ligger som perler ovenpå overfladen og triller af. Med et elektron-mikroskop kan man se, at overfladen på lotusblomsten består af små hår eller pigge, der løfter vandet op fra overfladen af bladet. Denne type overflade kan man også lave kunstigt, og vanddråber, der

Kontaktvinkel og (super)hydrofobe overflader

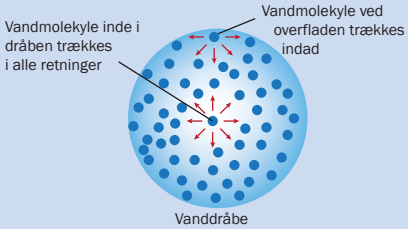
Når en vanddråbe ligger på fx en glasplade, flyder vandet ud på glasfladen, og kontaktvinklen θ bliver mindre end 90°. Det er fordi, glas udgør en hydrofil overflade. Hvis overfladen er fedtet – og dermed hydrofob – vil vanddråben trække sig sammen, så kontaktfladen mindre. Kontaktvinklen bliver dermed større end 90°. Ved kontaktvinkler over 150° kaldes overfladen *superhydrofob.* En sådan overflade kan realiseres ved at lave en struktur på en hydrofob overflade (fx små pigge), der minimerer kontaktfladen.



På et lotusblad ligger vand som små perler på overfladen og triller nemt af, uden at bladet bliver vådt. I et elektronmikroskop kan man se, at overfladen på bladet er dækket af små pigge, der løfter vandet og dermed minimerer kontaktfladen med bladet.

Overfladespænding

En vanddråbe holdes sammen af dens overfladespænding. Overfladespænding er et resultat af, at vandmolekylerne indbyrdes tiltrækker hinanden. Disse kræfter rækker ikke særlig langt, typisk vil et molekyle kun "mærke" sine nærmeste naboer. Et molekyle inde i dråben vil således "blive trukket" lige meget i alle retninger og dermed ikke opleve nogen resulterende kraft. Et molekyle i overfladen har kun nabomolekyler på den ene side og vil derfor blive trukket ind mod midten. Det giver en slags elastisk overflade, der holder sammen på dråben, selv hvis den deformeres.



Webertallet

We = [kinetisk energi] / [overflade energi] = $\rho R v^2/\gamma$

hvor ρ er densiteten, R er radius af dråben, v er kollisionshastigheden og γ er overfladespændingen.

ligger på sådan en overflade, kaldes også fakirdråber.

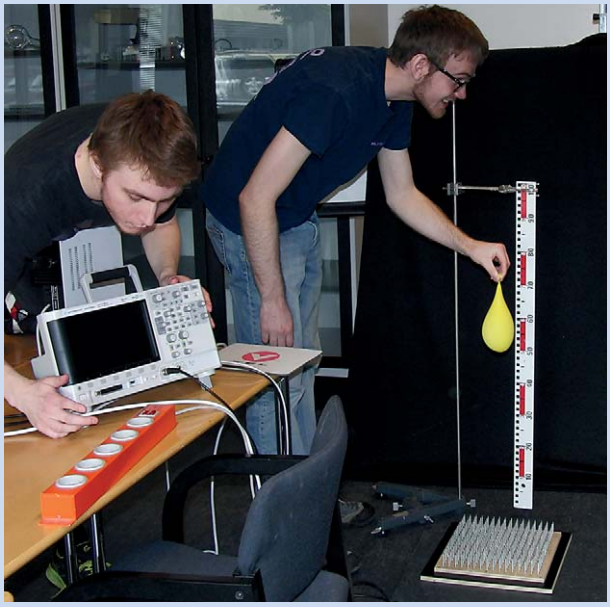
Pandekagehop

Man har længe vidst, at vanddråber, der rammer en hydrofob overflade, kan hoppe ligesom en bold. Ved lave hastigheder sammentrykkes dråben en anelse for dernæst at trække sig sammen og hoppe op igen. Ved lidt højere hastigheder mases vanddråben fuldstændig flad mod underlaget, før den trækker sig sammen og hopper af overfladen. Det, der får dråben til at trække sig sammen igen, er overfladespændingen. Overraskende nok er kontakttiden – altså den tid, som vanddråben rører overfladen, når den hopper – uafhængig af den hastighed, dråben rammer med.

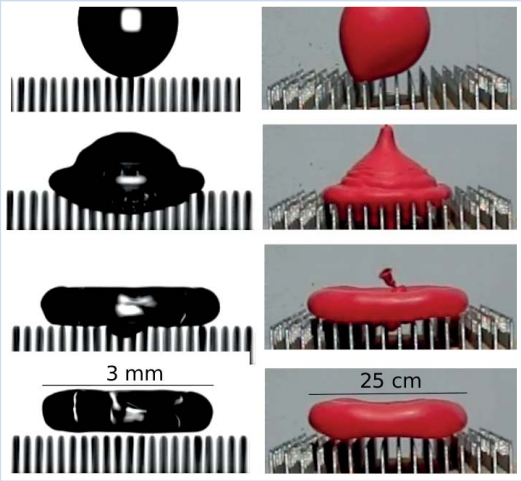
Den nye opdagelse, som Julia Yeomans og hendes kolleger beskrev i 2014 i *Nature Physics,* er, at dråber, der rammer en superhydrofob overflade, hopper af, når de er allermest fladmast. De kaldte derfor effekten for "pandekagehop" (på engelsk: "pancake bounce"). Vanddråberne hopper simpelthen af overfladen, inden de har trukket sig sammen igen. Det reducerer kontakttiden, så den er fire gange kortere end på en almindelig hydrofob overflade. Hvordan kan det lade sig gøre?

Fra vanddråber til vandballoner

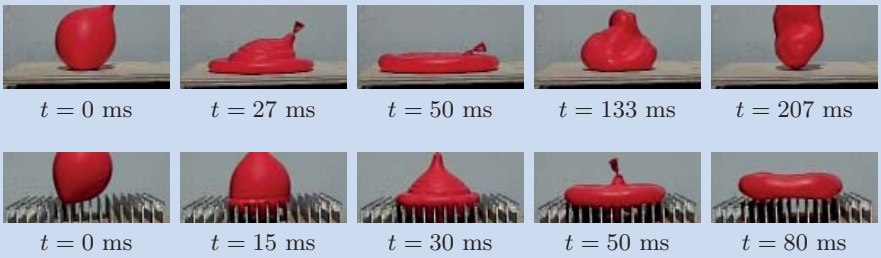
To betingelser skal være opfyldt: Først og fremmest skal mikrostrukturen være dyb nok, til at vand kan trænge ned i strukturen uden at ramme bunden. Dernæst skal kollisionparametrene være rigtige. Kollisionparametrene kan kvantiseres ved det såkaldte Webertal, der er et dimensionsløst tal, som angiver forholdet mellem den kinetiske energi af dråben og overfladeenergien, som er givet ved produktet af overfladespænding og overfladeareal.



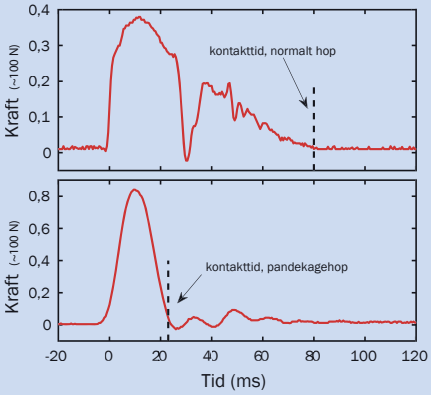
To af de tre studerende i gruppen, Jonas Andersen Bro og Kasper Sternberg, i gang med at lave eksperimenter med hoppende vandballoner.



Sammenligning af det mikroskopiske og makroskopiske pandekagehop. Vandballonen (til højre) rammer et sømbræt og opfører sig præcis som vanddråben, der rammer en hydrofob overflade med struktur af små pigge i mikrometerstørrelse (til venstre), mens tids- og længdeskalaen er væsentligt forskellige.



Udvalgte snapshots af en vandballon, der hopper på et fladt bræt (normalt hop) og et sømbræt (pandekagehop). Serierne illustrerer, at vandballonen i det første tilfælde trækker sig helt sammen til en aflang cigar, før den slipper underlaget, mens den i pandekagehoppet slipper sømbrættet mens den er mest fladmast. Tidsangivelserne viser også, at kontakttiden (den tid, som ballonen rører underlaget, mens den hopper) er meget kortere for et pandekagehop end et normalt hop.



Graferne viser målinger af kollisionskræfterne i et normal hop (øverst) og et pandekagehop (nederst). Det ses, at kontakttiden er ca. 4 gange kortere for pandekagehoppet end for det normale hop. Det er også tydeligt, at dynamikken er forskellig: Det normale hop har to toppe associeret med hhv. at ballonen lander på overfladen, og at den hopper af igen. Pandekagehoppet har kun en enkelt top, som er sinus-formet og mindre stejl end i det normale hop.

Videre læsning:
Jonas Andersen Bro et al.: *The macroscopic pancake bounce.* European Journal of Physics, 2017. Vol. 38, 015006.

Pancake bouncing balloons (video): www.youtube.com/watch?v=hpsnxFhEg-TI&t=11s, 2015.

Yahua Liu et al.: *Pancake bouncing on superhydrophobic surfaces.* Nature Physics, 2014. Vol. 10, s. 515-519

Alex Larsen et al.: *Pancake bounce,* studenter rapport RUC, 2015. http://rudar.ruc.dk/handle/1800/24942

"When water balloons hit a bed of nails ans don't pop", New York Times, 2016/12/23.

For en overfladestruktur, der ligner små tætsiddende pigge, viser det sig, at vanddråber laver pandekagehop, når Webertallet er større end 12. Da har den væske, der trænger ned mellem piggene og skydes op igen pga. frastødning, nok kinetisk energi til at løfte vanddråben fra overfladen.

Med vandballonprojektet, ville gruppen undersøge, om de kunne reproducere pandekagehoppet på makroskopisk skala. Ideen var, at gummiet i ballonen skulle spille rollen som vanddråbens overfladespænding, mens sømbrættet skulle efterligne den mikroskopiske struktur af den superhydrofobe overflade. Når vandballonen rammer sømbrættet, trænger en del af ballonen ned mellem sømmene, og gummiet strækkes, ligesom når man hopper på en trampolin. Og ligesom når man hopper på en trampolin, slynges væsken tilbage.

Forskellig fysik – samme opførsel

Det viser sig, at ballonernes dynamiske opførsel overraskende meget ligner vanddråbernes. Ikke alene var projektgruppen i stand til at reproducere pandekagehoppet med vandballonerne med præcis den samme reduktion i kontakttid som i det mikroskopiske eksperiment. De fandt også, at overgangen fra almindeligt hop til pandekagehop skete ved sammenlignelige kollisionsparametre, nemlig for et Webertal mellem 8 og 10.

Opførslen er altså den samme på trods af, at de fysiske processer bag er forskellig – i det ene tilfælde er det intermolekylære interaktioner, der udløser pandekagehoppet, mens det i det andet er de elastiske egenskaber af gummiet. Ved at opskalere forsøget gjorde de studerende det muligt nemt at måle kollisionskræfterne tidsopløst, hvilket giver en dybere indsigt i dynamikken bag pandekagehoppet.

Disse superhydrofobe overflader og pandekagehoppet er interessante, netop fordi kontakttiden reduceres markant. Det kan have praktiske anvendelser inden for udvikling af selvrensende, anti-frost eller anti-dug overflader fx på solcelleanlæg og flyvinger. ■