

1. Ruch jednostajny

Kinematyka (1): Wprowadzenie do komputerowych systemów pomiarowych, system Pasco, ruch jednostajny prostoliniowy.

Potrzebny sprzęt	Nr części	Ilość sztuk
Pasco Sparklink Air (konsola pomiarowa)	PS-2011	1
Motion sensor PASPort (ultradźwiękowy czujnik ruchu)	PS-2103A	1
PASCar (wózek aluminiowy)	ME-6950	1
Szyna aluminiowa o długości 2,2 m (tor)		1
2 ekierki 30° i 45°, miarka metrowa, stoper Kulka metalowa, drewniana i szklana Piłka koszykowa i nożna Rurka wypełniona olejem, z bąblem powietrza Miedziana równia i neodymowy magnes (uwaga! silny, niebezpieczny dla kart magnetycznych, ostry w przypadku uderzenia się!)		

Cel

Celem tego ćwiczenia jest zbadanie ruchu ciał, sporządzanie wykresów (zależności położenia od czasu i prędkości od czasu), analiza wykresów. Do pomiaru położenia ciał służy ultradźwiękowy czujnik ruchu PASPort firmy Pasco.

Cele szczegółowe:

1. Dydaktyka fizyki: pojęcie prędkości chwilowej, pojęcie ruchu prostoliniowego, pojęcie punktu materialnego i systemu odniesienia, pojęcie ruchu jednostajnego prostoliniowego; graficzne przedstawienie zależności położenia od czasu, wykres prędkości w zależności od czasu; przebyta droga w ruchu jednostajnym.
2. Informatyka stosowana: działanie czujnika położenia, dokładność pomiaru, próbkowanie w czasie.

Wstęp

1.1 Ruch jednostajny

Ruch jednostajny prostoliniowy jest najprostszym przykładem ruchu, wprowadzonym jako taki przez fizyków. Dla ucznia nie jest to określenie bynajmniej proste, jako że nie w pełni należy ono do języka potocznego [1] (używa się raczej określeń „monotonny”, „regularny”, „prosty”). Wyjaśnieniem podręcznikowym jest, że w ruchu jednostajnym prędkość pozostaje stała, co z kolei wymaga wyjaśnienia pojęcia prędkości. Wiemy, że prędkość jest wektorem,

a jej wartość jest pochodną po czasie wektora położenia¹, więc takie wytłumaczenie nie jest wcale ani proste ani poprawne. Celem ćwiczenia jest więc intuicyjne (tzn. operatywne) wprowadzenie pojęcia prędkości w ruchu prostoliniowym.

Prostoliniowość ruchu jest narzucona bezpośrednio przez tor pomiarowy. Ponieważ to ćwiczenie jest wstępem do operowania doświadczeniami z wykorzystaniem komputera, zbadamy nie tylko zagadnienia ruchu jednostajnego, ale też pomiarów położenia (i prędkości) przy pomocy systemu pomiarowego Pasco: metodę pomiaru ultradźwiękowego, możliwe błędy zgrubne, operowanie systemem zarządzania pomiarami na konsoli oraz przetwarzanie wartości pomiarów i wyświetlanie ich w postaci tabeli i wykresu. Kompetencja uzupełniająca to odczytywanie danych z wykresu i wnioskowanie o rzeczywistym, zaistniałym ruchu, fot. 1.



Fot. 1. Pomiar położenia (i prędkości) uzyskany przy pomocy systemu Pasco: od obserwacji ruchu rzeczywistego do jego komputerowego przedstawienia. Foto: courtesy mgr J. Kosicki, VIII LO w Toruniu.

1.2 Układ odniesienia

Podstawowym pojęciem w opisie ruchu, od czasów Galileusza (i Kartezjusza), jest pojęcie układu odniesienia. Dla lądującego na lotniskowcu myśliwca układem odniesienia jest pokład lotniskowca, nawet jeśli ten się porusza. W sztafecie biegaczy 4x400m dla każdego kolejnego biegacza początek jego układu odniesienia jest przesunięty o 400 metrów, itd. W doświadczeniu z aluminiową szyną i wózkiem, szyna ma naniesioną miarę (w cm), ale system pomiarowy zaczyna analizę ruchu wózka od jego położenia w chwili zerowej, które to położenie prawie nigdy nie odpowiada wartości „0” na miarce szyny.

1.3 Opis ruchu i pomiar

Gdy opisujemy ruch ciała podajemy:

- układ odniesienia, względem którego się ono porusza, w szczególności dla ruchu wzdłuż jednej osi punkt początkowy (położenie zerowe, lub położenie w chwili zerowej),
- prędkość ciała (wartość prędkości) i kierunek ruchu,
- dla ruchów zmiennych – również przyspieszenie ciała.

¹ Przypominamy, że pochodna wektora opisywana jest wzorami Poissona, które zawierają nie tylko pochodną wartości wektora, ale również pochodną wektora jednostkowego, czyli wersora. Nie jest to dla uczniów prostym zagadnieniem.

Czujnik ruchu wysyła impulsy fal ultradźwiękowych, które odbijają się od ciała (przeszkody) i mierzony jest dokładnie czas ruchu fali. Znana jest prędkość fali w powietrzu w temperaturze pokojowej (340 m/s). Prędkość ta niewiele zależy od temperatury powietrza i jego wilgotności, nieco bardziej od częstotliwości fali. Sprawdź te wartości w Internecie.

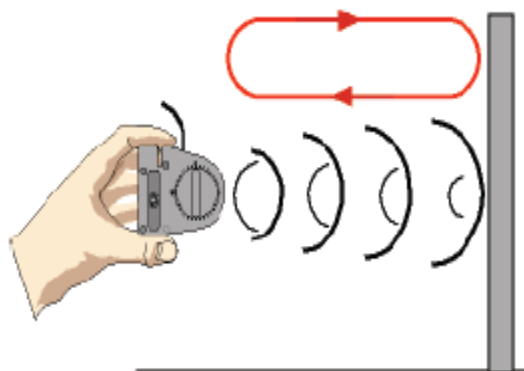
Program komputerowy podobnie jak w echolokacji, mnoży prędkość fali przez połowę zmierzonego czasu i w ten sposób określa położenie ciała w danej chwili. Sprawdź, czy Twój telefon komórkowy ma program do analizy częstotliwości dźwięku (ew. poszukaj w Internecie). Sprawdź, jeśli zdołasz, jakiej częstotliwości fali używa czujnik ruchu firmy Pasco.

Kiedy ciało porusza się, zmiana jego położenia jest mierzona wiele razy na sekundę (np. 10, 20, a nawet 40 razy na sekundę). W pierwszej sytuacji częstotliwość próbkowania danych wynosi 10 Hz. Większa częstotliwość próbkowania oznacza większą dokładność w ocenie *chwilowej* prędkości ciała; ale większa częstość próbkowania oznacza krótszy impuls, co może prowadzić do większego błędu popełnianego przez system analizujący (nie jest to system używany w profesjonalnych urządzeniach echolokacyjnych).

Zmiana położenia w pewnym przedziale czasu jest obliczana jako prędkość ciała (mierzona w metrach na sekundę m/s). Obliczenia tego dokonuje system analizujący ruch. Sprawdź, co obliczy system, jeśli w doświadczeniu nr 3, włożysz dłoń nagle (i na chwilę) między wózek a czujnik ruchu.

Zmiana prędkości w pewnym przedziale czasu nazywana jest przyspieszeniem (mierzone jest ono w m/s^2). Również przyspieszenie jest obliczane przez system komputerowy, jako iloraz prędkości i przedziału czasu (tj. interwałów między impulsami próbkującymi).

Położenie ciała w danym przedziale czasu może być zaznaczane na wykresie. Wykres jest matematycznym obrazem ruchu ciała. Dlatego też ważne jest zrozumienie, jak analizować i interpretować wykres np. zależności położenia ciała od czasu. W tym ćwiczeniu będziesz uzyskiwał na ekranie komputera wykresy ruchu ciał w czasie rzeczywistym tzn. w czasie, w którym ruch aktualnie się odbywa.



Rys. 1. Ultradźwiękowy czujnik ruchu PASPort firmy Pasco [2]

Uruchomienie sprzętu i programu

1. Podłącz konsolę pomiarową Pasco Sparklink Air do portu USB komputera. Wtyczkę konsoli włóż do gniazdka z prądem.
2. Do konsoli podłącz czujnik ruchu PASPort.
3. Uruchom z pulpitu komputera program SPARKvue.
4. Wybierz opcję *Dane czujnika*.
5. Wybierz pomiary dla szablonów i dla czujnika ruchu zaznacz *Pozycja*.
6. W prawym górnym rogu na ekranie znajdują się *Szablony*. Kliknij na ikonie Wykres. Na ekranie wyświetlony zostanie wykres $x(t)$, czyli pozycja od czasu.
7. Pomiar położenia można uruchomić naciskając zielony przycisk *Start*. W celu zatrzymania pomiaru naciśnij czerwony przycisk *Zatrzymaj*.
8. Aby usunąć niepotrzebne dane na wykresie odznacz kwadrat przy napisie np. *Seria 1*.
9. Dane, które Twoim zdaniem mogą być przydatne do sprawozdania, zapisz na dysku twardym (lepiej zapisać większą ilość przebiegów pomiarowych, ale oczywiście nie wszystkie). W lewym górnym rogu kliknij na ikonę *Menu główne*, a następnie wybierz opcję *Zapisz jako*.

Zadania do wykonania:

0. Zapisz kilka przebiegów pomiaru położenia w czasie. Naucz się obsługiwać program pomiarowy, w szczególności odpowiednio wybierać jednostki pomiaru i ich zakres.

1. Sprawdź, jak detektor położenia odczytuje położenie obiektów:

- 1) zbliżaj do niego dłoń,
- 2) zbliżaj się do niego krocząc powoli,
- 3) nieś przed sobą kartonowe pudło lub płaską drewnianą płytę.

We wszystkich przypadkach zarejestruj (i zapisz do celów sprawozdania) wykres położenia w czasie. Czy jest to ruch ze stałą prędkością?

Powtórz doświadczenia, starając się utrzymać stałą prędkość ruchu. Na ile to się udaje? Oceń tę zmienność w procentach.

2. Ustaw na stole aluminiową szynę poziomo (za pomocą poziomicy). Puść lekko wózek. Odczytaj zmiany położenia na ekranie.

Puść wózek w drugą stronę nadając mniej więcej podobną prędkość początkową. Porównaj przebytą drogę w obu przypadkach.

Powtórz doświadczenie trzy razy i jedną parę przebiegów zarejestruj. Czy prędkość wózka pozostaje stała? O ile się zmienia? Czy jest to ruch jednostajny?

Uzyskaj na ekranie wykres przyspieszenia od czasu $a(t)$. W tym celu kliknij w lewym górnym rogu na ikonę *Główne menu* i wybierz opcję *rozpocznij nowy eksperyment*, a następnie opcję *Dane czujnika* i dla czujnika ruchu zaznacz tylko *przyspieszenie*. Zarejestruj przykładowy wykres przyspieszenia w funkcji czasu dla ruchu wózka.

3. Podnieś za pomocą śrub jeden koniec szyny tak, aby wózek popchnięty w dół nie zatrzymywał się. Ustal tak pochylenie szyny, aby ruch wózka był jednostajny. Sprawdź trzy razy, czy ruch jest jednostajny (z różnymi prędkościami początkowymi). Zapisz przykładowy przebieg $s(t)$ i $v(t)$.

Oblicz kąt nachylenia szyny. Oblicz, z rozkładu sił na równi, współczynnik tarcia dynamicznego (potoczystego).

Puść wózek pod górkę. Oblicz, z jakim przyspieszeniem porusza się teraz. Sprawdź, czy za to przyspieszenie odpowiada siła tarcia (poprzednio wyliczona).

Uzyskaj na ekranie wykres przyspieszenia od czasu. Zarejestruj przykładowy wykres przyspieszenia dla ruchu wózka w obu kierunkach.

4. Sprawdź, jakim ruchem porusza się bąbelek w cieczy. Za pomocą stopera lub telefonu komórkowego mierz czas między poszczególnymi paskami. Zmień kąt nachylenia rurki i powtórz doświadczenie. Sporządź tabelę i wykres (zob. poręcznik "do gimnazjum" [3], str. 36). Doświadczenie wykonaj dla kątów 30° , 45° , 60° .

5. Pozwól magnesowi neodymowemu zsuwać się po miedzianej równi [4, 5]. Zmierz czas ruchu magnesu. Zmień kąt nachylenia miedzianej równi, 30° , 45° , 60° i powtórz doświadczenie. Oblicz prędkości.



Rys. 2. Magnes neodymowy zsuwa się ruchem jednostajnym po miedzianej równi.

6. Pozwól metalowej kulce toczyć się po poziomym stole. Zmierz czas ruchu kulki między dwoma wybranymi punktami (start i meta). Doświadczenie wykonaj trzy razy dla różnych prędkości początkowych. Czy ruch jest jednostajny? Zamknij oczy i spróbuj ocenić ten ruch nie patrząc.

7. Pochyl nieznacznie stół tak, aby ruch był jednostajny. Podaj kąt (w radianach) nachylenia stołu. Przelicz ten kąt na stopnie i procenty (w taki sposób jest podawany kąt nachylenia szosy na znakach drogowych; pamiętasz, jakie nachylenia szosy są podawane jako niebezpieczne?).

8. Pochyl stół bardziej tak, aby ruch kulki był przyspieszony również „na słuch”.

9. Pozwól piłce do koszykówki lub "do nogi" toczyć się po poziomej podłodze. Ustaw odpowiednio czujnik ruchu PASPort i zmierz położenia piłki. Doświadczenie powtórz trzy razy dla różnych prędkości początkowych piłki. Czy badany ruch był jednostajny? Porównaj wynik dla obu piłek.

Sprawdź, czy czujnik mierzy cały czas we właściwy sposób położenie piłki.

Raport: Ruch jednostajny

Imię i nazwisko _____ Data _____

Pytania wstępne

1. Jak będzie się zmieniał wykres zależności położenia od czasu, jeśli będziesz odsuwać czujnik ruchu od ściany? Naskicuj, jak może wyglądać wykres. W szczególności opisz, w jaki sposób przyjąłeś/przyjęłaś układ odniesienia.

Pytania

1. W jakim stopniu pokrywają się: wykres przewidziany przez Ciebie z wykresem, który uzyskałeś za pomocą czujnika ruchu i programu SPARKvue.
2. Jakie jest znaczenie części wykresu położenia, gdy jest on skierowany w górę?
3. Z pewnością pewne części wykresu było łatwiej dopasować niż inne. Dlaczego?

Podsumowanie

1. Narysuj wykres zależności prędkości od czasu korzystając z wykresu położenia od czasu. Pamiętaj o podpisaniu osi odpowiednimi wielkościami i zapisaniu jednostek.

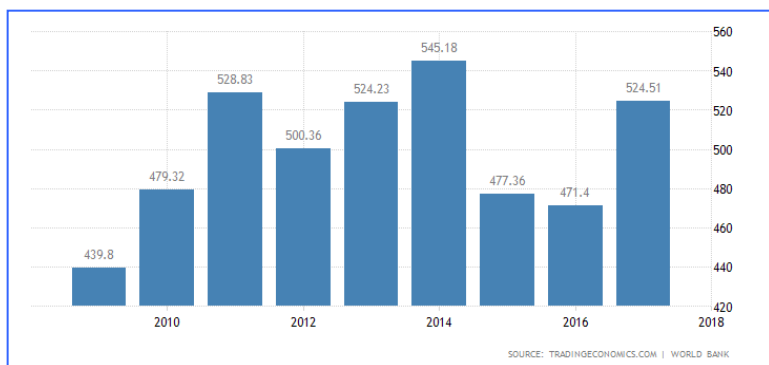
2. Opisz krótko ruch ciała korzystając z wykresów. W notatce powinny znajdować się informacje dotyczące prędkości i położenia, włączając ich zwroty.

Literatura:

1. G. Karwasz, *Słowa zarezerwowane: jednostajny*, w: Zeszyt gimnazjalisty, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/489
2. Czujnik ruchu firmy Pasco, PASPORT Morion Sensor, https://www.pasco.com/prodCatalog/PS/PS-2103_pasport-motion-sensor/index.cfm
3. Toruński poręcznik do fizyki. Mechanika. G. Karwasz, M. Sadowska, K. Rochowicz, Toruń 2016. http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/163
4. Toruński doświadczalnik. M. Sadowska, A. Karbowski, G. Karwasz, K. Służewski, K. Febus, K. Rochowicz. Toruń 2015, str. 44, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/TPSS/Pliki/Elektromagnetyzm_TPSS_opisy_doswiadczen.pdf
5. Magnes zsuwający się po miedzianej równi (film) http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/441

Uwagi dydaktyczne

W dydaktyce, i matematyki i fizyki, przyjmuje się jak „pewnik”, że uczeń potrafi sporządzać (i rozumie) różnego rodzaju wykresy. Niestety, nawet dorośli dają się często oszukać poprzez odpowiednią manipulację osiami (i rodzajami) wykresów. Dlatego, szczegółowa analiza wykresów, i ich wielokrotne próbowanie za pomocą systemu komputerowego, jest niezwykle przydatne dla ucznia: wytwarza też odpowiednie *kompetencje społeczne*.



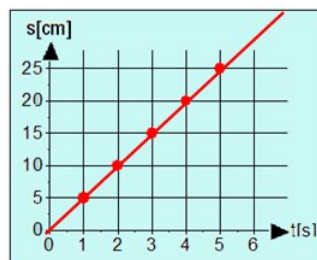
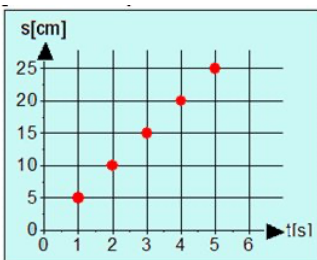
Przykład wykresu wprowadzającego w błąd: wydaje się, że dochód narodowy (GDP) Polski podwoił się między rokiem 2016 a 2017. W rzeczywistości, zmiana ta wynosiła +10%, ale w roku 2016 GDP Polski był najniższy w całym okresie 2010-2017.

Source: <https://tradingeconomics.com/poland/gdp?continent=australia>

Poniżej podajemy sekwencję tworzenia wykresu:

- 1) rzeczywista sytuacja (bańka powietrza w rurce)
- 2) pomiar położenia i czasu i zapis w postaci tabelki
- 3) naniesienie punktów pomiarowych na odpowiednio wybrany układ współrzędnych
- 4) dopasowanie funkcji (np. linii prostej) do naniesionych punktów (a właściwie, dopasowanie numeryczne danych – bo to przeprowadza program komputerowy).

Czas [s]	Droga [cm]
1	5
2	10
3	15
4	20
5	25



(a) Pomiar (b) Wykres według tabeli (c) Interpolacja (między punktami) i ekstrapolacja



Prędkość chwilowa to jest to, co pokazuje „prędkościomierz” samochodu. Pomiar dokonuje się na podobnych zasadach, jak w przeprowadzonym doświadczeniu – czujnik położenia (koła) przesyła impulsy, a system elektroniczny przelicza je na prędkość chwilową.

Opracowanie – dr Andrzej Karbowski, redakcja prof. dr hab. inż. Grzegorz Karwasz