

Wykłady z Biofizyki



Zbigniew Osiak

**Wpływ
infradźwięków
i ultradźwięków
na organizm**

10

ORCID

Linki do moich publikacji naukowych i popularnonaukowych, e-booków oraz audycji telewizyjnych i radiowych są dostępne w bazie ORCID pod adresem internetowym:

<http://orcid.org/0000-0002-5007-306X>

OZNACZENIA

B – notka biograficzna

C – ciekawostka

H – informacja dotycząca historii fizyki

I – adres strony internetowej

K – komentarz

P – przykład

U – uwaga

Zbigniew Osiak (Tekst)

WYKŁADY Z BIOFIZYKI
Wpływ infradźwięków i ultradźwięków
na organizm

Małgorzata Osiak (Ilustracje)

© Copyright 2021 by
Zbigniew Osiak (text) and Małgorzata Osiak (illustrations)

Wszelkie prawa zastrzeżone.
Rozpowszechnianie i kopiowanie całości lub części publikacji
zabronione bez pisemnej zgody autora tekstu i autorki ilustracji.

Wydawnictwo: Self Publishing

ISBN: 978-83-960580-6-5

e-mail: zbigniew.osiak@gmail.com

“*Wykłady z Biofizyki – Wpływ infradźwięków i ultradźwięków na organizm*” są dziesiątym z piętnastu tomów pomocniczych materiałów do semestralnego kursu biofizyki prowadzonego przeze mnie dla studentów fizjoterapii. Zainteresowani studiowaniem biofizyki znajdą tu podstawowe pojęcia, prawa, jednostki, wzory, wykresy i przykłady.

Uzupełnieniem drugiego tomu są eBooki:

- Zbigniew Osiak: *Wykłady z Fizyki – Akustyka*. vixra:1804.0467
<https://vixra.org/abs/1804.0467>
- Zbigniew Osiak: *Zadania problemowe z biofizyki*. vixra:1804.0452
<https://vixra.org/abs/1804.0452>

Zapis wszystkich wykładów zgrupowanych w piętnastu tomach zostanie zamieszczony w internecie w postaci e-booków.

Wykłady z Biofizyki 01 – Krótka historia biofizyki

Wykłady z Biofizyki 02 – Termodynamika układów biologicznych

Wykłady z Biofizyki 03 – Biofizyka procesu słyszenia

Wykłady z Biofizyki 04 – Biofizyka procesu widzenia

Wykłady z Biofizyki 05 – Biofizyka układu krążenia

Wykłady z Biofizyki 06 – Biofizyka układu oddechowego

Wykłady z Biofizyki 07 – Biofizyka układu nerwowego

Wykłady z Biofizyki 08 – Deformacje tkanek

Wykłady z Biofizyki 09 – Biofizyka narządu ruchu

Wykłady z Biofizyki 10 – Wpływ infradźwięków i ultradźwięków na organizm

Wykłady z Biofizyki 11 – Wpływ prądu elektrycznego na organizm

Wykłady z Biofizyki 12 – Wpływ pola elektrycznego i magnetycznego na organizm

Wykłady z Biofizyki 13 – Wpływ pola elektromagnetycznego na organizm

Wykłady z Biofizyki 14 – Wpływ ultrafioletu, podczerwieni i mikrofal na organizm

Wykłady z Biofizyki 15 – Wpływ promieniowania jonizującego na organizm

Wykład 10

Wpływ infradźwięków i ultradźwięków na organizm

Plan wykładu

- Podstawowe pojęcia i wielkości
- Jednostki używane w diagnostyce i terapii ultradźwiękowej
- Infradźwięki, ultradźwięki i hiperdźwięki
- Metody wytwarzania ultradźwięków
- Ultradźwięki w ośrodkach jednorodnych
- Ultradźwięki w ośrodkach niejednorodnych
- Wpływ ultradźwięków i infradźwięków na organizm
- Wykorzystanie ultradźwięków w diagnostyce
- Wykorzystanie ultradźwięków w terapii
- HIFU
- Pojęcia związane z wytwarzaniem ultradźwięków i infradźwięków
- Dodatkowe informacje

Podstawowe pojęcia i wielkości

- Fala mechaniczna
- Fala podłużna
- Fala poprzeczna
- Długość fali
- Częstotliwość fali
- Prędkość fali
- Dźwięk jako fala mechaniczna
- Natężenie dźwięku
- Akustyczny efekt Dopplera

Fala mechaniczna

- Fala mechaniczna jest rozchodzącym się zaburzeniem ośrodka sprężystego spowodowanym przekazaniem drgań elementu ośrodka wytrąconego z położenia równowagi sąsiednim warstwom.
- Propagacji zaburzeń nie towarzyszy ruch ośrodka jako całości.

Fala podłużna

- Fala podłużna jest falą, w której drgania zachodzą w kierunku jej propagacji.

Fala poprzeczna

- Fala poprzeczna jest falą, w której drgania zachodzą prostopadle do kierunku jej propagacji.

Długość fali

- Długość fali (λ) jest wielkością skalarną mierzoną w metrach [m] będącą odległością mierzoną wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali między dwoma najbliższymi sobie położonymi punktami, którym odpowiadają takie same fazy fali.

Częstotliwość fali

- Częstotliwość fali (f) jest wielkością skalarną mierzoną w hercach będącą odwrotnością czasu (T) w jakim czoło fali przebywa odległość równą długości fali. Czas ten nazywany jest okresem fali.

$$f = \frac{1}{T}, \quad [f] = \frac{1}{s} = \text{Hz}$$

- Częstotliwość fali jest równa częstotliwości drgań źródła.

Prędkość fali

- Prędkość fali jest prędkością z jaką porusza się czoło tej fali.

$$v = \lambda f$$

λ – długość fali

f – częstotliwość fali

- Wartość prędkości fali rozchodzącej się w danym ośrodku zależy od własności tego ośrodka.

Dźwięk jako fala mechaniczna

- Fale akustyczne są podłużnymi falami mechanicznymi rozchodzącymi się w gazach, cieczech i ciałach stałych.
- Propagacja fal akustycznych polega na przekazywaniu drgań cząsteczek ośrodka sąsiednim cząsteczkom, towarzyszą temu lokalne zmiany gęstości i ciśnienia.
- Fale akustyczne są nazywane również falami dźwiękowymi lub krótko dźwiękami.

Natężenie dźwięku

- Natężenie dźwięku (I) jest wielkością skalarną mierzoną w watach na metr kwadratowy, określoną jako

$$I = \frac{E}{St}, \quad [I] = \frac{W}{m^2}$$

E – energia przenoszona przez falę dźwiękową przechodzącą w czasie (t) przez powierzchnię (S) ustawioną prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali

- Natężenie dźwięku zależy wprost proporcjonalnie od kwadratu amplitudy fali i kwadratu jej częstotliwości oraz odwrotnie proporcjonalnie od kwadratu odległości od źródła.

Akustyczny efekt Dopplera

- Akustyczny efekt Dopplera – zjawisko polegające na pozornej zmianie częstotliwości źródła dźwięku, spowodowanej ruchem obserwatora i/lub źródła względem ośrodka. Podczas względnego oddalania się od źródła obserwator słyszy dźwięk niższy, a podczas względnego zbliżania się do źródła – wyższy w stosunku do wysokości dźwięku odbieranego podczas spoczynku względem źródła.

H Doppler 25 maja 1842 ogłosił, a w 1843 opublikował swoją najważniejszą pracę, w której teoretycznie uzasadnił wpływ ruchu źródła i obserwatora na częstotliwość fal.

B Christian Johann Doppler (1803-1853), austriacki fizyk, matematyk i astronom.

• J. Doppler: *Über das farbige Licht der Doppelsterne und einige andere Gestirne des Himmels*. 1843.
O kolorowym świetle gwiazd podwójnych i niektórych innych ciał niebieskich.

Akustyczny efekt Dopplera

P Efekt Dopplera w przypadku spoczywającego odbiornika:

$$f_{\text{zbl}} = f \left(\frac{v}{v - v_z} \right), \quad f_{\text{zbl}} > f$$

$$f_{\text{odd}} = f \left(\frac{v}{v + v_z} \right), \quad f_{\text{odd}} < f$$

f – częstotliwość fali dźwiękowej wysłanej przez źródło spoczywające względem ośrodka

f_{zbl} – częstotliwość fali docierającej do odbiornika spoczywającego względem ośrodka, wysłanej przez zbliżające się źródło

f_{odd} – częstotliwość fali docierającej do odbiornika spoczywającego względem ośrodka, wysłanej przez oddalające się źródło

v – wartość prędkości fali dźwiękowej w ośrodku

v_z – wartość prędkości źródła względem ośrodka

Jednostki używane w diagnostyce i terapii ultradźwiękowej

- Bel
- Neper
- Rayl, rayl lub Rayleigh

Bel

- Bel (B) – bezwymiarowa jednostka wielkości (N) będącej logarytmem dziesiętnym z ilorazu dwóch innych wielkości o tych samych mianach.

$$N = \log_{10} \frac{I_1}{I_2}, \quad [N] = B$$

$$1 \text{ B} = 10 \text{ dB} = (\ln 10) \text{ Np} \approx 2,302 \text{ Np}$$

P $N = 1 \text{ B}$, gdy $I_1/I_2 = 10$

C Nazwa bel pochodzi od nazwiska Bell.

B Alexander Graham Bell (1847-1922), amerykański fizjolog, fizyk i wynalazca pochodzenia szkockiego.

Neper

- Neper (Np) – bezwymiarowa jednostka wielkości (L) będącej logarytmem naturalnym z ilorazu dwóch innych wielkości o tych samych mianach.

$$L = \ln \frac{I_1}{I_2}, \quad [L] = \text{Np}$$

$$1 \text{ Np} = (\log e) \text{ B} \approx 0,4343 \text{ B} \approx 4,343 \text{ dB}$$

P $L = 1 \text{ Np}$, gdy $I_1/I_2 = e \approx 2,718$

C Nazwa neper pochodzi od nazwiska Napier.

B John Napier (Neper) (1550-1617), szkocki matematyk.

Rayl, rayl lub Rayleigh

- Rayl, rayl lub Rayleigh – jednostka oporu akustycznego.

$$1 \text{ Rayl} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} = 1 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3} = 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$$

C Nazwa Rayl pochodzi od nazwiska Rayleigh.

B John William Strutt, 3. baron Rayleigh, Lord Rayleigh (1842-1919), brytyjski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1904 "za badania gęstości najważniejszych gazów i odkrycie argonu w związku z tymi badaniami".

Infradźwięki, ultradźwięki i hiperdźwięki

- Infradźwięki
- Ultradźwięki
- Hiperdźwięki

Infradźwięki

- Infradźwięki – podłużne fale mechaniczne rozchodzące się w gazach, cieczach i ciałach stałych o częstotliwościach mniejszych niż 16 Hz.
- Infradźwięki nie są słyszalne przez człowieka.
- Źródłem infradźwięków mogą być między innymi sprężarki, głośniki niskotonowe, tektoniczne ruchy Ziemi, wyładowania atmosferyczne oraz kołyszące się konary dużych drzew.
- Infradźwięki mogą rozchodzić się na bardzo duże odległości, ponieważ są bardzo słabo pochłaniane.

Infradźwięki

- Infradźwięki są niebezpieczne dla człowieka, ponieważ mogą wywoływać rezonansowy wzrost amplitudy drgań narządów takich jak serce i płuca.
- Niektóre zwierzęta, jak na przykład szczury, słyszą infradźwięki. Uciekanie tych zwierząt, z zajmowanego przez nie terytorium, może zwiastować zbliżające się trzęsienie Ziemi lub katastrofę budowlaną.

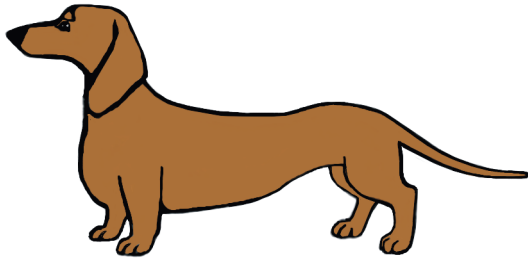


Ultradźwięki

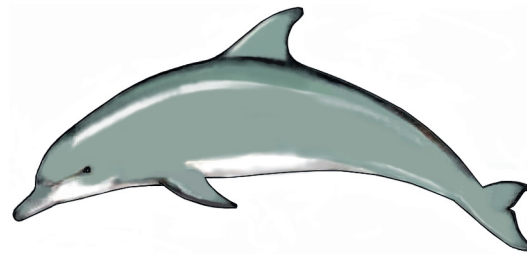
- Ultradźwięki – podłużne fale mechaniczne rozchodzące się w gazach, cieczech i ciałach stałych o częstotliwościach z przedziału 20 kHz ÷ 1 GHz.
- Ultradźwięki nie są słyszalne przez człowieka.
- Wytwarzanie ultradźwięków jest możliwe dzięki wykorzystaniu zjawisk elektrostrykcji, magnetostrykcji lub odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego.
- Ultradźwięki znalazły zastosowanie między innymi w wielu procesach technologicznych, badaniach struktury materiałów, echolokacji oraz terapii i diagnostyce medycznej.

Ultradźwięki

- Niektóre zwierzęta, jak na przykład psy, słyszą ultradźwięki, co jest niezwykle przydatne przy ich tresurze.



- Nietoperze i delfiny potrafią wytwarzać i odbierać ultradźwięki, wykorzystując je do echolokacji.



Hiperdźwięki

- Hiperdźwięki – podłużne fale mechaniczne o częstotliwościach większych niż 1 GHz.
- Hiperdźwięki nie są słyszalne przez człowieka.
- Wytwarzanie hiperdźwięków jest możliwe dzięki wykorzystaniu zjawiska elektrostrykcji w zmiennych polach elektrycznych o częstotliwościach mikrofalowych.
- Propagacja hiperdźwięków może zachodzić tylko w ośrodkach, w których odległości między atomami (cząsteczkami) są niewiększe od długości fali hiperdźwiękowej.

Metody wytwarzania ultradźwięków

- Elektrostrykcja
- Magnetostrykcja
- Zjawisko piezoelektryczne
- Odwrotne zjawisko piezoelektryczne

Elektrostrykcja

- Elektrostrykcja – zjawisko polegające na zmianie długości i objętości dielektryków pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego.
- Odkształcenia te nie zależą od zwrotu natężenia pola elektrycznego, a ich amplituda zależy od kwadratu wartości natężenia pola.
- W polu elektrycznym zmieniającym się z częstotliwością (f) periodyczne zmiany liniowych wymiarów dielektryka odbywają się z częstotliwością ($2f$).

Magnetostrykcja

- Magnetostrykcja – zjawisko polegające na zmianie długości i objętości ferromagnetyków i ferrimagnetyków pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego.
- Odkształcenia te nie zależą od zwrotu natężenia pola magnetycznego, a ich amplituda zależy od kwadratu wartości natężenia pola.

H Magnetostrykcję liniową odkrył Joule w 1842.

B James Prescott Joule (1818-1889), brytyjski fizyk.

Magnetostrykcja

- W polu magnetycznym zmieniającym się z częstotliwością (f) periodyczne zmiany liniowych wymiarów ferromagnetyków i ferrimagnetyków odbywają się z częstotliwością ($2f$).
- Prąd zmienny o częstotliwości 50 Hz płynący w uzwojeniach transformatora wytwarza zmienne pole magnetyczne. Wskutek magnetostrykcji ferromagnetyczny rdzeń transformatora wykonuje drgania o częstotliwości 100 Hz, stanowiąc źródło charakterystycznego dźwięku (buczenia).

Zjawisko piezoelektryczne

- Zjawisko piezoelektryczne – zjawisko polegające na tym, że ściskanie lub rozciąganie niektórych kryształów wzdłuż określonych kierunków powoduje powstawanie różnicy potencjałów między przeciwległymi ścianami prostopadłymi do kierunku deformacji.
- Polaryzacja napięcia zależy od rodzaju deformacji. Zjawisko piezoelektryczne występuje między innymi w kwarcu, turmalinie i soli Seignette’a.

H Zjawisko piezoelektryczne odkryli bracia Curie w 1880.

B Paul Jacques Curie (1855-1941), francuski fizyk.

B Pierre Curie (1859-1906), francuski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1903.

Odwrotne zjawisko piezoelektryczne

- Odwrotne zjawisko piezoelektryczne – zjawisko polegające na zmianie liniowych rozmiarów niektórych kryształów pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego.
- Rodzaj odkształcenia (ściskanie, rozciąganie) zależy od kierunku natężenia pola elektrycznego.

H Odwrotne zjawisko piezoelektryczne teoretycznie przewidział Lippmann w 1881, a następnie potwierdzili je doświadczalnie bracia Curie.

B Gabriel Lippmann (1845-1921), francuski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1908.

B Paul Jacques Curie (1855-1941), francuski fizyk.

B Pierre Curie (1859-1906), francuski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1903.