



Wrocław
University
of Science
and Technology

Fizyka

semestr zimowy

2020/2021

Grupa B: Piątek, 15:00 - 16:30

Grupa A: Piątek, 16:40 - 18:10

sala wirtualna

– zajęcia online

Sylwia Majchrowska

sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl

<https://majsylw.netlify.app/teaching/>

pokój 213, budynek L-1

Na podstawie materiałów z yt (SciFun, Fizyka od Podstaw, Nauka to lubię)
oraz podręcznika Fizyka dla szkół wyższych. Tom 1



Fale dźwiękowe

Dźwięk słyszalny przez człowieka jest rozchodzącym się zaburzeniem ośrodka sprężystego, czyli falą mechaniczną o częstotliwości z zakresu 20 Hz – 20 kHz. Słuch jest percepcją dźwięku, podobnie jak wzrok jest percepcją światła widzialnego. W skali atomowej (mikroskopowej) dźwięk jest zaburzeniem atomów, który jest znacznie bardziej uporządkowany niż ich ruchy termiczne. W wielu przypadkach dźwięk jest falą okresową, a cząstki wykonują prosty ruch harmoniczny. W ten sposób fale dźwiękowe mogą powodować drgania i efekty rezonansowe.



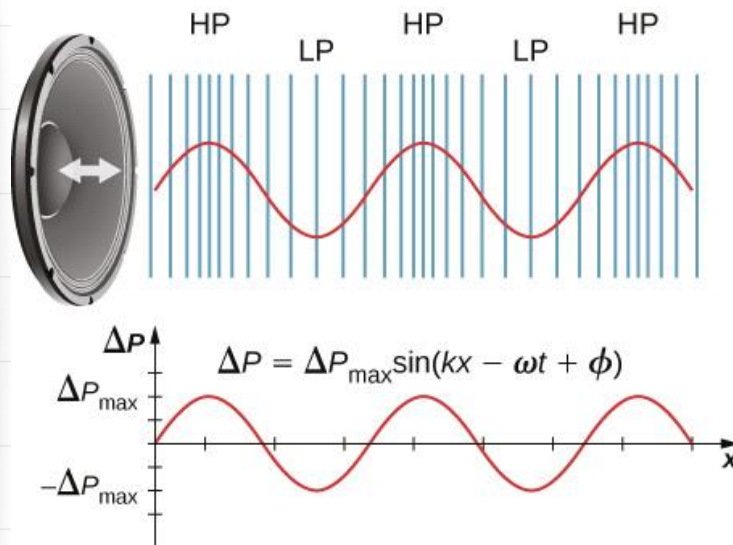
Kieliszek rozbiła fala dźwiękowa o częstotliwości równej częstotliwości rezonansowej kieliszka



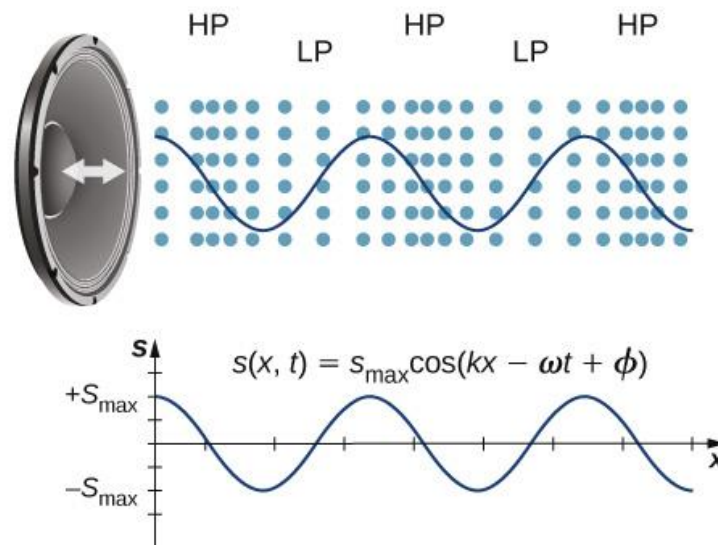
Fale dźwiękowe

<https://www.youtube.com/watch?v=qROXb3AdSt8>

HP = Zagęszczenie LP = Rozrzedzenie



(a)



(b)

Dźwięk może być modelowany jako zmiany ciśnienia powietrza wokół wartości średniej:

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_{\max} \sin(kx \mp \omega t + \phi),$$

gdzie Δp oznacza zmianę ciśnienia, Δp_{\max} jest maksymalną zmianą ciśnienia powietrza, $k = 2\pi/\lambda$ jest liczbą falową, $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$ jest częstością kątową, natomiast ϕ jest fazą początkową.

Równanie to jest podobne do równania przedstawiającego falę periodyczną. Prędkość dźwięku może być wyznaczona z zależności $v = \omega/k = \lambda/T$. Fale dźwiękowe mogą być również modelowane za pomocą drgających cząsteczek powietrza.

Wychylenie cząsteczek powietrza może być opisane funkcją cosinus:

$$\Delta y(x, t) = y_{\max} \cos(kx \mp \omega t + \phi),$$

gdzie y oznacza wychylenie, natomiast y_{\max} jest maksymalnym wychyleniem cząsteczek.



Prędkość fali dźwiękowej w ośrodku

Prędkość fali zależy od właściwości ośrodka. Ogólnie rzecz ujmując, prędkość fali w ośrodku zależy od własności sprężystych ośrodka i jego bezwładności:

$$|v| = \sqrt{\frac{\text{sprężystość}}{\text{bezwładność}}}$$

Sprężystość ośrodka oznacza zdolność jego cząsteczek do osiągnięcia stanu równowagi po zaburzeniu. Bezwładność oznacza opór, jaki cząsteczki stawiają wobec zmian prędkości.

1) Prędkość fali w ciele stałym: Struny gitary mają różne grubości i są wykonywane z materiałów o różnych właściwościach. Prędkość impulsu/fali na naprężonej strunie możemy wyliczyć za pomocą równania

$$|v| = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}},$$

Prędkość dźwięku w ciałach stałych zależy w znacznym stopniu od naprężeń.

gdzie F_T to naprężenie siły. Prędkość fali na strunie zależy od pierwiastka kwadratowego z naprężenia podzielonego przez masę przypadającą na jednostkę długości.

2) Prędkość fali w cieczy: Prędkość fali podłużnej w płynie zależy od jego gęstości i modułu sprężystości objętościowej

$$|v| = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \rightarrow K \text{ to moduł sprężystości objętościowej} \left(\text{moduł Helmholtza } K = -\frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V_0}} \right), a \rho \text{ to gęstość}$$

Prędkość dźwięku w cieczach zależy od ich ściśliwości.

3) Prędkość fali w gazie doskonałym: Prędkość fali podłużnej w płynie zależy od jego gęstości i modułu sprężystości objętościowej

$$|v| = \sqrt{\frac{\kappa R T_K}{M}} \rightarrow \kappa \text{ to wykładnik adiabaty, } R \text{ jest stałą gazową, } T_K \text{ temperaturą bezwzględną w kelwinach,}$$

a M masą cząsteczkową

Prędkość dźwięku w gazach zależy od temperatury. Im większa jest temperatura powietrza, tym szybciej poruszają się jego cząsteczki i tym większa jest prędkość dźwięku.

Im większa jest gęstość ośrodka, tym mniejsza jest prędkość dźwięku. Wniosek ten jest analogiczny do faktu, że częstotliwość prostego ruchu harmonicznego jest odwrotnie proporcjonalna do m masy drgającego ciała. Prędkość dźwięku w powietrzu jest mała, ponieważ powietrze jest łatwo ściśliwe. Ponieważ ciecze i ciała stałe są bardzo sztywne i trudne do ściśnięcia, prędkość dźwięku w tych ciałach jest generalnie większa niż w gazach.



Przykład 11.1

Obliczanie długości fal

Oblicz długości fal dźwięków w temperaturze powietrza równej 30°C dla skrajnych częstotliwości określających zakres słyszalności 20 Hz i $20\,000\text{ Hz}$.

$$|v| = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{1 + \frac{T_c}{273^{\circ}\text{C}}} = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\frac{303\text{ K}}{273\text{ K}}} = 348.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{348.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20\text{ Hz}} = 17\text{ m}$$

↖ Maksymalna długość fali

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{348.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20000\text{ Hz}} = 1.7\text{ cm}$$

↖ Minimalna długość fali

Ponieważ iloczyn f i λ jest wielkością stałą, im niższa częstotliwość f , tym większa długość fali λ i odwrotnie.



Natężenie dźwięku

W cichym lesie możesz czasami usłyszeć pojedynczy spadający na ziemię liść. Natomiast, kiedy kierowca samochodu ma włączone radio, nie słyszczyć nawet tego, co mówi osoba siedząca obok. Wszyscy jesteśmy świadomi, co to jest głośność dźwięków i że głośność związana jest z tym, jak energicznie wibruje źródło. Duży poziom hałasu jest niebezpieczny dla słuchu, dlatego tak ważne jest, aby osoby pracujące w warunkach przemysłowych stosowały ochronniki słuchu. Wielkością fizyczną, która opisuje fale dźwiękowe, niezależnie od tego, czy są one z zakresu słyszalnego czy nie, jest natężenie dźwięku, którą definiujemy jako

$$I = \frac{P}{A},$$

gdzie P jest mocą przepływającą przez powierzchnię A .

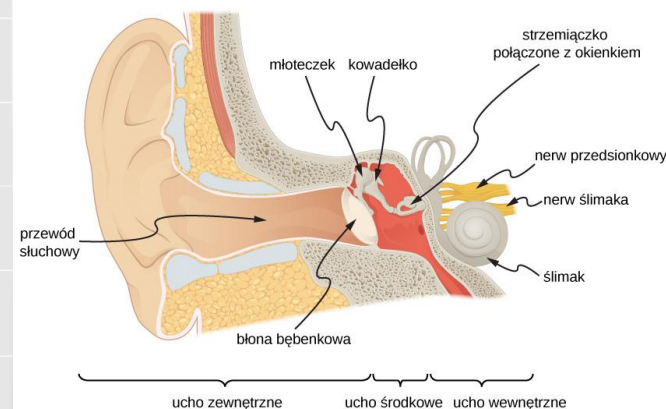
Poziom natężenia dźwięku (ang. sound intensity level) β , mierzony w decybelach (ang. decibel), o natężeniu I w watach na metr kwadratowy, definiuje się jako

$$\beta = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right),$$

gdzie $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ jest progową wartością natężenia, odpowiadającą jest wartością progową dla normalnie słyszającej osoby, odpowiadającą natężeniu dźwięku o częstotliwości 1000 Hz.



<https://www.youtube.com/watch?v=pooeW9Oop5Q>





Przykład 10.2

Zmiany poziomu natężenia dźwięku

Pokaż, że jeśli dźwięk jest dwukrotnie głośniejszy od innego, jego poziom natężenia jest o 3 dB wyższy.

$$\frac{I_2}{I_1} = 2$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 3dB$$

$$\log_{10} b - \log_{10} a = \log_{10} \left(\frac{b}{a} \right)$$

$$\begin{aligned} \beta_2 - \beta_1 &= \log_{10} \left(\frac{I_2}{I_1} \right) = \log_{10}(2) = 10 * 0.301 \text{ dB} \\ &= 3.01 \text{ dB} \end{aligned}$$

Zauważ, że ponieważ dany jest stosunek I_2/I_1 a nie rzeczywiste wartości natężeń, to otrzymany wynik jest prawdziwy dla wszystkich natężeń, których stosunek jest równy 2. Na przykład dźwięk o poziomie 56,0 dB jest dwukrotnie bardziej intensywny niż dźwięk o poziomie 53,0 dB, a dźwięk o poziomie natężenia 97,0 dB jest o połowę mniej intensywny niż dźwięk o poziomie natężenia 100 dB i tak dalej.



Słyszenie dźwięków

Ucho ludzkie posiada ogromny zakres wrażliwości na zjawiska dźwiękowe. Potrafi dostarczyć nam szereg informacji – takich jak wysokość, głośność i kierunek rozchodzenia się dźwięku.

Percepcja częstotliwości to rejestrowanie **wysokości dźwięku** (ang. pitch). Zwykle ludzie mają doskonałą względną zdolność oceny wysokości dźwięku i potrafią rozróżnić dwa dźwięki o odmiennych częstotliwościach różniących się od siebie o ok. 0,3%. Na przykład dźwięki o częstotliwościach 500 i 501,5 Hz są wyraźnie dla człowieka różne. Nuty (ang. musical notes) są symbolicznym zapisem dźwięków o określonej częstotliwości.

https://www.youtube.com/watch?v=s_SMZxINJJk

Percepcja natężenia oznacza rejestrowanie dźwięków o różnej **głośności** (ang. loudness). Można już usłyszeć różnicę ok. 1 dB. Głośność nie jest związana wyłącznie z natężeniem. Na percepcję głośności ma wpływ częstotliwość dźwięku. Dźwięki o wysokich i niskich częstotliwościach wydają się mniej głośne, ponieważ ucho ludzkie jest mniej na nie wrażliwe. Kiedy skrzypce grają środkowe C, to nie można tego dźwięku pomylić z tym samym dźwiękiem granym na fortepianie. Powodem jest to, że każdy instrument wytwarza charakterystyczny zbiór częstotliwości i natężeń. Tę kombinację częstotliwości oraz natężeń nazywamy zwykle **barwą dźwięku** (ang. timbre). Barwa dźwięku jest wynikiem wielu odbić, rezonansów i superpozycji fal w instrumencie.



Wrocław
University
of Science
and Technology

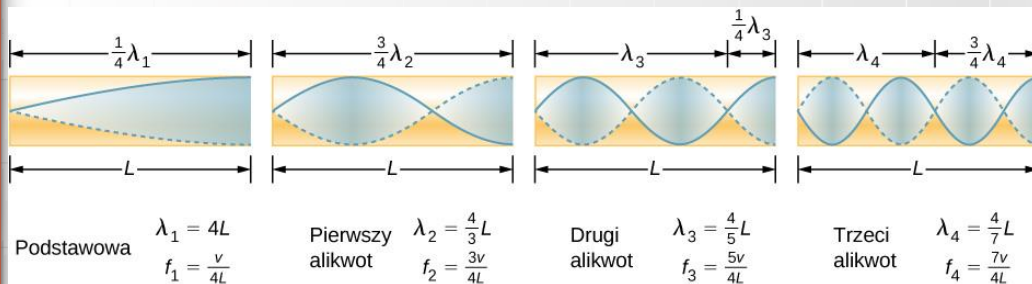
Tryby drgań fali stojącej

Gdy fala odbita interferuje z samą sobą, wówczas powstaje fala stojąca:

$$y_R(x, t) = 2y_m \sin(kx) \cos(\omega t)$$

Rezonans w rurze jednostronnie zamkniętej

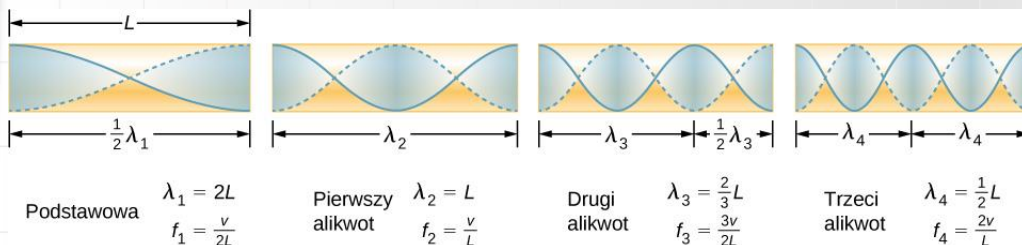
$$\lambda_n = \frac{4}{n}L$$



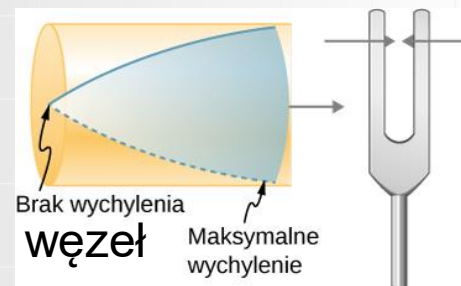
Na końcu rury cząsteczki powietrza mają bardzo mało miejsca, aby wykonywać drgania, co skutkuje powstaniem węzła. Na końcu otwartej części rury cząsteczki powietrza mają dużą swobodę, by wykonywać drgania, i dla odpowiednich częstotliwości tworzy się wówczas strzałka. W przeciwieństwie do symetrycznych warunków brzegowych na strunie, gdzie powstają fale stojące, warunki brzegowe dla rury jednostronnie otwartej są niesymetryczne – węzeł na końcu zamkniętej rury i strzałka na końcu otwartej.

Rezonans w rurze obustronnie otwartej

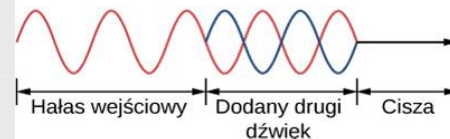
$$\lambda_n = \frac{2}{n}L$$



kamerton



strzałka



Słuchawki zaprojektowane w celu redukcji hałasu z wykorzystaniem destruktywnej interferencji, tzn. działające poprzez dodanie sygnału odwróconego w fazie w stosunku do sygnału oryginalnego.

<https://www.youtube.com/watch?v=RvIELsFL9p0>

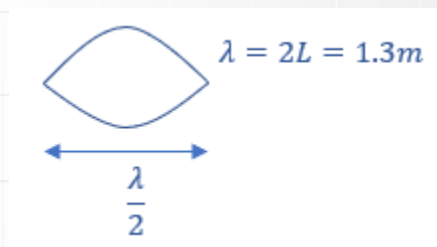
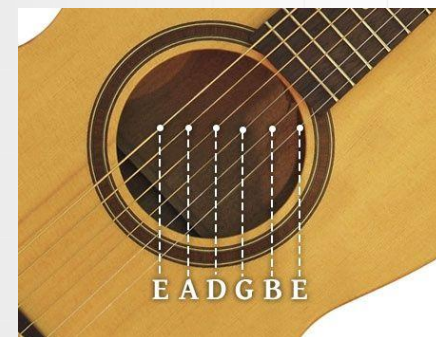


Przykład 10.3

Tryby drgań fali stojącej

Na strunie A gitary wzbudzono falę stojącą o jednej strzałce i dwóch węzłach, drgającą z częstotliwości 110Hz.

- Jaka jest długość fali stojącej na strunie? (przyjmij, że długość struny $L = 65\text{cm}$).
- Drgająca struna, za pośrednictwem pudła rezonansowego wytwarza w powietrzu falę dźwiękową o tej samej częstotliwości. Jaka jest długość fali dźwiękowej rozchodzącej się w powietrzu? Prędkość dźwięku w powietrzu wynosi $v = 330\text{m/s}$?



$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{330 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{110 \text{ Hz}} = 3\text{m}$$



Przykład 10.4

Wyznaczanie długości rury o częstotliwości podstawowej 128 Hz

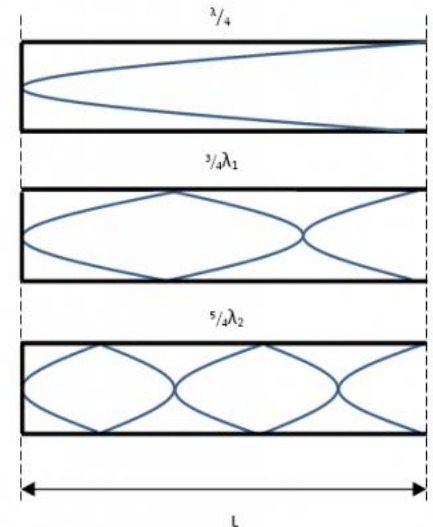
Jaką długość powinna mieć rura jednostronnie zamknięta w dniu, w którym temperatura powietrza wynosi $22,0^{\circ}\text{C}$, jeśli jej częstotliwość podstawowa wynosi 128 Hz? A jaka jest częstotliwość czwartego alikwota?

$$f_1 = \frac{v}{4L} \rightarrow L = \frac{v}{4f_1}$$

$$|v| = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{1 + \frac{T_c}{273^{\circ}\text{C}}} = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\frac{295 \text{ K}}{273 \text{ K}}} = 344 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L = \frac{v}{4f_1} = \frac{344 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 * 128 \text{ Hz}} = 0.672 \text{ m}$$

$$f_9 = 9 \frac{v}{4L} = 9f_1 = 1.15 \text{ kHz}$$



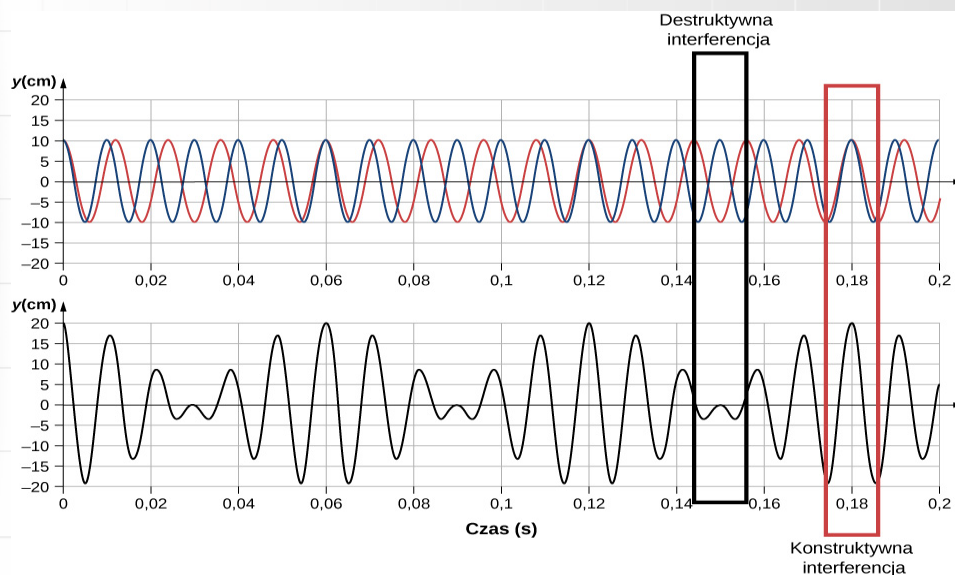
Wiele instrumentów dętych to zmodyfikowane rury wyposażone w otwory, zawory i inne urządzenia służące do zmiany długości słupa powietrza rezonansowego, a tym samym częstotliwości generowanego dźwięku. Rury, z których zbudowane są róg lub tuba, muszą być bardzo długie, by wytwarzały niskie częstotliwości. Ze względów praktycznych rury zwijane są więc w pętle. Niezależnie od tego, w jaki sposób pojawiają się alikwoty, czy w prostej rurze, czy w instrumencie muzycznym, dźwięk zależy od tego, w jaki sposób następuje stymulowanie drgań oraz jaki jest kształt rezonatora. Na przykład puzon nie wytwarza podstawowej częstotliwości, tylko alikwoty.



Dudnienia

Gdy fala o różnej częstotliwości interferują, wówczas powstają dudnienia:

$$y(t) = 2y_m \sin(2\pi f_{\text{średnia}} t) \cos\left(2\pi \left(\frac{|f_2 - f_1|}{2}\right) t\right)$$



Badania o muzyce dostarczają wielu przykładów superpozycji fal oraz konstruktywnej i destrukcyjnej interferencji. Jest niewiele przykładów muzyki wykonywanej przez jedno źródło, generujące jedną częstotliwość przez dłuższy czas. Prawdopodobnie zgodzisz się z tym, że pojedyncza częstotliwość grana przez dłuższy czas jest nudna i irytująca, podobnie jak dźwięk silnika samolotu czy głośnego wentylatora. Muzyka jest przyjemna i ciekawa dzięki mieszanii się różnych częstotliwości różnych instrumentów i głosów.

$$f_{\text{dudnienia}} = |f_2 - f_1|$$

Dudnienia te mogą być pożyteczne dla stroicieli fortepianów. Widelki stroikowe są pobudzone do drgań, podobnie jak dźwięk na fortepianie. Gdy stroiciel dostraja struny fortepianu, słyszy dudnienia o malejącej częstotliwości wynikające z wyrównywania częstości struny z częstotliwością generowaną przez widelki stroikowe.



Przykład 10.5

Znajdź częstotliwość dudnień pomiędzy dwoma kamertonami

Jaka jest częstotliwość dudnień, gdy dwa kamertony o częstotliwości 256 Hz i 512 Hz pobudzone są jednocześnie?

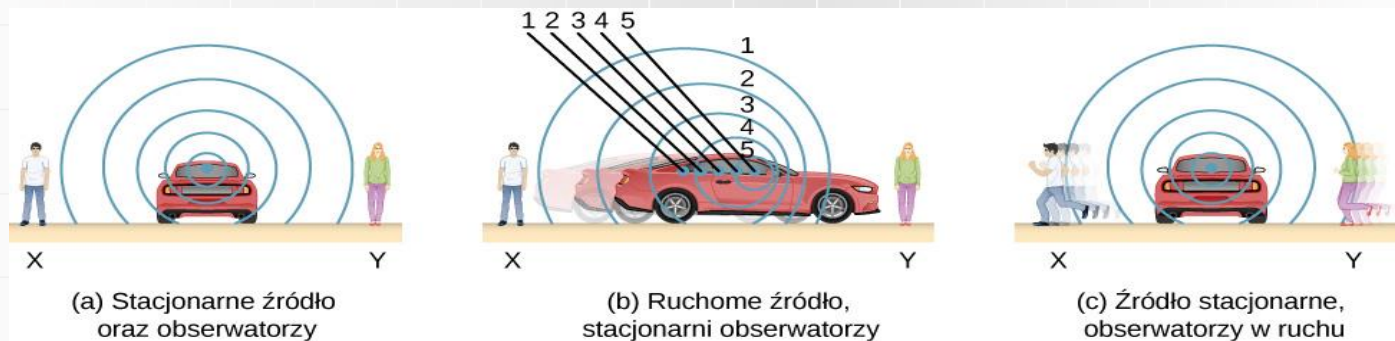
$$f_{dudnienia} = |f_2 - f_1| = 512\text{Hz} - 256\text{Hz} = 256\text{Hz}$$

Częstotliwość dudnień jest modułem różnicy dwóch częstotliwości. Częstotliwość ujemna nie miałaby sensu.



Efekt Dopplera

Rejestrowana przez obserwatora zmiana częstotliwości sygnału zbliżającej się i oddalającej się karetki pogotowia albo hałasu wytwarzanego przez głośny motocykl są typowymi przykładami efektu Dopplera (ang. Doppler effect). Po pierwsze, głośność dźwięku wzrasta, kiedy karetką zbliża się, i maleje, gdy karetką się oddala. Częstotliwość dźwięku syreny, który dociera do ucha obserwatora, rośnie, gdy karetką się zbliża, i maleje, gdy karetką się oddala, także wtedy, gdy syrena generuje dźwięk o stałej częstotliwości. Zmiany są najbardziej odczuwalne, gdy karetką mijają obserwatora. Im szybciej karetką się porusza, tym większa jest zmiana częstotliwości syreny. To charakterystyczne przesunięcie częstotliwości słyszymy również dla poruszających się samochodów, samolotów, pociągów.



Przesunięcie Dopplera

$$f_o = f_s \left(\frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} \right)$$

Nieruchomy obserwator

$$f_o = f_s$$

Obserwator poruszający się w stronę źródła

$$f_o = f_s \left(\frac{v + v_o}{v} \right)$$

Obserwator oddalający się od źródła

$$f_o = f_s \left(\frac{v - v_o}{v} \right)$$

Kiedy źródło się porusza i obserwator jest nieruchomy, rejestrowana przez niego częstotliwość jest równa:

$$f_{\text{obserwatora}} = f_{\text{źródła}} \left(\frac{v_{\text{dźwięku}}}{v_{\text{dźwięku}} \mp v_{\text{źródła}}} \right)$$

Zależności dla obserwatora poruszającego się w kierunku nieruchomego źródła i oddalającego się od tego źródła mogą być połączone w jedno równanie:

$$f_{\text{obserwatora}} = f_{\text{źródła}} \left(\frac{v_{\text{dźwięku}} \mp v_{\text{obserwatora}}}{v_{\text{dźwięku}}} \right)$$

Źródło nieruchome

Źródło poruszające się w stronę obserwatora

$$f_o = f_s \left(\frac{v}{v - v_s} \right)$$

Źródło oddalające się od obserwatora

$$f_o = f_s \left(\frac{v}{v + v_s} \right)$$

$$f_o = f_s \left(\frac{v + v_o}{v - v_s} \right)$$

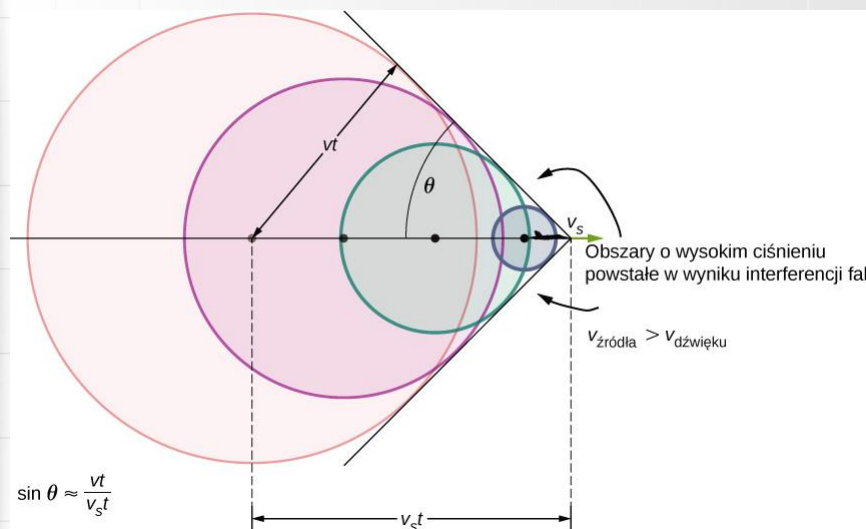
$$f_o = f_s \left(\frac{v + v_o}{v + v_s} \right)$$

$$f_o = f_s \left(\frac{v - v_o}{v - v_s} \right)$$

$$f_o = f_s \left(\frac{v - v_o}{v + v_s} \right)$$



Fale uderzeniowe



Jeśli źródło porusza się z prędkością większą niż prędkość dźwięku, obserwator usłyszy dźwięk dopiero, gdy źródło go minie. Wtedy docierający z opóźnieniem dźwięk zbliżającego się źródła, miesza się z dźwiękiem generowanym przez oddalające się źródło. Na wskutek nałożenia się tych fal zachodzi ciekawe zjawisko – powstaje fala uderzeniowa.

<https://www.youtube.com/watch?v=hqom09Q01SU>

Konstruktywna interferencja fal dźwiękowych docierających równocześnie do linii pokazanych na rysunku (stożek w trzech wymiarach). Ta superpozycja tworzy zakłócenie zwane falą uderzeniową (ang. shock wave). Konstruktywna interferencja dźwięku występuje, gdy obiekt porusza się z **prędkością większą niż prędkość dźwięku**. Wewnątrz stożka występuje destruktywna interferencja, przez co natężenie dźwięku jest znacznie mniejsze niż na powierzchni fali uderzeniowej. Kąt fali uderzeniowej można znaleźć na podstawie geometrii zjawiska. W czasie t źródło przesunęło się o $v_s t$, fala dźwiękowa przemieściła się z tego samego punktu na odległość vt , a kąt może być wyznaczony z zależności $\sin \theta = vt / v_s t = v / v_s$. Liczbę Macha definiuje się jako $M = v_s / v$, co oznacza, że sinus kąta jest odwrotnością **liczby Macha** M .



Słowniczek

aliquoty (ang. overtones)

- wszystkie częstotliwości rezonansowe wyższe od podstawowej

barwa dźwięku (ang. timbre)

- mieszanina wielu składowych częstotliwościowych o różnych natężeniach

częstotliwość podstawowa (ang. fundamental frequency)

- najniższa częstotliwość rezonansowa

częstotliwość dudnień (ang. beat frequency)

- częstotliwość fali wytwarzanej przez fale dźwiękowe, które różnią się częstotliwością w niewielkim zakresie

dźwięk (ang. sound)

- propagujące zaburzenia ośrodka, które mogą być okresowe i mogą być modelowane jako zmiany ciśnienia powietrza lub drgania cząsteczek

dudnienia (ang. beats)

- konstruktywna i destruktywna interferencja dwóch lub więcej częstotliwości

efekt Dopplera (ang. Doppler effect)

- zmiana rejestrowanej przez obserwatora częstotliwości dźwięku w wyniku ruchu źródła dźwięku lub obserwatora



Słowniczek

fon (ang. phon)

– jednostka głośności

fala dziobowa (ang. bow wave)

– zakłócenia w kształcie litery v powstałe w sytuacji, gdy źródło dźwięku porusza się szybciej niż prędkość fali

fala uderzeniowa (ang. shock wave)

– fala, która jest wytwarzana, gdy źródło dźwięku porusza się szybciej niż prędkość dźwięku

głośność (ang. loudness)

– percepcja natężenia dźwięku

grom dźwiękowy (ang. sonic boom)

– głośny hałas, który występuje jako fala uderzeniowa podczas propagacji przy powierzchni ziemi

harmoniczne (ang. harmonics)

– termin odnoszący się do częstotliwości podstawowej oraz alikwotów

nuty (ang. musical notes)

– symbol umożliwiający notację dźwięku muzycznego, określający jego wysokość i czas trwania

poziom natężenia dźwięku (ang. sound intensity level)

– bezwymiarowa wielkość określająca poziom dźwięku w odniesieniu do wielkości progowej



Słowniczek

poziom ciśnienia akustycznego (ang. sound pressure level)

– logarytm ze stosunku kwadratu ciśnienia akustycznego odniesionego do kwadratu akustycznego ciśnienia odniesienia

przetwornik (ang. transducer)

– urządzenie, które zamienia energię sygnału w energię mierzalną, np. mikrofon zamieniający energię fali akustycznej w energię sygnału elektrycznego

przesunięcie Dopplera (ang. Doppler shift)

– rzeczywista zmiana częstotliwości spowodowana względnym ruchem źródła dźwięku i obserwatora

słuch (ang. hearing)

– percepcja dźwięku

wysokość dźwięku (ang. pitch)

– percepcja częstotliwości dźwięku



Praca domowa

- wytyczne

1. Format: plik pdf lub skan/zdjęcie (upewnij się, że Twoje pismo jest czytelne!)
2. Czytaj uważnie polecenia i wykonuj zawarte w nich zadania.
3. Pamiętaj aby **podpisać** swoją pracę.
4. Do rozwiązania dołącz:
 1. Rysunek – szkic sytuacji przedstawionej w zadaniu lub wykres wraz z danymi z zadania.
 2. Obliczenia – razem z przekształceniami wzorów, jeśli jest to konieczne.
 3. Wnioski sformułowane na podstawie dokonanej analizy.
5. Pamiętaj aby przesłać rozwiązania w terminie na adres email prowadzącej.



Wrocław
University
of Science
and Technology

Terminy

		PAŹDZIERNIK					LISTOPAD					GRUDZIEŃ				STYCZEŃ				LUTY			
PN	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	1 Pn N	8	15	22	
WT	29	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22 Śr P	29	5	12	19	26	2	9	16	23	
ŚR	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	3	10	17	24	
CZ	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	4	11	18	25	
PT	2 Pn	9 wt P	H1 16	H2 23	H3 30	H4 6	H5 13 Śr P	TEST 20	27	H6 4	H7 11	H8 18	25	1	H9 8	H10 15	Egzamin 22	29	5	12	19	26	
SO	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	6	13	20	27	
N	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	24	31	7	14	21	28	
P - PARZYSTY N - NIEPARZYSTY	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	

H6: 8.01.21 godz. 12:00

Email: sylvia.majchrowska@pwr.edu.pl