

## Kropelki jak żywe

Czyż najbardziej fascynującym zjawiskiem fizycznym nie jest życie? Ale gdzie przebiega granica między materią ożywioną a nieożywioną?

Proszę się nie obawiać – nie będziemy podejmować próby odpowiedzi na te pytania.

Zajmiemy się czymś, co, choć żywe nie jest, to sprawia wrażenie, jakby było [1]. W tym miejscu chciałoby się zawołać za komentatorami radiowymi „szkoda, że Państwo tego nie widzą”. I choć Państwo mogą „to” jednak zobaczyć za pomocą Internetu [2], to przez pierwsze 38 sekund pozostaniemy przy relacji radiowej.

*Szanowni Państwo, rozpoczynamy (czterokrotnie) przyspieszoną relację z zawodów na tafli szklanej o wymiarach w przybliżeniu tysiąc razy mniejszych od lodowiska hokejowego. Zawodnicy, w postaci różnokolorowych kropelek, są właśnie rozstawiani w przypadkowy sposób. Na razie nic się nie dzieje, zawodnicy spokojnie oczekują, choć jednak widać pewne zniecierpliwienie. Wybija czternasta sekunda i nagle kropelki, dwie granatowe i jedna pomarańczowa, ruszają na siebie i zlewają się! Za chwilę mała żółta rzuca się na większą czerwoną i pcha ją do bandy! Jednocześnie niebieska przepycha żółtą po drugiej stronie! I wtedy się zaczyna! Nikt już nad tym nie panuje! Kropelki przepychają się, ganiają, dzielą, odskakują, zlewają! Proszę Państwa, nigdy wcześniej czegoś takiego nie widziałem!*

Na relacjonowanym filmie [2] kropelki są utworzone z mieszaniny glikolu propylenowego (propano-1,2-diolu  $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_2\text{OH}$ ) i wody (w której glikol ten, jak wszystkie alkohole o niskiej masie cząsteczkowej, doskonale się rozpuszcza). Płytką szklaną została uprzednio powierzchniowo aktywowana. Dzięki temu jest ona doskonale zwilżana zarówno przez czysty glikol, jak i przez czystą wodę. Natomiast mieszanina wykazuje skończony kąt zwilżania (samo to jest zastanawiające). Kropelki o różnym stężeniu glikolu są różnie zabarwione.

Każde dwie kropelki, oddalone nawet o kilka swoich średnic, przyciągają się tym silniej, im są bliżej. Zetknięcie kropelek o zbliżonym stężeniu powoduje ich zlanie się (1:15 – 1:23). Natomiast gdy stężenia są istotnie różne, to ta o większym stężeniu zaczyna przepychać tę drugą (0:41 – 1:04).

Okazuje się [1], że mechanizmy oddziaływania długozasięgowego i krótkozasięgowego są różne, choć oba wynikają z dwuskładnikowości cieczy.

Niezerowy kąt zwilżania i oddziaływanie długozasięgowie są wywołane parowaniem. Znaczenie ma przede wszystkim ciśnienie pary składnika bardziej lotnego, czyli w tym przypadku wody. Najpierw wykazano, że kosinus wspomnianego kąta zwilżania zależy liniowo od wilgotności. Mikroskopowa obserwacja kropelek

wykazała, że wokół nich rozciąga się mikronowej grubości warstwa, „wyciągnięta” przez oddziaływanie z powierzchnią. Na brzegu kropelki parowanie powoduje wzrost stężenia glikolu (woda paruje szybciej, a stosunek powierzchni do objętości jest duży). Ponieważ glikol ma mniejsze napięcie powierzchniowe niż woda, to ciecz jest ściągana po powierzchni kropelki od brzegu do środka (wraca po dnie od środka do brzegu). Kropelka „nie czuje” powierzchni płytki, bo pływa po utworzonym z cieczy dysku. Obserwowany kąt zwilżania to „kąt zwilżania dysku”; jest on skutkiem różnicy napięć powierzchniowych dysku i kropelki wynikających z indukowanej parowaniem różnicy stężeń.

Długozasięgowie przyciąganie jest ostatecznie wywołane lokalnym zwiększeniem wilgotności przez obecność drugiej kropelki: po tej stronie woda paruje wolniej, więc dysk jest bardziej „wodnisty”, czyli ma większe napięcie powierzchniowe i kropelka pełźnie po powierzchni w kierunku drugiej kropelki.

Efekt oddziaływania krótkozasięgowego jest znany od dawna. Jest on wywołany gradientem stężenia. To, co wygląda na przepychanie, jest właściwie wciąganiem kropelki o większym stężeniu do tej o mniejszym (czyli o większym napięciu powierzchniowym), połączone z rozciąganiem się tej drugiej we wszystkich kierunkach, w których nie styka się ona z tą wciąganą.

Zrozumienie zjawiska ułatwiło przeprowadzenie szeregu efektownych pokazów. Np. na filmie [2] można zobaczyć (2:00 – 2:34) ustawianie się szeregu kropelek (oddzielonych naniesionymi na płytkę barierami) w jednej linii, kilkudziesięciosekundową gonitwę dwóch kropelek po kołowym torze (2:35 – 2:55) albo kropelkowy oscylator (2:58 – 3:33).

Natomiast na filmie [3] pokazane jest urządzenie automatycznie segregujące kropelki o różnych stężeniach (2:29 – 2:55).

Dostępne są instrukcje samodzielnego przeprowadzenia doświadczeń ([2] od 6:10). Można również obejrzeć ilustrowane demonstracjami wypowiedzi autorów [4].

Naukowcy nie ukrywają, że główną motywacją ich kilkuletnich badań była zwykła ciekawość, pragnienie wyjaśnienia zadziwiającego zachowania kropelek. Badania te mogą jednak mieć duże znaczenie praktyczne wszędzie tam, gdzie potrzebne jest głębsze zrozumienie fizyki zwilżania

Piotr ZALEWSKI

- [1] N.J. Cira, A. Benusiglio oraz M. Prakash, *Vapour-mediated sensing and motility in two-component droplets*, doi:10.1038/nature14272.
- [2] Film zawierający dodatkowe materiały publikacji [1], <https://www.youtube.com/watch?v=fUHS1gKkS4>.
- [3] N.J. Cira, A. Benusiglio oraz M. Prakash, Materiał umieszczony na stronach Uniwersytetu Stanforda zawierający pokaz i skrótowne wyjaśnienie zjawiska, <https://www.youtube.com/watch?v=K8Wx2PHIYGI>.
- [4] Materiał umieszczony na stronach Uniwersytetu Stanforda zawierający ilustrowane filmami wypowiedzi autorów publikacji [1], <https://www.youtube.com/watch?v=ZMsaH6SY4CY>.