

## Jak krewetka pistoletowa zamienia dźwięk w światło

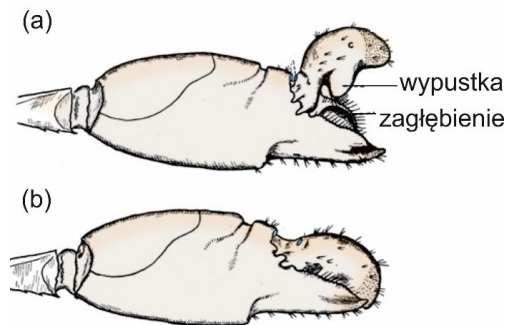
Niepozorne krewetki z rodziny *Alpheidae* to jedne z najgłośniejszych zwierząt morskich. Dźwięki towarzyszące zaciskaniu ich szczypiec są tak intensywne, że zakłócają komunikację podwodną i pomiary sonarowe. Ruch szczypiec wywołuje w otaczającej wodzie serie impulsów ciśnienia, które krewetki wykorzystują do porozumiewania się, obrony przed drapieżnikami oraz do polowania. Impulsy te są tak silne, że są w stanie ogłuszyć, a nawet zabić małe ryby. Z tego powodu krewetki te obdarzono przydomkiem „pistoletowe”, ponieważ wygląda to tak, jakby strzelały one do swoich ofiar. W przypadku gwałtownych zmian ciśnienia w wodzie dochodzi do bardzo ciekawego zjawiska sonoluminescencji polegającego na emisji światła pod wpływem fali dźwiękowej. Ale jak to możliwe, że tak małe zwierzę jest w stanie wytwarzać tak silne impulsy ciśnienia? I jak przebiega proces zamiany dźwięku na światło?

Zacznijmy od przyjrzenia się krewetce z rodziny *Alpheidae*, a w szczególności jej szczypcom.



Rys. 1. Jeden z gatunków krewetki z rodziny *Alpheidae* z silnie powiększoną lewą parą szczypiec.  
Źródło: commons.wikimedia.org

Jedna para szczypiec jest dużo większa od drugiej i różni się od niej kształtem. Składa się ona z dwóch części: górnej, zaopatrzonej w charakterystyczną wypustkę oraz dolnej, w której znajduje się odpowiadające wypustce zagłębienie.



Rys. 2. Otwarte (a) i zamknięte (b) wyspecjalizowane szczypce krewetki pistoletowej. Na górnej części szczypiec znajduje się wypustka, a w dolnej odpowiadające jej kształtem zagłębienie. Źródło: www.asnailsodysey.com

Górna część szczypiec może odchylić się do pozycji pionowej, co umożliwia wypełnienie zagłębienia wodą. Nagłe zamknięcie szczypiec powoduje gwałtowne wypchnięcie strumienia wody przez wąską szczelinę z prędkością dochodzącą do 25 m/s. Zgodnie z równaniem Bernoulliego, duża prędkość przepływu wiąże się ze spadkiem ciśnienia.

**Równanie Bernoulliego** odpowiada zasadzie zachowania energii mechanicznej dla idealnego płynu nieściśliwego. Równanie to ma następującą postać:

$$\frac{v^2}{2} + gh + \frac{p}{\rho} = \text{const}$$

$\rho$  – gęstość płynu,

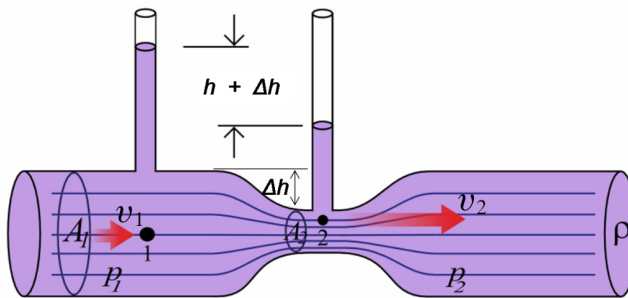
$v$  – prędkość płynu w rozpatrywanym punkcie,

$h$  – wysokość rozpatrywanego punktu,

$g$  – wartość przyspieszenia grawitacyjnego,

$p$  – ciśnienie płynu w rozpatrywanym punkcie.

Z równania Bernoulliego wynika, że wzrostowi prędkości w rozpatrywanym punkcie towarzyszy spadek ciśnienia.

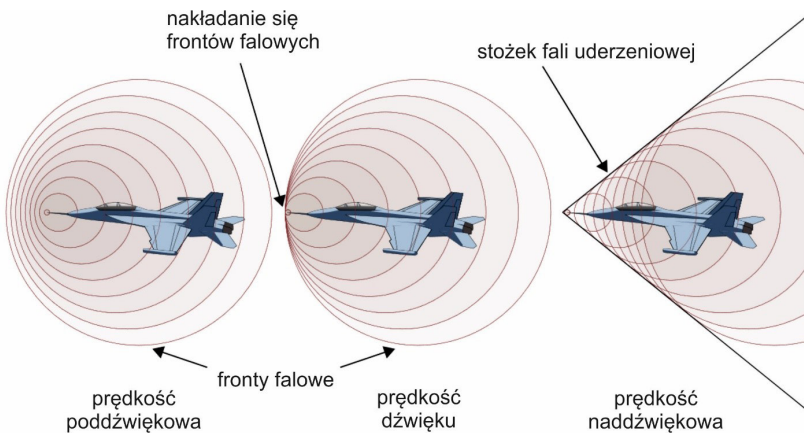


Rys. 3. Prędkość przepływu przez przekrój  $A_2$  jest większa niż przez przekrój  $A_1$  ( $v_2 > v_1$ ) i w konsekwencji ciśnienie w przekroju  $A_2$  jest niższe niż w przekroju  $A_1$  ( $p_2 < p_1$ ). Zwiększenie prędkości wynika z obecności przewężenia. W przypadku cieczy nieściśliwej iloczyn pola przekroju powierzchni i prędkości jest stały:  $A_1 v_1 = A_2 v_2$ , więc zmniejszenie powierzchni przekroju powoduje wzrost prędkości. Źródło: commons.wikimedia.org

Jeśli spadek ciśnienia jest znaczący, rzędu  $10^5$  Pa, to może dojść do miejscowego odparowania wody i utworzenia pęcherzyka wypełnionego gazem (parą wodną). Zjawisko to nosi nazwę kawitacji. Dzieje się tak dlatego, że temperatura wrzenia cieczy zależy od panującego ciśnienia. Na przykład w warunkach normalnego ciśnienia atmosferycznego (około  $10^5$  Pa) woda wrze w temperaturze  $100^\circ\text{C}$ , natomiast przy ciśnieniu  $5 \cdot 10^4$  Pa, temperatura wrzenia wynosi  $80^\circ\text{C}$ . Warunki takie panują na przykład w górach, na wysokości około 6 000 m n.p.m., ponieważ ciśnienie powietrza maleje wraz z wysokością.

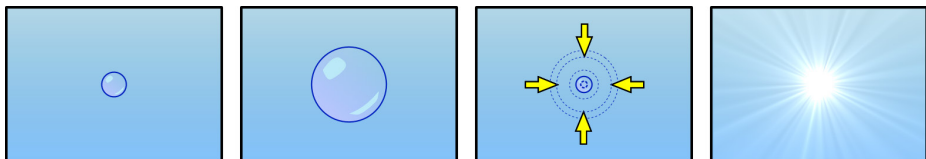
Tak więc po nagłym zamknięciu szczypiec krewetki pistoletowej dochodzi do powstania pęcherzyków kawitacyjnych. Poruszają się one w tym samym kierunku co wypchnięty ze szczypiec strumień wody. Ciśnienie wewnątrz każdego pęcherzyka jest dużo niższe niż ciśnienie panujące w otaczającej go wodzie. Dlatego krótko po ich powstaniu pęcherzyki ulegają gwałtownemu zapadnięciu się pod wpływem nacisku z zewnątrz. Napływająca ze wszystkich stron woda porusza się tak szybko, że wewnątrz pęcherzyka powstaje fala uderzeniowa przemieszczająca się do środka pęcherzyka.

**Fala uderzeniowa** to rodzaj zaburzenia rozchodzącego się z prędkością przekraczającą prędkość dźwięku w danym ośrodku. Charakteryzuje się ona gwałtowną zmianą ciśnienia, temperatury i gęstości.



Rys. 4. Powstawanie fali uderzeniowej w otoczeniu samolotu. Źródło: commons.wikimedia.org

Gdy jego promień osiąga najmniejszą wartość, cząsteczki wody napierające na jego powierzchnię zostają gwałtownie wyhamowane, a fale uderzeniowe zbiegają się w jego środku, co powoduje olbrzymi miejscowy wzrost ciśnienia i temperatury. To właśnie gwałtowny impuls ciśnienia towarzyszący zapadaniu się pęcherzyków kawitacyjnych doprowadza do ogłuszenia lub zabicia ofiary krewetki pistoletowej. Natomiast wzrost temperatury doprowadza do powstania błysku świetlnego. Temperatura we wnętrzu pęcherzyka osiąga wartość 10 000 K czyli więcej niż temperatura powierzchni Słońca. W takich warunkach wewnątrz pęcherzyka wypełnione jest plazmą, czyli zjonizowanym gazem, emitującym promieniowanie elektromagnetyczne głównie w zakresie ultrafioletu.



Rys. 5. Schemat zjawiska sonoluminescencji. Powstawanie pęcherzyka kawitacyjnego, jego zapadnięcie się i emisja światła. Źródło: commons.wikimedia.org

Błyski towarzyszące zatrząskiwaniu się szczyptec krewetki pistoletowej nie są więc widzialne gołym okiem. Przeprowadzone w laboratoriach eksperymenty z pęcherzykami zawierającymi różne mieszanki gazów pozwoliły jednak naukowcom zaobserwować sonoluminescencję w zakresie widzialnym. Autorzy tych eksperymentów nazywają je „gwiazdkami w słoiku”. Zainteresowanemu czytelnikowi proponujemy oglądnięcie nagrania z takiego eksperymentu na stronie: <http://acoustics-research.physics.ucla.edu/sonoluminescence/>