

Zagadka tonących bąbelków

Wśród Czytelników *Delty* jest niewątpliwie wielu nieletnich, którzy, siłą rzeczy, nie mieli okazji kosztować napojów wysokowych, toteż musieli ograniczać się do ich obserwacji. Przyglądanie się trunkom takim jak wino lub wódka pozwala na zgłębianie zjawiska Marangoniego. Podglądacze piwa stawiali sobie zaś do niedawna pytanie, dlaczego bąbelki widoczne w kufle wypełnionym jasnym piwem poruszają się zgodnie z intuicją, czyli w górę, a w przypadku piw ciemnych, takich jak *Guinness*, przy ściankach zawierających je naczyń obserwuje się ruch bąbelków w dół. To ostatnie może się wydać dziwne, bo ostatecznie bąbelki są lżejsze od otaczającej je cieczy. Co zatem „ściąga” bąbelki w dół?

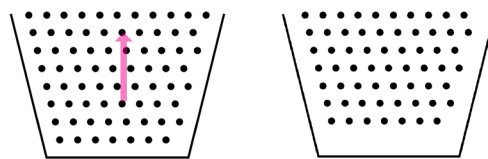
Choć może to się wydać zaskakujące, naukowcy do niedawna nie znali pełnej odpowiedzi na to pytanie. Dopiero niedawna praca brytyjsko-irlandzkiego zespołu badaczy pozwoliła zrozumieć fizyczną istotę nieoczywistego ruchu bąbelków. W opublikowanym w kwietniu tego roku w *American Journal of Physics*, W.T. Lee ze współpracownikami sformułowali model matematyczny, który pozwolił połączyć odwieczne obserwacje piwoszy z wynikami symulacji numerycznych.

Ciemne piwa różnią się od jasnych składem chemicznym rozpuszczonych w nich gazów. Te pierwsze zawierają znacznie więcej azotu i mniej dwutlenku węgla, co nadaje im charakterystyczny, mało kwaśny smak. Ponieważ jednak azot jest znacznie słabiej rozpuszczalny w wodzie od dwutlenku węgla, więc, choć ciśnienie rozpuszczonych gazów jest wyższe w ciemnych piwach, to ich masa molowa jest istotnie mniejsza. Mała ilość rozpuszczonych gazów przekłada się na rozmiar bąbelków, który wynosi typowo około dziesiątej części milimetra – o rząd wielkości mniej niż w przypadku piw jasnych.

Mały rozmiar bąbelków wpływa na ich ruch. Siła wyporu jest proporcjonalna do objętości bąbelków, a zatem do sześciastu promienia. Natomiast siły oporu hydrodynamicznego są proporcjonalne do przekroju bąbelków, czyli do kwadratu promienia. Oznacza to, że dla odpowiednio małych bąbelków decydujący wpływ na ich ruch będzie miał ruch cieczy, w której się one znajdują. Jeśli zatem w pobliżu ścianek kufła piwo będzie płynąć w dół, to w tę samą stronę będą poruszać się zawieszona w nim bąbelki. Skąd jednak miałyby się brać taki przepływ?

Okazuje się, że nie bez znaczenia jest kształt naczynia, w którym znajduje się rozważane piwo. Typowy kufel do *Guinnessa* rozszerza się ku górze. Jeżeli zatem w świeżo wlanym do kufła piwie bąbelki będą rozmieszczone jednorodnie, wszystkie one, wskutek działania sił wyporu, zaczną się równocześnie poruszać ku górze, pociągając za sobą płyn. Stanowiąca zasadniczą część piwa woda jest wszakże z dobrym przybliżeniem cieczą nieściśliwą, więc w zamkniętym od dołu naczyniu nie może cała poruszać się razem z bąbelkami w górę. Jednak w typowym kufle do *Guinnessa* ruch bąbelka

ku górze powoduje jego oddalanie się od ścianek kufła. W rezultacie już po chwili ruchu bąbelków przy ściankach kufła powinna pojawić się cienka warstwa bez bąbelków.



Tym samym rozkład cieczy w kufle nie byłby już jednorodny – w centralnej części kufła występowałaby mieszanina bąbelków i piwa unoszona ku górze siłami wyporu. Natomiast przy ściankach kufła, gdzie nie byłoby bąbelków, taka siła działająca na ciecz nie występowałaby. Tym samym piwo wyniesione ku górze w centralnej części kufła wracałoby na dół przy ściankach, pociągając za sobą część bąbelków. Jeżeli prędkość tego ruchu przekraczałaby prędkość wypływania bąbelków, obserwowalibyśmy właśnie wypadkowy ruch bąbelków w dół. Mała przezroczystość ciemnych piw powoduje bowiem, że obserwacje przepływów w kufle ograniczają się w zasadzie do obszaru przyściankowego.

Zaproponowany model przewiduje, że w przypadku kufli zwężających się ku górze powinno występować zjawisko odwrotne – zwiększona koncentracja bąbelków przy ściankach naczynia powoduje unoszenie bąbelków w górę przy ściankach, piwo zaś wraca do dolnej części kufła w centralnej części naczynia. Doświadczenia, zarówno codzienne, jak i przeprowadzane w kontrolowanych, laboratoryjnych warunkach, potwierdzają te przewidywania.

Można zapytać, czy zrozumienie ruchu bąbelków w piwie jest w jakikolwiek sposób porównywalne z wielkimi odkryciami fizyki ostatnich lat, takimi jak detekcja cząstki Higgsa czy zaobserwowanie fal grawitacyjnych. Piszący te słowa uważa, że odpowiedź jest twierdząca. Po pierwsze, zagadnienie genezy bąbelków w cieczy i ruchu cieczy z bąbelkami jest ważne z uwagi na jego przemysłowe zastosowania. Po drugie, fakt, że potrafimy opisać wczesny Wszechświat czy oddziaływania fundamentalne przy niespotykanych na co dzień skalach energii, a rozkładamy ręce w przypadku wielu zjawisk, jakie możemy zaobserwować w kuchni (lub w pubie), jest zwyczajnie denerwujący.

Jeżeli wśród Czytelników tego tekstu znajdują się studenci dzielący tę ostatnią opinię, zachęcam do spróbowania swoich sił w Międzynarodowym Turnieju Fizyków, gdzie drużynowo rozwiązuje się pozornie proste, „kuchenne” problemy fizyczne. To nie tylko wielka przygoda, ale i satysfakcja płynąca z możliwości lepszego poznania oraz zrozumienia otaczającego nas świata. Więcej informacji na <https://iptnet.info>.

Krzysztof TURZYŃSKI

W. T. Lee, S. Kaar, S. B. G. O'Brien, *Sinking bubbles in stout beers*, *Am. J. Phys.* **86** (2018) 250
E. S. Benilov, C. P. Cummins, W. T. Lee, *Why do bubbles in Guinness sink?*, arXiv:1205.5233