



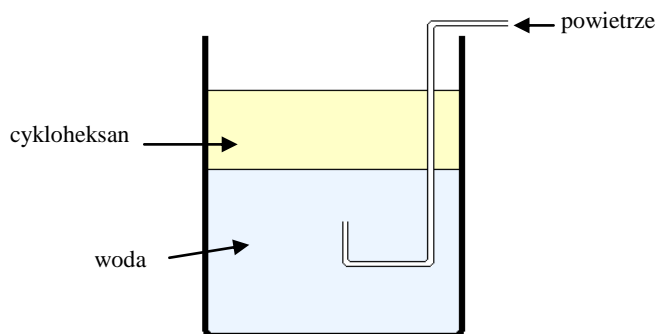
Bąble na międzypowierzchni

Adam Hozzman

I Liceum Ogólnokształcące im. T. Kościuszki w Legnicy

Pewne ciecze o różnej gęstości dają się umieścić jedna nad drugą z wyraźną granicą rozdziału. Jeśli ciecze różnią się napięciem powierzchniowym, można zaobserwować ciekawe zjawisko. Wdmuchuj pęcherzyki powietrza o różnej wielkości do dolnej cieczy i obserwuj ich zachowanie w pobliżu powierzchni rozdzielającej ciecze. Zbadaj i wyjaśnij to zjawisko. (Problem z Turnieju Fizyki 2002/2003).

Układ doświadczalny



Powyższy rysunek przedstawia układ doświadczalny, jaki stworzyłem, aby prowadzić obserwacje. Do zlewki wlewałem po dwie niemieszające się ciecze, tak że między nimi powstawała ostra międzypowierzchnia. W doświadczeniu użyłem następujących kombinacji cieczy:

- olej spożywczy – alkohol etylowy
- olej spożywczy – woda

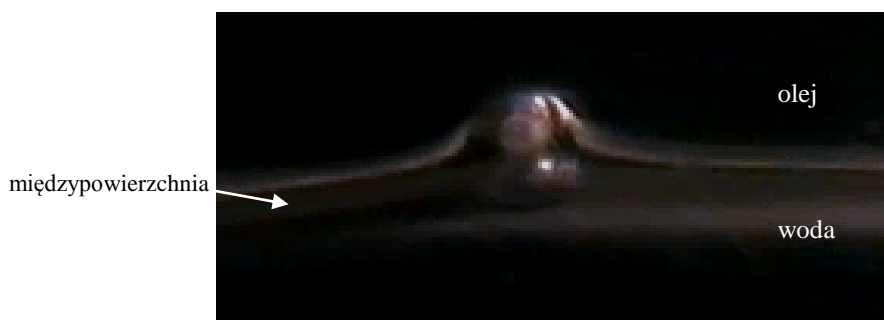
Przez widoczną na rysunku rurkę wprowadzałem do dolnej cieczy pęcherzyki powietrza, regulując ich wielkość (poprzez dobieranie rurek o różnej średnicy). Następnie obserwowałem ruch pęcherzyka w układzie, a przede wszystkim zjawiska zachodzące na międzypowierzchni. W zależności od wielkości bąbelków oraz od rodzajów cieczy zauważyłem różne zjawiska. Prowadzi to do wniosku, że ich przyczyną są różnice wartości napięcia powierzchniowego charakteryzującego błonę międzypowierzchniową.

Obserwowane zjawiska i ich wyjaśnienie

W zależności od średnicy naczynia kształt międzypowierzchni jest różny. Im mniejsza jest jego średnica, tym większa krzywizna międzypowierzchni (mniejszy promień krzywizny). W przypadku dużej krzywizny mały pęcherzyk powietrza, zanim przebije błonę międzypowierzchniową, przemieszcza się pod nią w kierunku ścianki naczynia. Gdy doświadczenie wykonywałem, używając naczynia o większej średnicy, takie zjawisko nie zachodziło.

Aby wyeliminować zakłócenia, jakie powoduje zakrzywiona powierzchnia, postanowiłem użyć większego naczynia, w przypadku którego takie zakrzywienia występują jedynie w pobliżu ścianek, nie wpływając na odkształcenia międzypowierzchni. Umożliwia to przeprowadzenie doświadczeń w bardziej idealnym układzie, gdzie międzypowierzchnia jest płaska.

Z moich obserwacji wynika, że pęcherzyk na międzypowierzchni może zachowywać się w dwojaki sposób, tj. może się na tej błonie zatrzymać lub od razu przebić ją i przedostać się do substancji znajdującej się powyżej. Poniższa fotografia przedstawia zdjęcie „uwięzionego” na międzypowierzchni pęcherzyka powietrza.



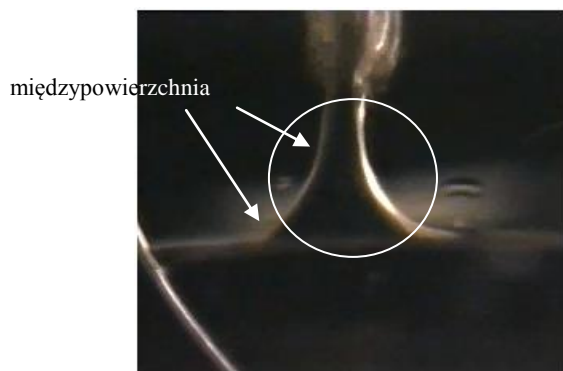
Taki pęcherzyk po pewnym czasie przebija jednak błonę międzypowierzchniową. Powstaje zatem pytanie, dlaczego nie dzieje się tak od razu. Oczywiście wydaje się odpowiedź, że błona ta stanowi tak silną barierę, że poruszający się pęcherzyk nie jest w stanie zadziałać taką siłą, aby przerwać tę błonę. „Wytrzymałość” tej błony (podobnie zresztą, jak określa się właściwości błony, jaką jest powierzchnia swobodna cieczy) charakteryzuje napięcie międzypowierzchniowe.

Robiąc oszacowanie na podstawie wzoru Good-Girifalco-Fowkesa, otrzymałem wartość napięcia międzypowierzchniowego woda – olej spożywczy, która wynosi ok. $50 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-2}$. Wartość nie jest dokładna, ponieważ trudno znaleźć w tablicach dokładne dane dotyczące napięcia powierzchniowego oleju spożywczego.

Fakt, że pęcherzyk zatrzymuje się na błonie międzypowierzchniowej, wynika z tego, że jego energia kinetyczna jest zbyt mała, aby pokonać energię napięcia

międzypowierzchniowego. Przebicie tej międzypowierzchni (po pewnym czasie) wynika z działających sił napięcia powierzchniowego dolnej cieczy. Sprawiają one, że warstwa cieczy znajdująca się nad pęcherzykiem (a pod cieczą górną) staje się coraz cieńsza. Po przekroczeniu pewnej wartości krytycznej ta cienka błona staje się bardzo podatna na wszelkie zaburzenia i fluktuacje ośrodka (takie jak fale bądź różnice temperatury) i łatwo pęka, nie stanowiąc już żadnej bariery dla pęcherzyka, który może się dalej poruszać.

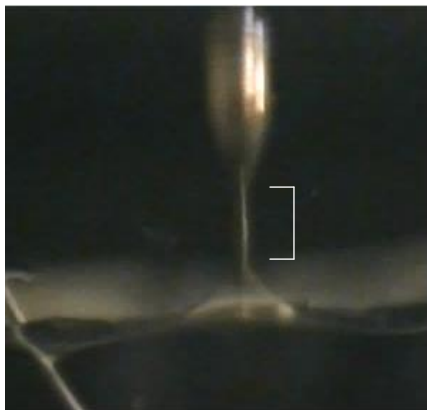
Teraz przyjrzyjmy się pęcherzykowi powietrza zaraz przed przerwaniem międzypowierzchni.



Jak widać na fotografii obok, międzypowierzchnia jest bardzo odkształcona w wyniku oddziaływania na nią pęcherzyka powietrza. Takie zakrzywienie błony (jej wklęsłość), zgodnie z prawem Laplace'a, wywołuje podciśnienie wody i jej parcie hydrostatyczne w kierunku obszaru zaznaczonego kółkiem na rysunku.

Ciśnienie w zaznaczonym na powyższej fotografii obszarze jest mniejsze od ciśnienia poza tym obszarem (co wynika z prawa Laplace'a) o wartość wyrażoną wzorem:

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \text{gdzie: } R_1, R_2 \text{ są promieniami krzywizny.}$$

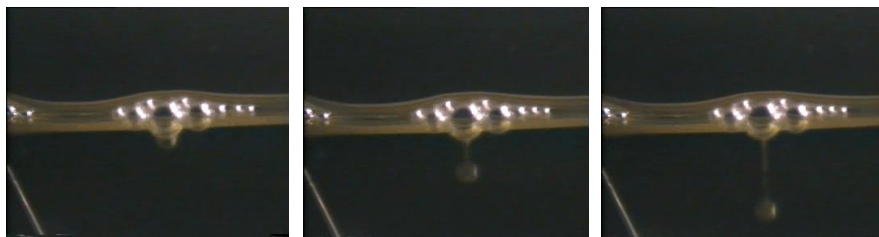


Dzięki istnieniu podciśnienia zaraz po przebicciu błony międzypowierzchniowej przez pęcherzyk parcie hydrostatyczne wody jest tak duże, że powoduje ono wtryśnięcie bardzo cienkiej strużki wody (zaznaczonej kłamrą) do substancji znajdującej się powyżej.



Następnie strużka ta formuje się w kulę, co jest wywołane napięciem powierzchniowym. Zdarza się także, że uformują się nawet dwa lub trzy niewielkie pęcherzyki wody.

Zauważyłem także, że czasami strużka wody jest wyrzucana z tak dużą siłą, że część tworzącej ją wody trafia do pęcherzyka powietrza. Obecność wody w pęcherzyku można stwierdzić w momencie, gdy dochodzi on do powierzchni swobodnej górnej fazy. Wówczas w wyniku zderzenia się pęcherzyka z powierzchnią swobodną górnej fazy następuje jego ściśnięcie i wzrost ciśnienia wewnątrz (bo nie jest on w stanie od razu przebić tej błony) i woda jest z niego usuwana, co widać na poniższej fotografii.



Z przeprowadzonych przeze mnie doświadczeń i rozważań teoretycznych wynika, że dwa główne czynniki wpływające na zachowanie się pęcherzyka na międzypowierzchni to wartości napięcia międzypowierzchniowego oraz rozmiar pęcherzyka. Moim zdaniem nie bez znaczenia jest kształt błony międzypowierzchniowej, który determinuje ruch pęcherzyka lub jego brak w momencie, gdy bąbelek już oddziaływa z błoną międzypowierzchniową.