

Akustyczny efekt Dopplera

Wymagania do ćwiczenia

1. Fale sprężyste - równanie fali i podstawowe wielkości charakteryzujące ruch falowy.
2. Zjawiska towarzyszące propagacji fali dźwiękowej - odbicie, załamanie i pochłanianie.
3. Zjawisko Dopplera.

Literatura

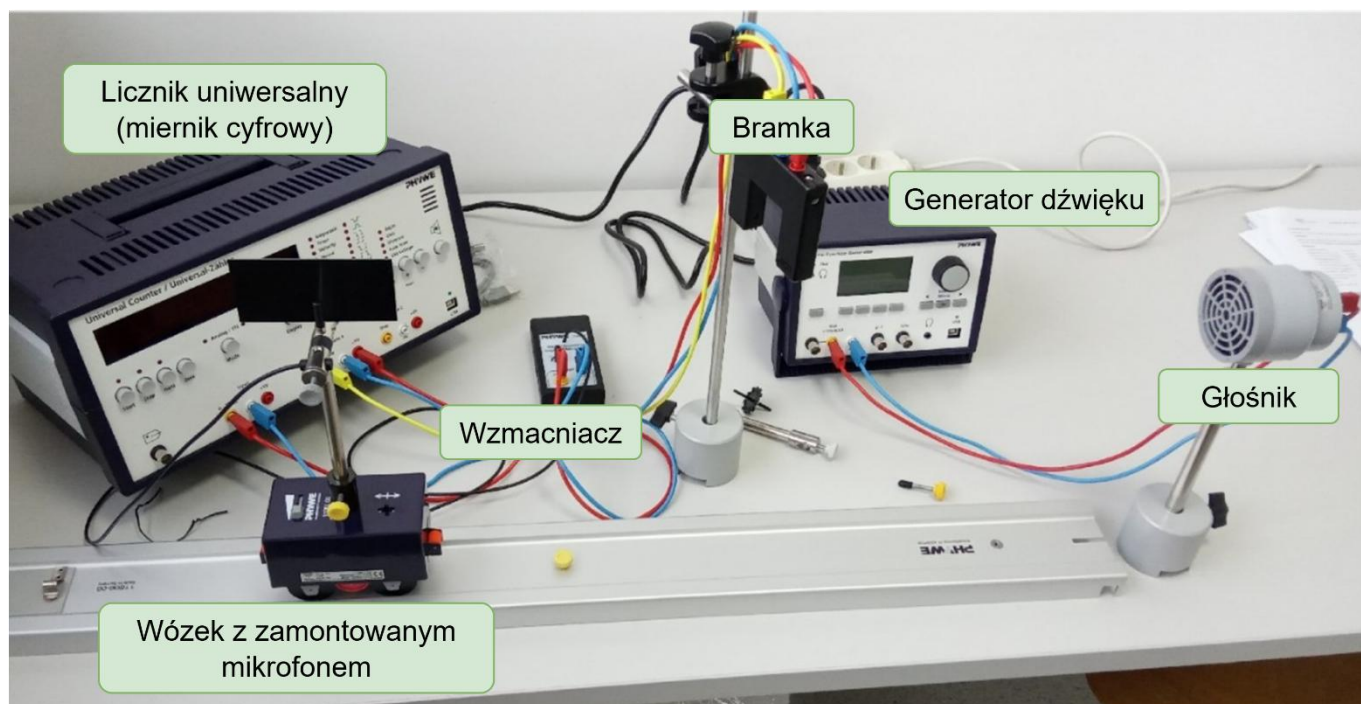
1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki, t. 2, PWN, Warszawa 2006, str. 173-177.
2. J. Massalski, M. Massalska, Fizyka dla inżynierów, t. 1, PWN, Warszawa 2018, str. 223-226.
3. OpenStacks, Fizyka dla szkół wyższych. Tom 1, Rozdział 17: [Efekt Dopplera](#)

Przykładowe pytania

1. Zapisz równanie falowe.
2. Czym różni się fala poprzeczna od podłużnej? Podaj przykłady występowania obu typów fal.
3. Jakie wielkości fizyczne opisują ruch falowy? Zdefiniuj długość fali, częstotliwość, okres.
4. Jakie warunki muszą być spełnione, aby mogła rozchodzić się fala sprężysta?
5. Co oznacza amplituda fali akustycznej? Jak wpływa ona na wrażenie słuchowe?
6. Jak zmienia się natężenie fali dźwiękowej wraz z odległością od źródła?
7. W jaki sposób prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej zależy od właściwości ośrodka?
8. Jakie zjawiska towarzyszą propagacji fali dźwiękowej?
9. Na czym polega zjawisko Dopplera?
10. W jaki sposób efekt Dopplera wpływa na częstotliwość odbieraną przez obserwatora?
11. Jakie znaczenie praktyczne ma akustyczny efekt Dopplera?

Przyrządy pomiarowe

1. Licznik uniwersalny
2. Generator dźwięku, głośnik, mikrofon
3. Ława jezdna wraz z wózkiem

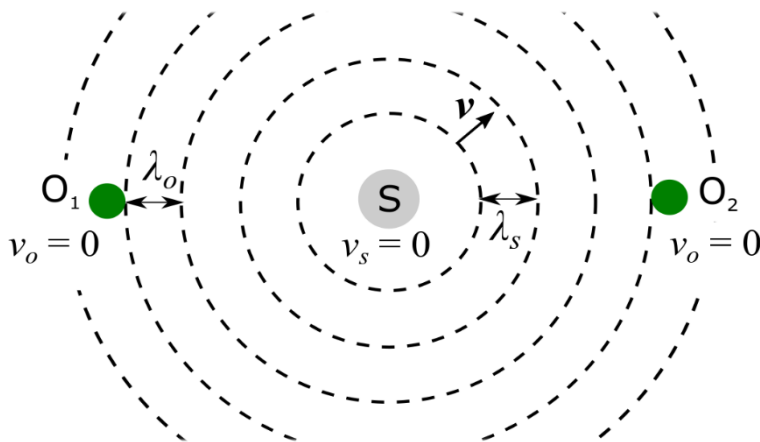


WPROWADZENIE DO TEMATYKI ĆWICZENIA



Efekt Dopplera

Zmiana częstotliwości sygnału odbieranego przez obserwatora, którego mija karetka pogotowia, jest typowym przykładem zjawiska Dopplera. Pierwszy raz zjawisko, to przewidział w 1842 austriacki fizyk Christian Andreas Doppler, co później, w roku 1845 w Holandii zostało potwierdzone doświadczalnie przez Buysa Ballota. Należy wspomnieć, że zjawisko Dopplera zachodzi również dla fal elektromagnetycznych, co znalazło zastosowanie między innymi w astronomii, do wyznaczania prędkości obiektów astronomicznych względem Ziemi. Jednak znacznie prostiej jest zademonstrować i wyjaśnić efekt Dopplera na przykładzie fal sprężystych. Fizykę zjawiska Dopplera można dobrze zobrazować na podstawie rysunku 1, gdzie po dwóch stronach źródła dźwięku S znajduje się dwóch obserwatorów oznaczonych jako O_1 oraz O_2 .



Rys. 1. Stacjonarne źródło dźwięku S i obserwatorzy O_1 i O_2 .

Źródło dźwięku S emituje sferyczne fale o długości λ_s , które rozchodzą się we wszystkich kierunkach (sferycznie) z prędkością v . Należy zaznaczyć, że długość fal λ_s emitowanych przez źródło oraz ich częstotliwość f_s , nie zmieniają się. Jeśli obserwatorzy i źródło dźwięku znajdują się w spoczynku ($v_{ob} = v_s = 0$), to obaj obserwatorzy odbierają dźwięk o tej samej częstotliwości (długości fali) jaka została wygenerowana przez źródło (generator). Wówczas długość fali λ_0 odbieranej przez nieruchomych obserwatorów,

można opisać następującym równaniem:

$$\lambda_0 = \frac{v}{f_0} \quad (1)$$

gdzie, v to prędkość dźwięku a $f_0 = \frac{1}{T}$ to częstotliwość dźwięku rejestrowanego przez odbiorcę.

Przyjmijmy, że źródło dźwięku porusza się w kierunku obserwatora O_2 z prędkością v_s , to droga jaką przebędzie w czasie równym okresowi T będzie równa:

$$s = v_s \cdot T \quad (2)$$

Poruszając się z prędkością v_s , źródło dźwięku emituje falę sferyczną w taki sposób jak pokazano na rysunku, więc odległość między sąsiednimi zaburzeniami, a tym samym długość fali jaka dociera do obserwatora O_2 będzie odpowiednio krótsza, czyli pomniejszona od drogi jaką przebędzie źródło, co zapisujemy następująco:

$$\lambda_o = v \cdot T - v_s \cdot T \quad (3)$$

Dla obserwatora O_1 , od którego źródło dźwięku się oddala powyższe równanie, będzie zmodyfikowane:

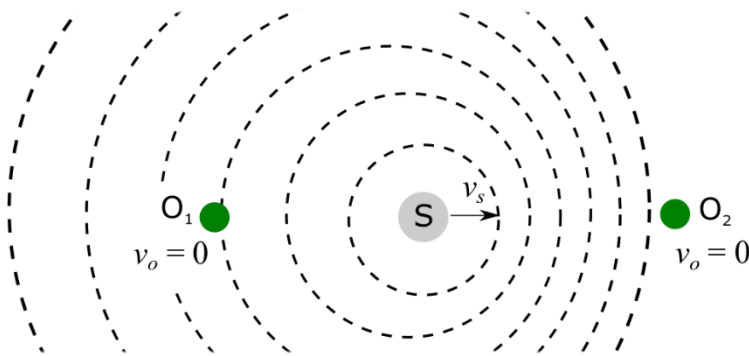
$$\lambda_o = v \cdot T + v_s \cdot T \quad (4)$$

Analizując równania (3) i (4) łatwo zauważyć, że długość fali odbieranej przez obserwatora O_1 jest większa niż długość fali emitowana przez poruszające się źródło. Obserwator O_2 , do którego źródło dźwięku się zbliża, będzie odbierał falę o mniejszej długości.

Bazując na wcześniejszych wnioskach możemy napisać ogólne wyrażenie na częstotliwość fali docierającej do obserwatora:

$$f_o = f_s \left(\frac{v}{v \mp v_s} \right) \quad (5)$$

gdzie znak (+) oznacza źródło oddalające się od obserwatora O_2 , czyli w tym przypadku częstotliwość dźwięku słyszana przez obserwatora jest mniejsza od częstotliwości dźwięku, który emituje źródło. Znak (−) oznacza, że źródło dźwięku zbliża się do obserwatora (O_2), czyli obserwator słyszy dźwięk o wyższej częstotliwości niż został wyemitowany przez źródło.



Rys. 2. Źródło dźwięku przemieszczające się z prędkością v_s w kierunku obserwatora O_2 .

Analogiczne rozumowanie można przeprowadzić w przypadku, gdy źródło dźwięku znajduje się w spoczynku, a obserwator porusza się z prędkością v_o . Jeśli przyjmiemy, że obserwator porusza się w kierunku źródła, czas między kolejnymi czołami fali, jakie zarejestruje obserwator, będzie krótszy niż okres dźwięku emitowanego przez źródło, a tym samym obserwator zarejestruje dźwięk o częstotliwości wyższej niż f_s . W przypadku, gdy obserwator oddala się od źródła dźwięku, to czas, jaki potrzebuje na

pokonanie odległości między dwoma sąsiednimi czołami fali jest większy od okresu dźwięku emitowanego przez źródło, a tym samym dźwięk przez niego rejestrowany ma mniejszą częstotliwość.

Wyrażenie opisujące częstotliwość f_o odbieraną przez obserwatora, który się zbliża lub oddala od źródła dźwięku, można opisać jednym równaniem:

$$f_s = f_o \left(\frac{v \pm v_o}{v} \right) \quad (6)$$

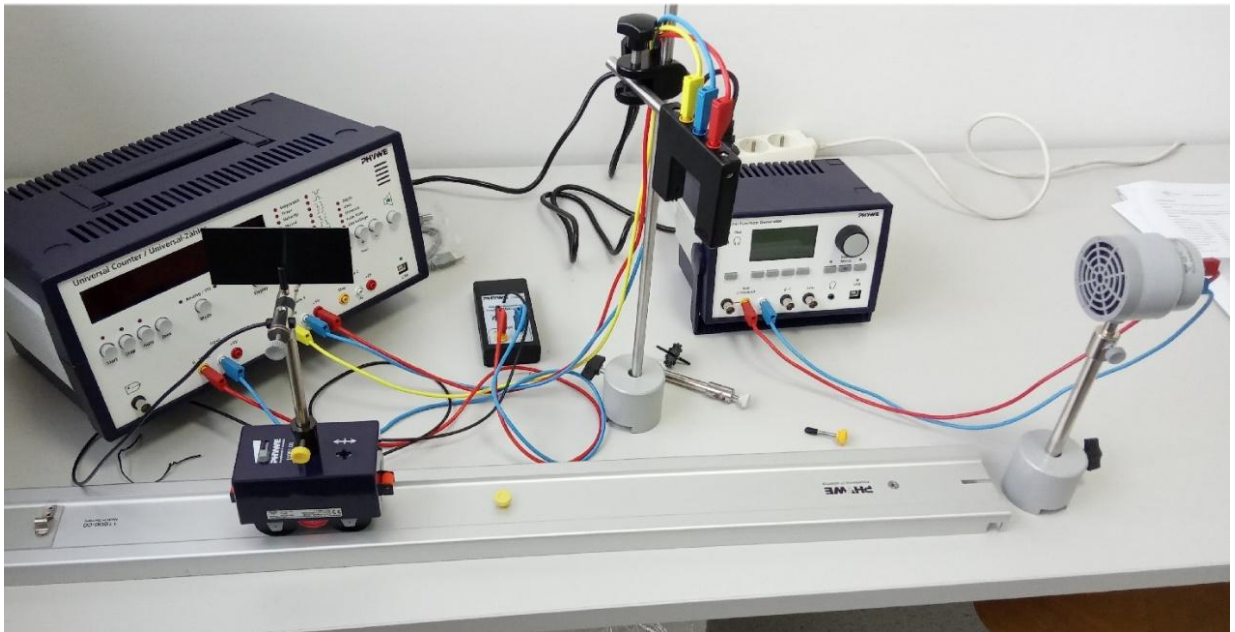
Znak (+) dotyczy sytuacji, gdy odbiorca zbliża się do źródła dźwięku, natomiast znak (−), gdy odbiorca oddala się od źródła dźwięku.



Metodologia wykonywania pomiarów

Czynności sprawdzające

1. Sprawdzić kompletność zestawu przedstawionego na rysunku 3 oraz zidentyfikować wszystkie jego elementy.



Rys. 3. Poruszający się detektor i nieruchome źródło dźwięku.

2. Zamocować mikrofon na wózku jeżdżym w taki sposób, aby mikrofon i głośnik znajdowały się na tej samej wysokości.
3. Źródło dźwięku (głośnik) podłączyć do generatora. Mikrofon i bramkę świetlną podłączyć do licznika uniwersalnego, tak jak pokazano na rysunku 4.

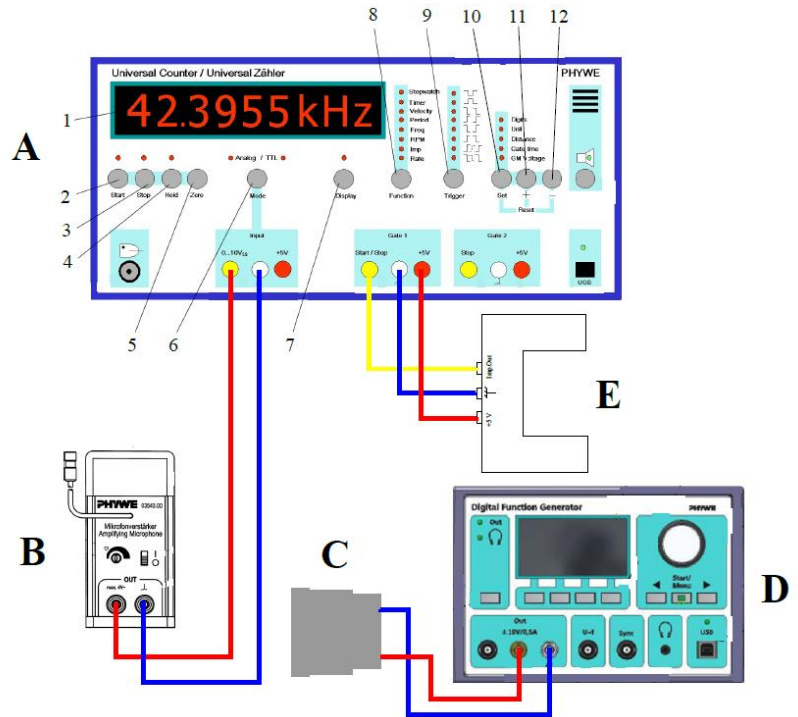
Pomiar prędkości wózka

4. Wyznaczyć prędkość wózka poruszającego się w kierunku głośnika. W tym celu ustawić licznik uniwersalny (Rys. 4) w następujący sposób:
 - za pomocą przycisku (8) ustawić licznik na pomiar prędkości: "Velocity",
 - tryb działania fotobramki: $\square \square$,
 - używając przycisków (10), (11) i (12), wprowadzić wymiary przestony (opcja: „Distance”).
5. Dla zadanej prędkości, pomiar powtórzyć dziesięć razy i wyznaczyć prędkość średnią.

6. Wylicz oczekiwaną wartość częstotliwości Dopplera ze wzoru (6).

Przygotowanie układu do pomiaru częstotliwości Dopplera

7. Uruchomić generator cyfrowy, wybrać sygnał sinusoidalny z amplitudą 1 V.
8. Zmienić przyciskiem (8) ustawienia licznika uniwersalnego na pomiary częstotliwości „Frequency” a przyciskiem (6) ustawić odpowiednio typ sygnału wejściowego „Analog”.
9. Przyciski (2) i (3) zatrzymują pomiar natomiast, przycisk „Hold” ustala wartość zmierzoną podczas przechodzenia przez bramkę świetlną.
10. Przed przystąpieniem do pomiarów częstotliwości sprawdzić, czy wzmocnienie mikrofonu jest ustawione prawidłowo. W tym celu należy nieruchomo wózek ustawić w trzech różnych punktach na torze jezdny i odczytać wartość częstotliwości z licznika uniwersalnego. Jeśli odczytana wartość częstotliwości odbiega od częstotliwości zadanej na generatorze oraz znacząco się zmienia wraz z odległością mikrofonu od głośnika, to należy dostroić mikrofon za pomocą przedwzmacniacza, tak aby zminimalizować taki efekt.



Pomiar efektu Dopplera dla pierwszego/kolejnego ustawienia częstotliwości

11. Ustawić za pomocą generatora dźwięku pierwszą / kolejną częstotliwość.
12. Wykonać pomiar częstotliwości f_s , gdy wózek znajduje się w spoczynku (miernik A),
13. Następnie, w trakcie ruchu wózka, zmierzyć częstotliwość f_0 (miernik A).

Porównać otrzymaną wartość z wartością przewidywaną (obliczoną w punkcie 6). Zastanowić się czy na pomiar nie miały wpływu istotne czynniki zewnętrzne (np. hałas docierający z otoczenia). Jeśli wynik jest prawidłowy - zapisać go w tabeli. Pomiar częstotliwości powtórzyć 5 krotnie.

Rys. 4. Schemat układu pomiarowego z zaznaczonymi elementami: A) Licznik uniwersalny, B) Mikrofon ze wzmacniaczem, C) Głośnik, D) Generator cyfrowy, E) Bramka świetlna oraz opis wybranych funkcji licznika uniwersalnego: 1) Wyświetlacz cyfrowy, 2) Przycisk „Start”, 3) Przycisk „Stop”, 4) Zatrzymanie wyniku, 5) Zerowanie licznika, 6) Wybór rodzaju sygnału wejściowego, 7) Wyświetlanie danych zapisanych po zakończonym pomiarze,

Pomiar częstotliwości Dopplera dla dwóch dodatkowych częstotliwości

14. Czynności opisane w punktach 11 - 13 powtórzyć dla dwóch innych częstotliwości z przedziału między 5 kHz a 10 kHz.

Zmiana prędkości poruszania się wózka i pomiar częstotliwości Dopplera

15. Wszystkie pomiary opisane powyżej powtórzyć dla dwóch innych prędkości wózka. W tym celu:
 - Zmienić prędkość wózka – wykonać jej pomiar zgodnie z opisem w punktach 4-5 (prędkość wózka powinna zawierać się między 0,06 m/s a 0,16 m/s).

- Powtórzyć czynności 10-14. Wszystkie wyniki zapisać w tabeli.

Pomiar częstotliwości Dooplera – detektor zbliża się do Źródła dźwięku

16. Czynności 4-15 wykonać w sytuacji gdy detektor zbliża się do źródła.



Tabela pomiarowa

v_o	$\bar{v}_o \pm u(\bar{v}_o)$	v	$f_s \pm u(f_s)$	f_o	$\bar{f}_o \pm u(\bar{f}_o)$	$f'_o \pm u(f'_o)$	$\Delta f_o \pm u(\Delta f_o)$
[m/s]	[m/s]	[m/s]	[kHz]	[kHz]	[kHz]	[kHz]	[Hz]
		340					



Obliczenia

1. Wyznaczyć prędkości średnie wózka $\bar{v}_o$ oraz niepewności standardowe $u(\bar{v}_o)$ metodą typu A.
2. Wyznaczyć niepewność standardową częstotliwości f_s metodą typu B
3. Wyznaczyć średnią wartość częstotliwości $\bar{f}_o$ oraz niepewność standardową $u(\bar{f}_o)$ metodą typu A.
4. Przyjmując prędkość dźwięku $v = 340$ m/s oraz podstawiając do wzoru (6) zmierzone wartości f_s i $\bar{v}_o$, obliczyć f'_o oraz jej niepewność $u(f'_o)$. Porównać wartości obliczone i zmierzone.
5. Obliczyć przesunięcie Dopplera $\Delta f = \bar{f}_o - f_s$ dla wszystkich zmierzonych wartości. Niepewność $u(\Delta f)$ wyznaczyć z prawa przenoszenia niepewności.
6. Narysować wykresy zależności $\Delta f(f_s)$, dla poszczególnych prędkości wózka. Na wykresie zaznaczyć niepewności $u(\Delta f)$ i $u(f_s)$.