Andrzej Karbowski
Pracownia Dydaktyki Fizyki
Instytut Fizyki UMK w Toruniu

7. DOŚWIADCZENIA KINEMATYCZNE

Cele ogólne

1. Utrwalenie podstawowych pojęć fizycznych związanych z opisem ruchu.
2. Poznanie podstawowych zasad rejestracji i analizy parametrów ruchu za pomocą komputera i zestawu pomiarowego Coach.

Cele operacyjne

1. Przypomnienie wielkości opisujących ruch oraz zależności występujących między nimi.
2. Nabycie umiejętności:
   - wykorzystania możliwości pomiarowych zestawu Coach i czujnika położenia do badania ruchu.
   - planowania eksperymentu prezentującego dany rodzaj ruchu,
   - rejestracji dowolnego rodzaju ruchu w odpowiednim układzie odniesienia,
   - prawidłowej analizy i interpretacji fizycznej otrzymanych wyników w celu wyeliminowania miskoncepcji dotyczących takich pojęć, jak położenie, prędkość i przyspieszenie w ruchu jednostajnym i jednostajnie zmiennym.

Stosowane przyrządy:

Zestaw komputerowy
Interfejs pomiarowy Coachlab II
Program Coach 5
Ultradźwiękowy miernik położenia
Samochód na baterię
Wózek
Stolik

Badane zjawisko

Badając ruch prostoliniowy przyjmujemy taki układ odniesienia, który umożliwi najprostszy opis ruchu, np. oś OX obieramy na prostej, wzdłuż której ciało się porusza. Równanie ruchu jednostajnego prostoliniowego jest następujące:

$$x(t) = x_o + vt \quad .$$

Wykresem zależności x(t) jest linia prosta, czyli droga x jest wprost proporcjonalna do czasu t. W ruch jednostajnie przyspieszonym przyspieszenie a jest stałe. Równanie prędkości tego ruchu, gdy $v_o = 0$ jest następujące:

$$v(t) = at \ ,$$

natomiast równanie opisujące położenie ciała w funkcji czasu, gdy $x_o = 0$ i $v_o = 0$ przyjmuje postać:

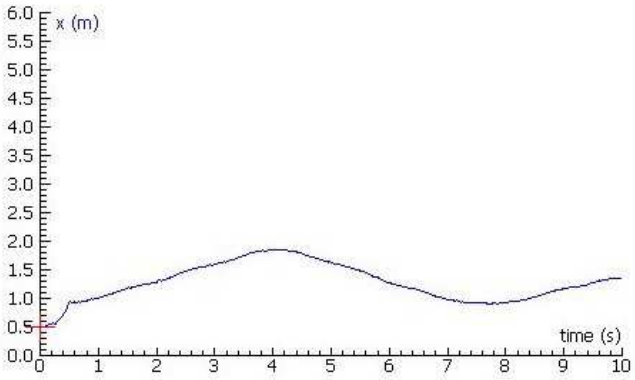
$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 .$$

Wykonanie doświadczenia

Do konsoli pomiarowej Coachlab II podłącz ultradźwiękowy miernik położenia. W programie Coach 5 wybierz projekt *Exploring Physics*, a następnie wczytaj przykład pt. *Understanding motion*. Klikając prawym klawiszem myszki na ikonie czujnika ruchu wybierz opcję *Dispaly as a digram*, pozwalającą wyświetlić okno wykresu.

1. Badanie dowolnego ruchu

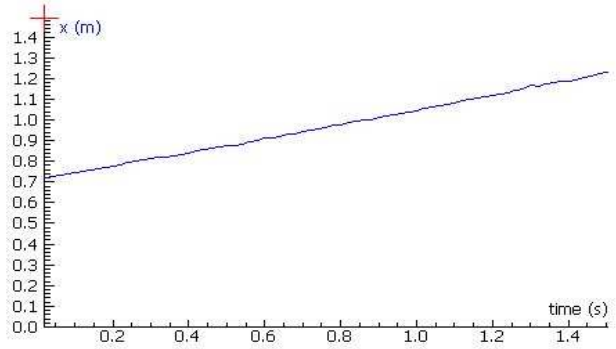
Rozpocznij pomiar i przemieszczaj się w kierunku od i do miernika położenia oraz obserwuj tworzenie się wykresu x(t) na ekranie komputera w czasie rzeczywistym.



Rys. 1. Wykres położenia w funkcji czasu dla dowolnego ruchu.

2. Badanie ruchu jednostajnego

Sprawdź czy samochód na baterię porusza się po stole ruchem jednostajnym. Wykonaj odpowiednie pomiary i przeprowadź analizę tego ruchu.

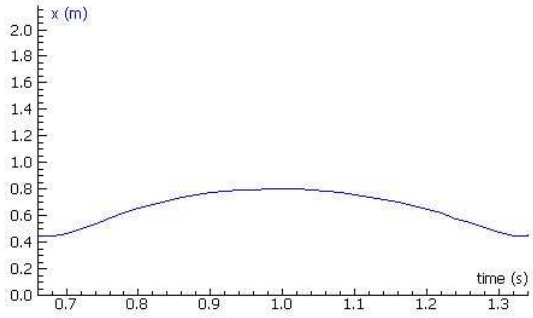


Rys. 2. Wykres położenia w funkcji czasu dla ruchu jednostajnego.

Uzyskaj wykres prędkości w funkcji czasu dla omawianego ruchu korzystając z opcji (po wciśnięciu prawego klawisza myszki) *Process* i *Derivative*. Lepsze wygładzenie wykresów można uzyskać stosując opcję *Filter Graph* dostępną po wciśnięciu prawego klawisza myszki i wybraniu pozycji *Process*.

3. Badanie ruchu jednostajnie przyspieszonego i jednostajnie opóźnionego

Zbadaj rzut pionowy zeszytu lub notatnika formatu A4 podrzucając go do góry nad miernikiem położenia. Ustaw czas pomiaru na 2 s, a częstotliwość pomiaru - *Frequency* - 25 na sekundę .
Analizując wykresy prędkości i przyspieszenia sprawdź czy zeszyt porusza się ku górze ruchem jednostajnym, a ku dołowi ruchem jednostajnie przyspieszonym.



Rys. 3. Wykres położenia w funkcji czasu dla rzutu pionowego zeszytu.

4. Badanie ruchu wózka na równi pochyłej

Do wózka przymocuj miernik położenia i umieść go na równi pochyłej. Przyrząd ustaw naprzeciwko szafy lub ściany tak, aby fale ultradźwiękowe mogły swobodnie odbijać się od przeszkody i wracać do miernika. Wykonaj kilka pomiarów dla przypadku, gdy wózek zjeżdża w dół równi. Analizując wykresy położenia, prędkości i przyspieszenia w funkcji czasu upewnij się, czy jest to ruch jednostajnie przyspieszony. Zbadaj również jakim rodzajem ruchu porusza się wózek gdy wjeżdża „pod górę".

Obliczenia

1. Odczytaj z uzyskanego wykresu dla dowolnego ruchu z jaką prędkością oddalałeś się od miernika położenia, a z jaką przybliżałeś.
2. Oblicz z jaką prędkością poruszał się samochód ruchem jednostajnym.
3. Oblicz z jakim opóźnieniem poruszał się zeszyt wznosząc się ku górze, a z jakim przyspieszeniem opadał w dół.
4. Określ przyspieszenie i opóźnienie wózka na równi pochyłej. Zmieniając kąt nachylenia równi powtórz pomiary i zbadaj, w jaki sposób przyspieszenie wózka zależy od kąta nachylenia równi.

Dyskusja wyników i wnioski

1. W przypadku dowolnego ruchu możemy wyznaczyć prędkość chwilową z jaką się poruszamy oraz możemy stwierdzić jaki rodzaj ruch obserwujemy w danej chwili.
2. Badając ruch jednostajny możemy określić z jaką prędkością porusza się ciało oraz stwierdzić, czy jest to rzeczywiście taki rodzaj ruchu.
3. Dla ruchu jednostajnie zmiennego wykresy prędkości i przyspieszenia, uzyskane po zróżniczkowaniu odpowiednio położenia po czasie i prędkości po czasie, nie zawsze są liniowe. Ich nieregularność wynika z niepewności pomiarowych występujących podczas pomiaru położenia.
4. Znajdź w literaturze przykłady wykorzystania pomiarów parametrów ruchu w nauce i technice.

Literatura

[1] Pomiary fizyczne za pomocą komputera, H. Szydłowski, Wyd. UAM, Poznań 1999.
[2] J. Turło, A. Karbowski, Z. Turło, Fizyka z komputerem, Top Kurier, Toruń, 1996.
[3] Doświadczenia fizyczne wspomagane komputerowo, Pracownia Dydaktyki Fizyki IF UMK, red. J. Turło, 1995.

Andrzej Karbowski
Pracownia Dydaktyki Fizyki
Instytut Fizyki UMK w Toruniu

8. BADANIE ZJAWISKA DUDNIENIA WSPOMAGANEGO KOMPUTEROWO

Cele ogólne

3. Utrwalenie podstawowych pojęć fizycznych odnoszących się do drgań i fal.
4. Poznanie podstawowych zasad wytwarzania, rejestracji i analizy dźwięku za pomocą komputera i zestawu pomiarowego Coach.

Cele operacyjne

3. Przypomnienie wielkości opisujących fale dźwiękowe: natężenia, wysokości i barwy dźwięku oraz pogłębienie rozumienia fizycznych podstaw dotyczących zjawiska dudnienia.
4. Pogłębienie fizycznych podstaw dotyczących zjawiska dudnienia: jak powstają dudnienia i jak się je opisuje.
5. Nabycie umiejętności:
   - wykorzystania możliwości programu COACH 5 do badania zjawiska dudnienia.
   - prawidłowego operowania zestawem akustycznym w celu przejrzystej rejestracji zjawisk akustycznych, a w szczególności dudnień (uzyskanie „klasycznego" dudnienia przez równoczesne pobudzenie obu kamertonów).
   - prawidłowej analizy i interpretacji fizycznej otrzymanych wyników.
   - stosowania wiedzy o dudnieniach do wyjaśniani zjawisk z życia codziennego.

Stosowane przyrządy:

Zestaw komputerowy
Interfejs pomiarowy Coachlab II
Program Coach 5
Czujnik dźwięku
2 kamertony
Metalowy przedmiot obciążający widełki stroikowe
Młoteczek

Badane zjawisko

Dudnienia powstają wówczas, gdy nakładają się ze sobą dwie fale o częstościach niewiele różniących się od siebie, przy czym efekt jest najwyraźniejszy, gdy ich moc jest w przybliżeniu równa. Aby wytworzyć takie dudnienia wykorzystujemy dwa kamertony, z których jeden przestrajamy doczepiając dodatkową masę, po czym pobudzamy je do drgań. Wytworzona w ten sposób fala akustyczna, będąca złożeniem dwóch fal o różnych częstościach, ma charakter fali modulowanej (za dudnienia odpowiedzialna jest właśnie ta modulacja). Częstość nośną fali oraz częstość modulacji możemy powiązać z częstościami źródłowymi (tzn. z częstościami obu kamertonów) korzystając z odpowiednich wzorów trygonometrycznych. Dokonujemy zatem superpozycji (nałożenia) dwu fal o różnych lecz niewiele różniących się częstościach; fale te opisują funkcje ψ_1 i ψ_2 :

$$\psi_1 = A\cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$

$$\psi_2 = A\cos(\omega_2 t + \varphi_2) \qquad (1)$$
$$\omega_1 \approx \omega_2 \ .$$

Po złożeniu otrzymamy:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 = A\,[\cos(\omega_1 t + \varphi_1) + \cos(\omega_2 t + \varphi_2)] \ . \qquad (2)$$

Po zastosowaniu wzoru na sumę *cosinusów* przekształcimy (2) do postaci:

$$\psi = [2A\cos(\frac{\omega_1 t + \varphi_1 - \omega_2 t - \varphi_2}{2})]\cdot\cos(\frac{\omega_1 t + \varphi_1 + \omega_2 t + \varphi_2}{2}) \qquad (3)$$

lub

$$\psi = [2A\cos(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}\cdot t + \varphi')]\cdot\cos(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}\cdot t + \varphi'') \ . \qquad (4)$$

Wzór (4) interpretujemy następująco: czynnik ujęty w nawias kwadratowy odpowiada za zmieniającą się amplitudę drgań, czyli modulację (jest on wolnozmienny, ponieważ $(\omega_1-\omega_2 \to 0)$, drugi czynnik zaś odpowiedzialny jest za falę nośną. Powyższy wzór możemy zatem zapisać następująco:

$$\psi = [2A\cos(\omega_{mod} t + \varphi')]\cdot\cos(\omega_{noś} t + \varphi'') \qquad (5)$$

gdzie:

$$\omega_{mod} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \quad \text{i} \quad \omega_{nośna} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \ . \qquad (6)$$

Dzieląc wzory (6) stronami przez 2π otrzymamy:

$$f_{mod} = \frac{f_1 - f_2}{2} \quad \text{i} \quad f_{nośna} = \frac{f_1 + f_2}{2} \ . \qquad (7)$$

gdzie f oznacza częstotliwość.

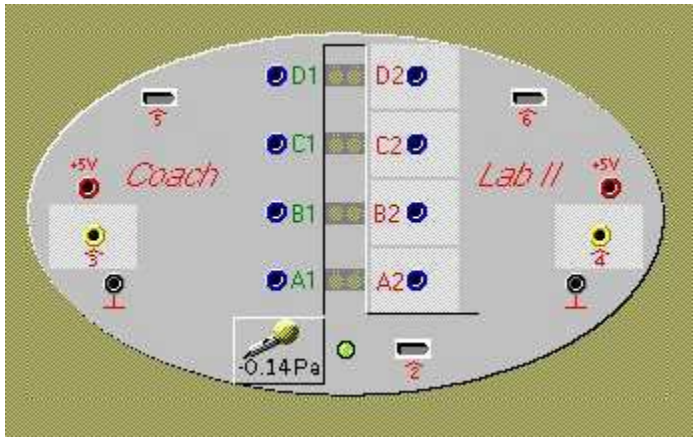
Wykonanie doświadczenia

Wyznaczenie częstotliwości modulacji (f_{mod}) i częstotliwości fali nośnej ($f_{noś}$).

1. Do konsoli pomiarowej Coachlab II podłącz czujnik dźwięku np. do wejścia pomiarowego nr 1.

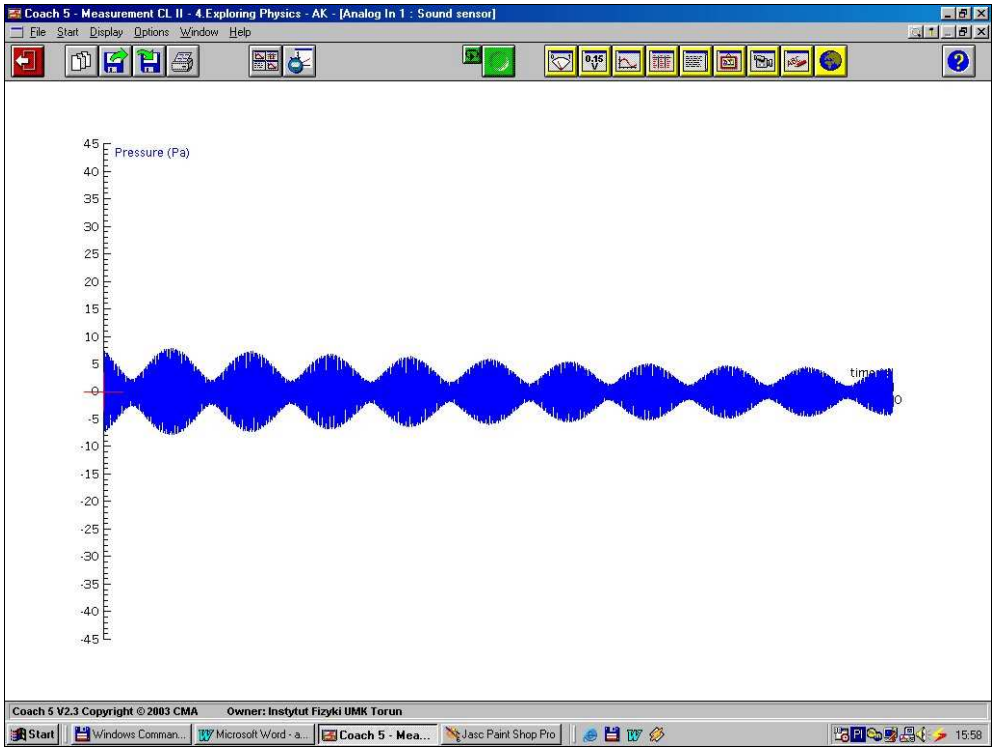
Rys.1. Sposób podłączenia czujnika dźwięku do konsoli pomiarowej.

2. W programie Coach 5 do wejścia pomiarowego nr 1 konsoli pomiarowej przesuń i upuść ikonę czujnika pomiarowego.



Rys.2. Widok konsoli pomiarowej w programie Coach 5.

3. W jednym z okien umieść wykres ciśnienia (od -45 Pa do 45 Pa) w funkcji czasu. Parametry pomiarowe dla czasu wybierz następująco: czas pomiaru – 5 s, ilość pomiarów w ciągu 1 sekundy – 1000.
4. Ustaw dwa kamertony otworami naprzeciwko siebie. Umieść dodatkowy metalowy element na widełkach jednego z kamertonów, aby częstotliwość wytwarzanej fali była nieco niższa od wytwarzanej fali przez drugi kamerton.
5. Uderz mocno młoteczkiem widełki obydwu kamertonów i przystaw mikrofon jak najbliżej ich otworów. Zarejestruj wytworzoną falę akustyczną i przeanalizuj oscylogram w powiększeniu.



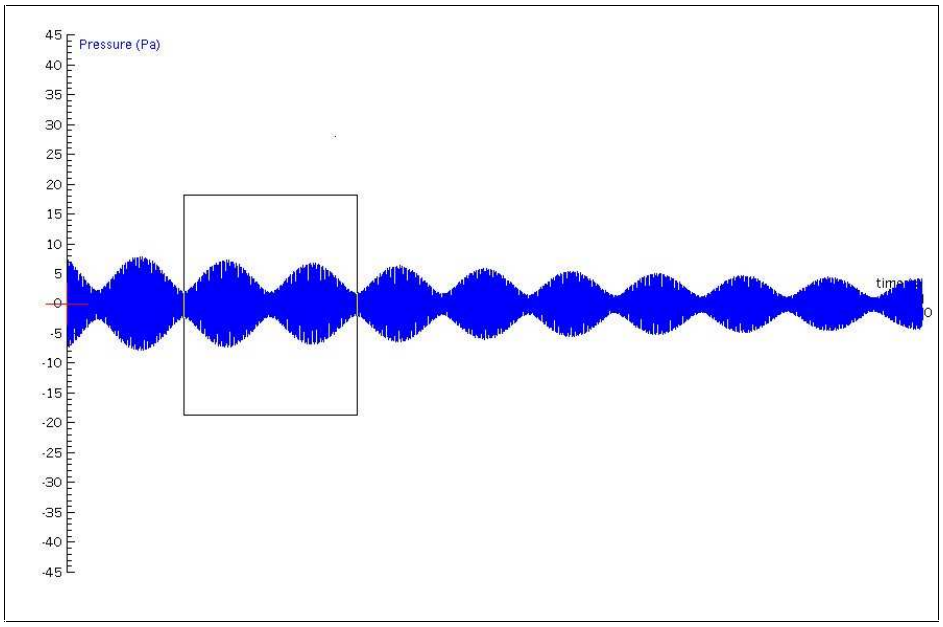
Rys. 3. Dudnienia zarejestrowane za pomocą programu Coach 5.

Obliczenia

Na podstawie znajomości częstotliwości modulacji i częstotliwości fali nośnej oblicz częstotliwości fal współtworzących dudnienia.

5. Wyznacz częstotliwość modulacji f_{mod}

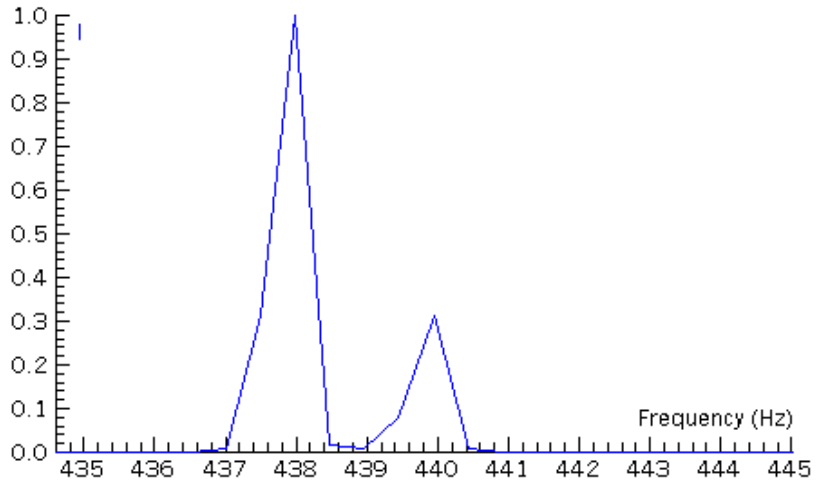
Posługując się programem Coach 5 odczytaj okres modulacji, korzystając ze wskazówki zawartej na poniższym rysunku.



Rys. 4. Okres modulacji zaznaczony za pomocą ramki.

6. Wyznacz częstotliwość fali nośnej $f_{noś}$

W tym celu użyj transformacji Fouriera korzystając z następujących opcji (po wciśnięciu prawego klawisza myszy): *Analyse, Signal analisis, Fourier transform.*



Rys. 5. Widmo częstotliwości badanej fali akustycznej.

3. Przekształć wzór nr 7 i oblicz częstotliwość f_1 i f_2 .

Dyskusja wyników i wnioski

1. Częstotliwość drgań widełek kamertonu z dodatkową masą zależy od miejsca jej przymocowania.
2. Im wyżej przymocowana jest dodatkowa masa do widełek kamertonu, tym niższa częstotliwość wytwarzanych drgań.
3. Częstotliwość modulacji i częstotliwość fali nośnej zależą od różnicy częstotliwości kamertonów, czyli od miejsca przyczepienia dodatkowej masy do jednych z widełek.
4. Częstotliwość drgań kamertonu zależy od temperatury widełek.
5. Zastanów się, gdzie zjawisko dudnień występuje w twoim otoczeniu.
6. Znajdź w literaturze przykłady wykorzystania zjawiska dudnień w nauce i technice.

Literatura

[1] Pomiary fizyczne za pomocą komputera, H. Szydłowski, Wydawnictwo UAM, Poznań 1999.
[2] Doświadczenia fizyczne wspomagane komputerowo, Pracownia Dydaktyki Fizyki IF UMK, red. J. Turło, 1995.
[3] Fizyka doświadczalna, Sz. Szczeniowski, cz. I, PWN, Warszawa 1972.