

EFEKT SKACZĄCEJ KROPLI

KIEDY POJEDYNCZA KROPLA WODY SPADA NA SUPER-HYDROFOBOWĄ POWIERZCHNIĘ, NIE ROZLEWA SIĘ, LECZ ODBIJA NICZYM KAUCZUKOWA PIŁECZKA. ZJAWISKO TO BADANO OD 2000 R., LECZ WCIAŻ NIE W PEŁNI WYJAŚNIONO, SKĄD BIERZE SIĘ REKORDOWO KRÓTKI CZAS KONTAKTU I JAK DOKŁADNIE TRACONA JEST ENERGIA KROPLI.																																	
AUTOR Antoni Chowaniak - uczeń byłej klasy 2a		OPIEKUN BADAWCZY Opiekunem badawczym mojego projektu był prof. Mariusz Kamiński.																															
ZAPOZNANIE SIĘ Z PROBLEMEM DROPLET BOUNCING (QUÉRÉ 2000) POLEGA NA TYM, ŻE NAPIĘCIE POWIERZCHNIOWE KROPLI DZIAŁA JAK SPRĘŻYNA: ENERGIA KINETYCZNA UDERZENIA ZAMIENIA SIĘ W ENERGIĘ DEFORMACJI, PO CZYM KROPLA ODZYSKUJE KSZTAŁT KULISTY I ODRYWA SIĘ OD PODŁOŻA. ABY ZJAWISKO ZASZŁO, KONIECZNE SĄ RÓWNOCZEŚNIE: - DUŻY KĄT ZWILŻANIA $\theta > 150^\circ$ – MINIMALNY KONTAKT CIECZ-CIAŁO STAŁE, - MAŁA HISTEREZA KĄTA – LINIA KONTAKTU NIE „PRZYKLEJA SIĘ” DO POWIERZCHNI, - WEBER < 10 – KROPLA NIE ROZPADA SIĘ PRZY UDERZENIU. W NATURZE EFEKT WYSTĘPUJE NA LIŚCIACH LOTOSU I SKRZYDEŁKACH NIEKTÓRYCH OWADÓW; W TECHNICIE – NA POWŁOKACH SADZY ŚWIECOWEJ, STRUKTURACH TEFLON-SIO ₂ ORAZ POWIERZCHNIACH TEKSTUROWANYCH LASEROWO.	PROBLEM BADAWCZY Czy współczynnik sprężystości odbicia e zależy wyłącznie od właściwości powierzchni, czy także od wysokości upuszczenia H i średnicy kropli D ?																																
	METODOLOGIA - Sprzęt: statyw, pipeta (kropla 4 mm), kamera 240 fps, zapalniczka, szkiełka laboratoryjne. - Powierzchnie: - a.sadza świecowa ($\theta \approx 160^\circ$), - b.PTFE powierzchnia PTFE ($\theta \approx 108^\circ$), - c.szkło (kontrola, $\theta \approx 32^\circ$). - Zmienne: $H = 20\text{--}30\text{ cm}$. - Analiza wideo: OpenCV – tło, maska, centroid, wykres $y(t)$.		 PRZYGOTOWANIE POWIERZCHNI HYDROFOBOWEJ																														
	OBSERWACJE Współczynnik $e = \sqrt{(h_1/H)}$ wyniósł $0,38 \pm 0,02$ (sadza) i $0,30 \pm 0,02$ (teflon); był niezależny od H w badanym zakresie. <table><tr><th>Powierzchnia</th><th>Wysokość upuszczenia [cm]</th><th>h_1 [cm]</th><th>h_2 [cm]</th><th>h_3 [cm]</th><th>Liczba odbić</th><th>Czas kontaktu [ms]</th><th>e (pierwsze odbicie)</th></tr><tr><td>Sadza</td><td>20</td><td>4,4 cm $\pm$ 0,2</td><td>0,65 $\pm$ 0,1</td><td>0,09 $\pm$ 0,02</td><td>6</td><td>≤ 33</td><td>0,38 $\pm$ 0,02</td></tr><tr><td>Sadza</td><td>30</td><td>4,8 cm $\pm$ 0,4</td><td>0,70 $\pm$ 0,1</td><td>0,10 $\pm$ 0,03</td><td>10</td><td>≤ 33</td><td>0,40 $\pm$ 0,03</td></tr><tr><td>Teflon</td><td>20</td><td>1,8 $\pm$ 0,2</td><td>0,16 $\pm$ 0,03</td><td>brak</td><td>2</td><td>≤ 33</td><td>0,30 $\pm$ 0,02</td></tr></table>			Powierzchnia	Wysokość upuszczenia [cm]	h_1 [cm]	h_2 [cm]	h_3 [cm]	Liczba odbić	Czas kontaktu [ms]	e (pierwsze odbicie)	Sadza	20	4,4 cm $\pm$ 0,2	0,65 $\pm$ 0,1	0,09 $\pm$ 0,02	6	≤ 33	0,38 $\pm$ 0,02	Sadza	30	4,8 cm $\pm$ 0,4	0,70 $\pm$ 0,1	0,10 $\pm$ 0,03	10	≤ 33	0,40 $\pm$ 0,03	Teflon	20	1,8 $\pm$ 0,2	0,16 $\pm$ 0,03	brak	2
Powierzchnia	Wysokość upuszczenia [cm]	h_1 [cm]	h_2 [cm]	h_3 [cm]	Liczba odbić	Czas kontaktu [ms]	e (pierwsze odbicie)																										
Sadza	20	4,4 cm $\pm$ 0,2	0,65 $\pm$ 0,1	0,09 $\pm$ 0,02	6	≤ 33	0,38 $\pm$ 0,02																										
Sadza	30	4,8 cm $\pm$ 0,4	0,70 $\pm$ 0,1	0,10 $\pm$ 0,03	10	≤ 33	0,40 $\pm$ 0,03																										
Teflon	20	1,8 $\pm$ 0,2	0,16 $\pm$ 0,03	brak	2	≤ 33	0,30 $\pm$ 0,02																										
 Spadek kropli z kontrolowanej wysokości na powierzchnię hydrofobową - sadzę	POGŁĘBIENIE ZNAJOMOŚCI PROBLEMU RICHARD & QUÉRÉ (NATURE 2002) WYKAZALI, ŻE CZAS KONTAKTU KROPLI Z SUPERHYDROFOBEM JEST ZBLIŻONY DO POŁÓWKI OKRESU WŁASNEJ OSCYLACJI RAYLEIGHA: $\tau \approx 2,6\sqrt{\rho D^3 / \sigma}$ MOJE POMIARY ($D = 4\text{ mm}$) ZGADZAJĄ SIĘ Z TYM MODELEM. NOWSZE PRACE (THENARIANTO 2022) WSKAZUJĄ, ŻE GŁÓWNA STRATA ENERGII WYSTĘPUJE NA ETAPIE ODRYWANIA LINII KONTAKTU; POTWIERDZA TO NIŻSZE e DLA TEFLONU O WIĘKSZEJ HISTEREZIE KĄTA.																																
	WNIOSKI - Odbicie kropli wymaga super-hydrofobii + małej histerezy. - Współczynnik sprężystości nie zależy od wysokości upuszczenia (dla $We < 10$). - Sadza świecowa daje najwyższe e ($\approx 0,4$); teflon – umiarkowane ($\approx 0,3$); szkło – brak odbicia. - Zjawisko można wykorzystać w technologiach anti-icing, samooczyszczaniu i mikrofluidyce.			BIBLIOGRAFIA D. Quéré et al., “Bouncing Water Drops”, Europhys. Lett. 2000 50 (6) 769-775. D. Richard & D. Quéré, “Contact Time of a Bouncing Drop”, Nature 2002 417 , 811. C. Clanet et al., “Water Spring: A Model for Bouncing Drops”, EPL 2003 62 , 237-243. C. Thenariento et al., “Energy Loss for Droplets...”, ChemRxiv 2022. Z. Yuan et al., “Candle Soot Superhydrophobic Coatings”, Appl. Phys. A 2016 122 , 205.																													