



Education and Culture

Socrates

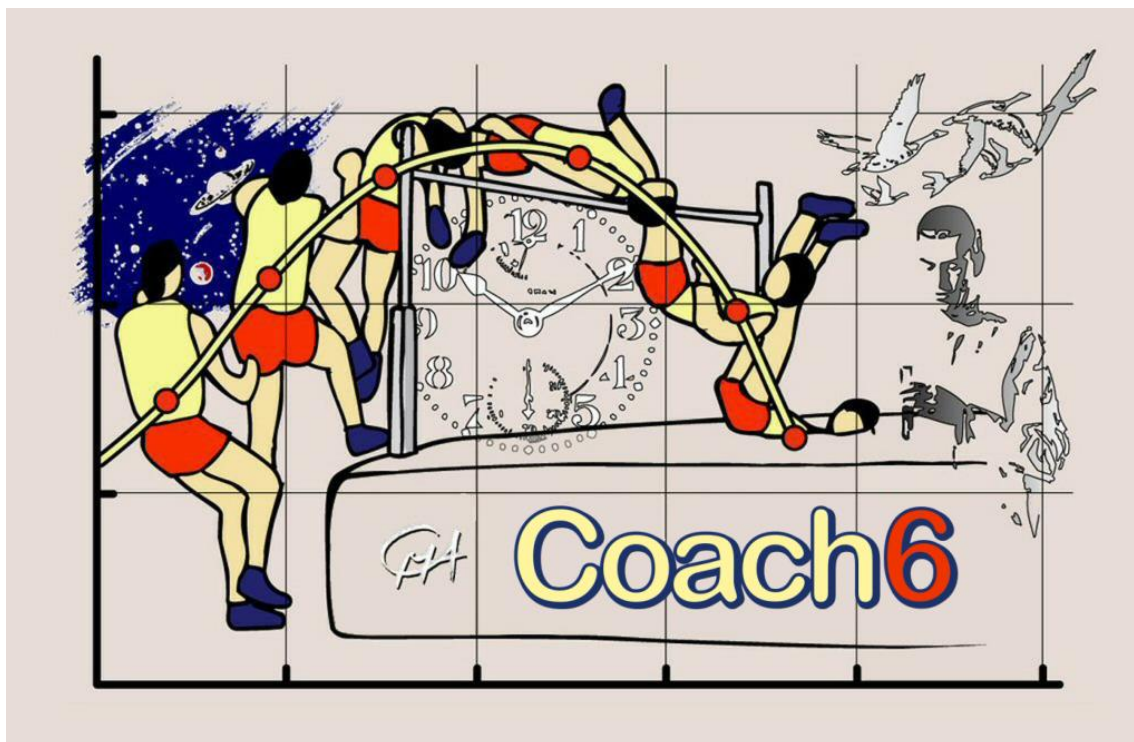


# IT for US

Information Technology for Understanding Science

Socrates Comenius programme  
Action 2.1 - Training of School Education Staff  
119001-CP-1-2004-1-PL-COMENIUS-C21

## DRGANIA Z COACH 6



© 2007 IT for US – Projekt jest finansowany przy wsparciu Komisji Europejskiej, nr grantu 119001-CP-1-2004-1-PL-COMENIUS-C21. Materiały są odzwierciedleniem poglądów autorów, Komisja nie jest odpowiedzialna za wykorzystanie informacji w nich zawartych.

# Poradnik nauczycielski

Ten moduł ma charakter wprowadzenia do programu Coach 6. Składa się z krótkiego opisu tego programu oraz zaprojektowanych w nim ćwiczeń, których zadaniem jest zapoznanie nauczycieli z podstawowymi możliwościami programu. Wszystkie ćwiczenia dotyczą zagadnienia drgań. Przeznaczone dla nauczycieli materiały napisane są z zastosowaniem metody "krok po kroku".

## I. Coach 6

Od 20 lat Instytut AMSTEL<sup>1</sup> na Uniwersytecie w Amsterdamie jest zaangażowany w tworzenie i rozwijanie programu Coach – doskonałego narzędzia do nauczania i uczenia się przedmiotów przyrodniczych i techniki. Program Coach jest pomyślany jako otwarte środowisko edukacyjne. Dostarcza ono szeregu naukowych narzędzi do poznawania świata przyrody, wspomaga nauczanie i uczenie się zgodne z ideą konstruktywizmu.

Bazujące na tej idei, prowadzone przez wiele lat prace, doprowadziły do powstania środowiska Coach 6 – pakietu programów z bogatym zestawem ćwiczeń wspartych technologią informacyjną, które wykorzystują stosowne narzędzia do pomiarów laboratoryjnych, wideopomiarów, sterowania, modelowania, a także analizy i przekształcania danych. Program zawiera bogaty zestaw multimediów w postaci gotowych obrazów, klipów wideo, animacji oraz linków do ciekawych stron internetowych.

Coach 6 składa się z projektów, w obrębie których proponowane są ćwiczenia. Każde ćwiczenie przeznaczone jest do samodzielnego wykonania przez ucznia. Ćwiczenia mogą mieć różny charakter. Mogą to być pomiary laboratoryjne (lub w terenie), pomiary dokonywane na podstawie filmu wideo, sterowanie lub też tworzenie i analiza modeli (szczegóły później, w opisie przykładowych ćwiczeń). Coach 6 posiada graficzny, okienkowy interfejs użytkownika. Okienka są stosowane do przedstawienia tekstu, obrazów, wykresów, tabel, wartości, mierników, notatek, klipów wideo, modeli i programów. Przycisk *Narzędzia*, dostępny w każdym oknie, dostarcza narzędzi odpowiednio do rodzaju okna i przeprowadzanego aktualnie zadania (np. dokonywania pomiarów, przeglądania danych). Coach 6 jako środowisko autorskie daje możliwość stworzenia ćwiczeń o charakterze multimedialnym, laboratoriów lub materiałów związanych z programem nauczania dla uczniów używających wersji autorskiej Coacha.

---

<sup>1</sup> Amsterdam Mathematics Science and Technology Education Laboratory, przedtem Wydział Dydaktyki Fizyki na Uniwersytecie w Amsterdamie

W tej wersji programu Coach można:

- wstawiać instrukcje, notatki i tekst, jak również obrazy, animacje i klipy wideo
- dodawać linki do odpowiednich stron w Internecie
- opisywać ustawienia eksperymentu
- wprowadzać film do wideopomiarów
- tworzyć modele dynamiczne.

Autor decyduje o trybie pracy użytym w ćwiczeniu. Zakres trybów pracy rozciąga się od *Uczniowski ustalony*, który daje uczniom dostęp jedynie do kilku niezbędnych operacji, poprzez *Uczniowski swobodny*, *Uczniowskie własne laboratorium*, aż do *Student*, który to tryb pozwala używać programu Coach jako całkowicie otwartego zestawu narzędzi.

## Pomiary laboratoryjne

Ćwiczenia pomiarowe w programie Coach 6 dają możliwość naboru danych z czujników np. temperatury, oświetlenia, poziomu dźwięku, pH (z wyjścia napięciowego), a także prezentację ich w różnej postaci, analizę i przetwarzanie uzyskanych danych pomiarowych.

Eksperymenty w programie Coach są łatwe do ustawienia, gdyż wprowadzanie kalibracji czujnika podłączonego do interfejsu odbywa się metodą przeciągania i upuszczania ikony czujnika do odpowiedniego wejścia konsoli pomiarowej na ekranie komputera. Kiedy prawdziwy czujnik jest przyłączony do tego wejścia interfejsu, ikona czujnika na ekranie pokazuje aktualną wartość mierzonej wielkości. W programie Coach istnieje biblioteka czujników zawierająca kalibracje wielu dostępnych czujników. Dodatkowo, użytkownik może zdefiniować swój własny czujnik używając zaawansowanego programu kalibracyjnego.

Coach zbiera dane zgodnie z wybraną metodą i ustawieniami pomiaru po naciśnięciu zielonego przycisku *Start*. W większości ćwiczeń używana jest metoda pomiarów w funkcji czasu; dane są zbierane w regularnych odstępach czasu zgodnie z ustawieniami częstotliwości próbkowania. W metodzie pomiarów wyzwalanych przez impulsy dane pobierane są za każdym razem, gdy impuls (zdarzenie) jest odbierany na wejściu licznika interfejsu. W pomiarach wyzwalanych ręcznie pojedynczy pomiar jest dokonywany za każdym razem, gdy wciskany jest przycisk *Start*. Ta metoda pozwala wpisać dane z klawiatury i stosować tak zwany pomiar „z wpisem”.

Wyniki pomiarów mogą być prezentowane w postaci wykresów, tabel, symbolicznych mierników lub pokazane w formie stosowanej w wyświetlaczu cyfrowym.

Przed rozpoczęciem pomiarów można dokonać, opartego na hipotezie przewidywania wyników eksperymentu. Umożliwia to stosowana w pomiarach lub modelowaniu opcja *Rysuj przewidywanie*. Po dokonaniu pomiarów kształt przewidywanego wykresu może być porównany z rzeczywistymi wynikami.

Unikalne w Coachu połączenie pomiarów i możliwości sterowania (ćwiczenia pomiarowe z programem) pozwala zautomatyzować pomiary. Przykładem takiego sterowanego eksperymentu jest automatyczne miareczkowanie z użyciem biurety krokowej CMA użytej w module *Silne i słabe kwasy*.

## Wideopomiary

Ćwiczenia dotyczące wideopomiarów w programie Coach 6 stosuje się, aby dokonać pomiarów z użyciem cyfrowych klipów wideo lub cyfrowych zdjęć. W ćwiczeniach tych można zanalizować ruch realnych obiektów w sytuacjach, które mają miejsce poza salą lekcyjną. Sytuacje mogą być zwykłe, wzięte z życia codziennego, takie jak: rzut piłki do kosza, kopnięcie piłki futbolowej, jazda w wesołym miasteczku, wzrost roślin lub bardziej niezwykłe, jak: skok na powierzchni Księżyca, kraksa samochodowa, ruch manekina wewnątrz samochodu podczas zderzenia.

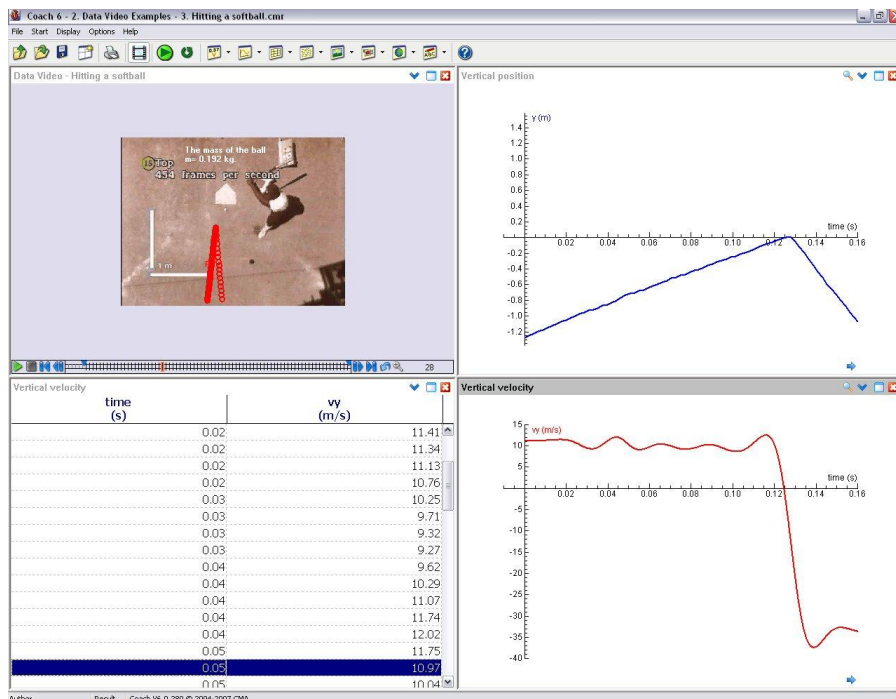
Podczas wideopomiarów dane zbierane są w postaci punktów:

- ręcznie, przez klikanie w wybrany punkt poruszającego się obiektu na kolejnych (wybranych) klatkach
- automatycznie przez wybór opcji „śledzenia” punktu poruszającego się obiektu.

Na podstawie częstotliwości nagrywania filmu wyznaczany jest odstęp czasu pomiędzy kolejnymi klatkami. Z kolei informacja dotycząca położenia ciała (jego współrzędne  $x$  i  $y$ ) odczytywane są z obrazu po jego kalibracji.

Zebrane dane mogą być przedstawione na wykresie, w tabeli, użyte w dalszej analizie i modelowaniu. Mogą również służyć do obliczenia położenia innych punktów np. środka masy. Wykresy są zsynchronizowane z klatkami wideo. To oznacza, że podczas odczytywania wartości na wykresie w oknie filmu pokazywana jest klatka odpowiadająca danej chwili.

Za pomocą opcji *Przejmij* klip wideo może być nagrywany bezpośrednio, edytowany i następnie analizowany.



## Modelowanie

Ćwiczenia dotyczące modelowania umożliwiają tworzenie modeli numerycznych układu, który podlega zmianom. Coach oferuje trzy metody konstruowania i wyświetlania modeli – graficzną, z równaniami i tekstową.

Główną koncepcją modelowania graficznego<sup>2</sup> jest przedstawienie struktury układu i jego zmian w czasie. Modele budowane są z elementów graficznych reprezentujących: zmienne stanu, zmienne pomocnicze, szybkości zmian zmiennych, stałe. Niewielkie zmiany stanu mogą być także wywołane zdarzeniami. Relacje pomiędzy elementami modelu są dane przez łączniki. Bazując na strukturze i matematycznych definicjach modelu graficznego Coach konstruuje:

- model w postaci równań, który zawiera sekwencję równań różnicowych, wzory obliczeniowe zmiennych pomocniczych, zestaw wartości początkowych i wielkości stałych
- model w trybie tekstowym napisany w języku Coach<sup>3</sup> i składający się z równań, z których zmienne modelu obliczane są zgodnie z wybraną metodą iteracyjną.

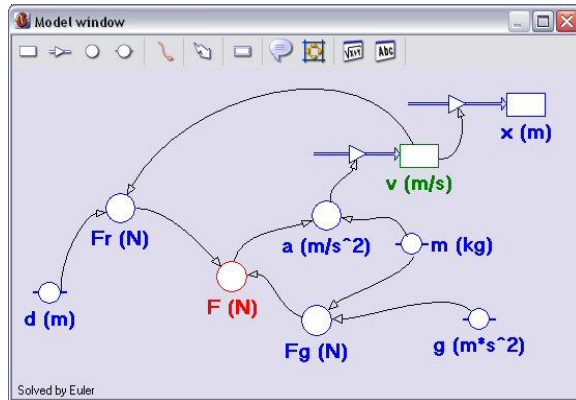
Istnieje możliwość bezpośredniego tworzenia modelu w trybie równań bądź tekstu. W tym pierwszym trybie równania są konstruowane przez użycie ikon zmiennych. W trybie tekstowym model budowany jest przez wprowadzanie równań zgodnie z zasadami języka Coach.

<sup>2</sup> To podejście zaproponował pracujący w MIT prof. Jay. W. Forrester we wczesnych latach 60.

<sup>3</sup> Język Coach jest językiem programowania w Coach 6 używanym w *Sterowaniu i Modelowaniu*.

Obliczenia iteracyjne realizowane są w oparciu o dany model numeryczny oraz wybraną metodę numeryczną. Wyniki obliczeń mogą być przedstawione w postaci liczb w tabelach bądź na wykresach.

Wyniki modelu mogą być porównane z danymi eksperymentalnymi (z *Pomiarów* lub *Wideopomiarów*). Model łatwo może podlegać modyfikacji lub wartość pewnego parametru może zostać zmieniona, tak że uczeń ma okazję przetestować swoją hipotezę dokonując powiązania rzeczywistego eksperymentu z modelem teoretycznym.



```

Model window
□x(t) = x(t-dt) + (Flow_1)*dt (m)
+Flow_1 = v
□v(t) = v(t-dt) + (Flow_2)*dt (m/s)
+Flow_2 = a
○a = F/m (m/s^2)
○F = Fg-Fr (N)
○Fg = m*g (N)
○Fr = 6*d*d^v*v (N)
□x_ini = 0 (m)
□v_ini = 0 (m/s)
◇m = 75 (kg)
◇g = 9.81 (m*s^-2)
◇d = 3 (m)
Solved by Euler

```

## II. Ćwiczenia uczniowskie

### ĆWICZENIE 1. WSTĘP DO WIDEOPOMIARÓW – PORUSZAJĄCE SIĘ WAHADŁO

#### Cele nauczania:

- Zapoznanie się z techniką wideopomiarów w Coach 6
- Zanalizowanie ruchu wahadła

#### Opis ćwiczenia:

W tym ćwiczeniu zanalizujesz ruch wahadła prostego. Takie wahadło jest najprostszym mechanicznym układem drgającym (i składa się z zawieszanej na linie masy, która po wprowadzeniu w ruch kołysze się w przód i w tył pod wpływem siły grawitacji). Badanie ruchu wahadła pozwoli ci zgłębić technikę wideopomiarów w programie Coach 6.

#### Uruchamianie programu Coach 6 i otwarcie ćwiczenia:

1. Uruchom program Coach 6 przez kliknięcie przycisku Start w systemie Windows, wybierz Programy, a następnie CMA Coach 6, po czym kliknij na jedną z ikon programu Coach 6 (wersja Autor wymaga podania kodu<sup>4</sup>). Otworzy się program Coach pokazując główne paski narzędzi (a w wersji autorskiej – menu główne). Użyj przycisku Otwórz aby otworzyć ćwiczenie bądź wyniki.
2. Otwórz ćwiczenie **Oscillations > Swinging pendulum**.

#### Uruchamianie wideo:

1. Aby otworzyć klip wideo kliknij w oknie filmu (Wideopomiary) i wybierz Otwórz... > Film.
2. Wybierz film Swinging pendulum.
3. Na ekranie pokaże się pierwsza klatka filmu.

---

<sup>4</sup> Kod domyślny to 0000.

## Odtwarzanie filmu:

1. Wybrany klip wideo przedstawia poruszające się wahadło. Odtwórz film klikając przycisk *Odtwarzaj* na pasku sterowania wideo.
2. Do przeglądania poszczególnych klatek używaj odpowiednich przycisków w pasku sterowania wideo bądź kliknij na kresczkę odpowiadającą klatce na pasku sterowania klatkami (ma on kształt poziomej drabinki). Wtedy wybrana klatka pojawi się na ekranie.
3. Po prawej stronie paska sterowania klatkami znajduje się przycisk *Powiększenie*, który pozwala powiększyć część paska. Najpierw musisz wybrać zakres klatek, dla którego chcesz zrobić powiększenie: kliknij pierwszą klatkę i podczas trzymania klawisza <Shift> kliknij ostatnią klatkę zakresu. Teraz kliknij przycisk *Powiększenie*, aby powiększyć wybrany zakres filmu.

## Kalibracja filmu:

### Odległość

Aby dokonać pomiarów powinieneś wyskalować film – musisz określić jaka odległość na ekranie odpowiada odległości rzeczywistej. Na ekranie pokazana jest „prawdziwa” linijka. Musisz również zdefiniować swój układ współrzędnych.

1. Otwórz menu Narzędzia przez kliknięcie prawym przyciskiem myszy w oknie Wideopomiary i wybierz opcję *Skalowanie...*
2. Wybierz *Ta sama we wszystkich kierunkach*.
3. Na ekranie pojawią się: pozioma linijka (w kolorze czerwonym) i układ współrzędnych (żółty).
4. Przesuń i dopasuj czerwoną linijkę do pionowej linijki pokazanej na pierwszej klatce filmu.
5. Wpisz w okienku dialogowym Skala – długość: wartość równą 0.5 m.
6. Umieść w wybranym miejscu układ współrzędnych przez przeciągnięcie jego początku (przeciągaj małe kółko).
7. Ustawienia zatwierdź przez kliknięcie OK.

### Czas

1. Te ustawienia pozwalają na wyznaczenie czasu, jaki upłynął między kolejnymi klatkami.
2. Kliknij prawym przyciskiem myszy okno Wideopomiary i wybierz opcję *Kalibracja czasu...*
3. Ten klip wideo był nagrany z częstotliwością 25 klatek na sekundę (można



to przeczytać we Właściwościach pliku wideo). Informacja ta jest wykorzystywana do powiązania numeru klatki z czasem  $t$  (w sekundach), jaki upłynął od początku pomiaru, jeśli tylko zdecydujesz od której klatki chcesz mierzyć czas (dla której klatki  $t = 0$ ). Zaznacz wybór dla  $t = 0$  na pierwszej wybranej klatce.

4. Ustawienia zatwierdź przez kliknięcie OK.

### **Ustawienia układu współrzędnych**

1. Kliknij prawym przyciskiem myszy okno Wideopomiary i wybierz opcję *Układ współrzędnych...*

2. Ponieważ kamera nie poruszała się podczas nagrywania tego filmu wybierz Taki sam na wszystkich klatkach.

3. Ustawienia zatwierdź przez kliknięcie OK.

### **Punkty wideo:**

1. Punkty wideo to punkty zebrane podczas wideopomiarów.

2. Z menu Narzędzia wybierz opcję *Punkty....*

3. Będziesz dokonywał pomiarów tylko dla jednego punktu więc wybierz '1' punkt mierzony na jednej klatce

4. Przejdź do części okienka dialogowego Znaczniki i kolory i wybierz swój ulubiony kolor oraz znacznik dla punktów wideo (polecamy białe kółko).

### **Klatki:**

Musisz jeszcze określić, w jaki sposób chcesz dokonywać wideopomiarów. Możesz do pomiarów wybrać tylko pewne klatki, możesz zastosować metodę śledzenia wybranego punktu na wszystkich klatkach filmu.

1. Z menu Narzędzia wybierz opcję *Klatki....*

2. Dla pomiarów ręcznych wybierz od 1 do 127 co 5. W tym przypadku pomiaru będziesz dokonywał co 5 klatek. Jeśli wybierzesz *Śledzenie punktu* użyj wszystkie klatki.

Wszystkie wybrane do pomiarów klatki są na pasku sterowania czarne, pozostałe są szare.

### **Wyświetlanie wyników:**

1. Aby wyświetlić wykres przedstawiający wyniki pomiarów wybierz z menu Narzędzia w oknie Wideopomiary opcję *Pokaż wykres* i kliknij puste lewe okienko na ekranie.

2. To pozwoli narysować wykres współrzędnych PX i PY w funkcji czasu. Korzyść z wcześniejszego przygotowania wykresu polega na tym, że podczas

pomiarów będziesz mógł widzieć pojawiające się na wykresie punkty pomiarowe.

3. Jeśli chcesz zobaczyć wyniki w postaci tabeli wybierz opcję *Przedstaw* w tabeli z menu Narzędzia i kliknij w jakieś wolne okno na ekranie. Jeśli potrzebna jest ci większa ilość okien, to możesz stworzyć dodatkowe przez przeciągnięcie granic od granicy głównego okna Coacha.

### Nabór danych:

Dane mogą być zbierane ręcznie bądź automatycznie przez zastosowanie opcji *Śledzenie punktu*. Najpierw wykonaj pomiar ręcznie, a następnie ten sam pomiar ze śledzeniem punktu.

#### Nabór ręczny

1. Rozpocznij pomiar przez kliknięcie zielonego przycisku Start.
2. Coach automatycznie przejdzie do klatki wybranej przez ciebie jako pierwszej.
3. Przesuń kursor myszy („celownik”) po ekranie, aby zlokalizować ciężarek wahadła.
4. Kliknij, aby zaznaczyć pierwszy wideo punkt.
5. Film automatycznie przełączy się do następnej wybranej klatki. Kliknij ponownie w ciężarek wahadła.
6. Kontynuuj zbieranie punktów pomiarowych klikając w ciężarek na każdej klatce.

#### Nabór z użyciem śledzenia punktu

1. Poprzez menu Narzędzia wybierz *Śledzenie punktu....*
2. Kliknij *Ustawienia śledzenia* punktu i ustaw kolor śledzonego obszaru na biały.
3. Poprzez menu Narzędzia wybierz *Idź do klatki* z ustawieniem śledzenia.
4. Na pierwszej klatce wybierz śledzony obszar – przeciągnij „celownik” na ciężarek wahadła.
5. Rozpocznij pomiar klikając w zielony przycisk Start.
6. Coach automatycznie dokona pomiaru.

### Korekta danych:

Jeśli nie jesteś zadowolony z pewnego zaznaczenia punktu wideo, możesz wrócić do odpowiedniej klatki i przesunąć ten punkt do innego położenia. W tym celu wybierz daną klatkę na pasku sterowania klatkami i przeciągnij punkt w nowe, twoim zdaniem lepsze miejsce. W tym samym momencie

zostaną zaktualizowane wykres i tabela. (Zauważ dużą wrażliwość wykresu prędkości na lokalizację punktu.)

Możesz także dodać kilka dodatkowych punktów po zakończeniu pomiarów:

1. Wybierz do pomiarów dodatkowe klatki z poprzednio pominiętych przez kliknięcie klatki (szarej) na pasku sterowania klatkami i wciśnij klawisz wstawiania <INS> na klawiaturze. Wybrana klatka stanie się czarna. (Możesz zrezygnować z wyboru klatki do pomiaru używając klawisza <DEL>.)
2. Kliknij zielony przycisk Start. Program przeniesie cię automatycznie do wybranej klatki. Zaznacz na niej nowy punkt wideo.
3. Postępuj tak samo z innymi dodatkowymi klatkami.

### Odtwarzanie:

Jedną z zalet wideopomiarów jest możliwość odtworzenia pomiarów i obserwacja tworzenia się wykresów w trakcie wyświetlania filmu. Kliknij na przycisk *Powtórz*. Określ czas odtwarzania lub ustaw prędkość odtwarzania. Kliknij OK. Twoje pomiary zostaną wtedy odtworzone na ekranie. Zobaczysz tworzenie się na żywo wykresów i tabel podczas ruchu wahadła.

### Opracowanie wyników:

Wynikami pomiarów są wykresy współrzędnych  $x$  i  $y$  wahadła względem czasu.

1. Pomiń niewielki ruch wahadła w kierunku pionowym i stwórz wykres wychylenia wahadła w kierunku poziomym:

- Kliknij prawym przyciskiem myszy okno wykresu i wybierz *Tworzenie/Edycja wykresu*.
- Przejdź do zakresu danych C3: P1Y i uczyn go niewidocznym (Niewidoczna).

2. Opisz otrzymany wykres:

- Użyj opcji *Odczytuj wartości* z menu Narzędzia i przejrzyj po kolei punkty na wykresie. Zauważ, że podczas skanowania wykresu w oknie wideo pokazują się odpowiednie klatki filmu z zaznaczonym wideo punktem.
- Możesz użyć przykładowo z menu wykresu Narzędzia opcji *Przetwarzanie/Analiza > Dopasowanie funkcji*.

3. Wyznacz okres drgań wahadła i oblicz częstotliwość tego ruchu:

- Możesz na przykład użyć opcji *Odczytuj wartości*.

4. Zmierz długość linki wahadła i oblicz teoretyczną wartość okresu drgań. Porównaj ją ze zmierzoną:

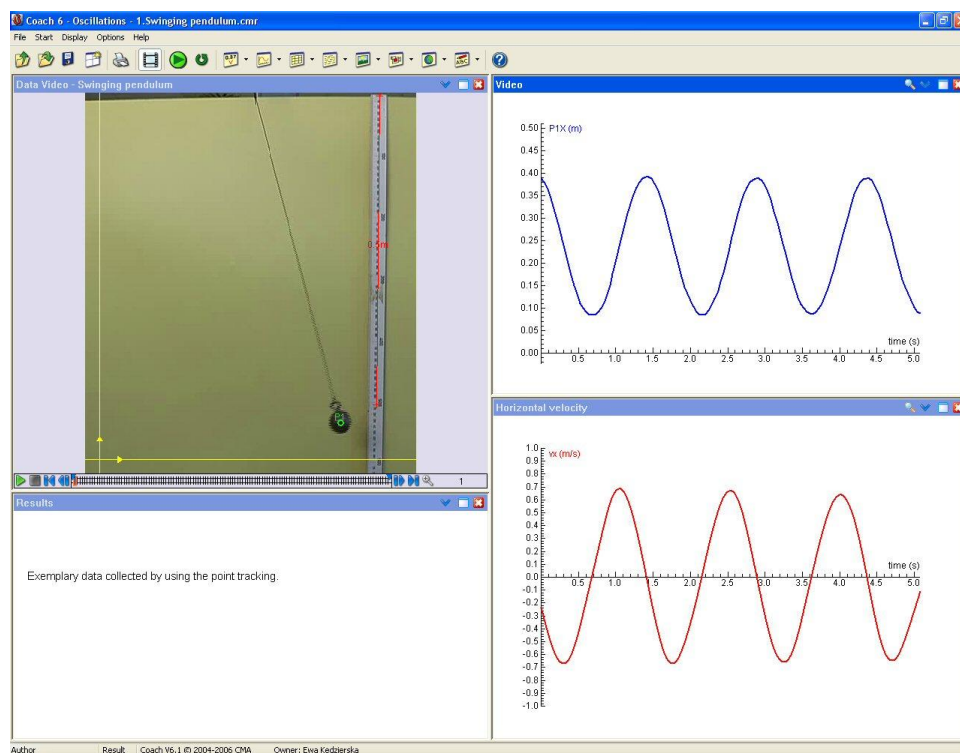
- Kliknij prawym przyciskiem myszy w okno wideo i zaznacz *Pokaż >*

*Linijka.* Przeciagnij linijkę, aby zmierzyć odległość (długość wahadła) na ekranie.

5. Stwórz i zanalizuj wykres prędkości w czasie. Gdzie znajduje się wahadło, gdy prędkość równa jest zero, a gdzie - gdy prędkość jest największa? Ile wynosi maksymalna prędkość wahadła?

- Aby utworzyć wykres prędkości względem czasu możesz zastosować opcję *Przetwarzanie/Analiza > Pochodna* z menu okna wykresu Narzędzia.
- Opcja *Odczytuj wartości* pomoże ci w analizowaniu wykresu.

6. Stwórz i zanalizuj wykres przyspieszenia wahadła względem czasu.



Dane otrzymane za pomocą opcji *Śledzenie punktu*

## ĆWICZENIE 2. DRGANIA SPRĘŻYNY

### Cele nauczania:

- Poznanie techniki pomiarów laboratoryjnych w Coach 6
- Zbadanie ruchu drgającego masy zawieszonyj na sprężynie

### Materiały:

- Interfejs CoachLab II/II+
- Ultradźwiękowy czujnik ruchu
- Czujnik siły ( $\pm 50$  N) (opcjonalnie)
- Sprężyna, ciężarek, statyw i łąpa

### Opis ćwiczenia:

Innym przykładem prostego układu drgającego jest ruch ciężarka zawieszonyj na sprężynie. Kiedy ciało jest odciągnięte w dół na odległość  $x$  od położenia równowagi, sprężyna wywiera na nie siłę (daną prawem Hooke'a  $F = -kx$ ). Siła ta stara się zawrócić ciało do położenia równowagi.

W tym eksperymencie będziesz rejestrować i badać ruch układu masa-sprężyna przy pomocy ultradźwiękowego czujnika ruchu i czujnika siły (opcja dodatkowa). Na tym przykładzie zapoznasz się z przeprowadzaniem pomiarów z czujnikami w programie Coach 6. Układ doświadczalny przedstawiono na zdjęciu.

### Uruchamianie programu Coach 6 i otwarcie ćwiczenia:

- Uruchom program Coach 6 przez kliknięcie przycisku Start w systemie Windows, wybierz Programy, a następnie CMA Coach 6, po czym kliknij na jedną z ikon programu Coach 6 (wersja Autor wymaga podania kodu<sup>5</sup>). Otworzy się program Coach pokazując główne paski narzędzi (a w wersji autorskiej – menu główne). Użyj przycisku Otwórz aby otworzyć ćwiczenie bądź wyniki.
- Otwórz ćwiczenie **Oscillations > Spring oscillations**.

---

<sup>5</sup> Kod domyślny to 0000.

### Układ doświadczalny:

1. Przymocuj sprężynę do poziomego pręta połączonego ze statywem. Jeśli używasz czujnika siły, zawieś sprężynę na jego haczyku.

2. Zawieś ciężarek na sprężynie. Statyw nie powinien poruszać się, a ciężarek powinien poruszać się na dystansie około 20 cm. Umieść detektor ruchu pod ciężarkiem. (Uważaj, żeby ciężarek podczas swoich drgań nie znajdował się bliżej detektora niż 50 cm lub spadł ze sprężyny.)

3. Połącz detektor ruchu z odpowiednim wejściem interfejsu.

4. Jeśli używasz czujnika siły przyłącz go do wejścia 1 interfejsu.



### Przygotowanie ustawień eksperymentu:

1. Kliknij przycisk Okno konsoli, aby wyświetlić konsolę interfejsu.

2. Ikony detektora ruchu i czujnika siły są umieszczone na palecie czujników. Przeciągnij ikony czujników do odpowiednich wejść interfejsu: ikonę detektora ruchu do wejścia cyfrowego (z tyłu interfejsu), ikonę czujnika siły do wejścia nr 1. (Nie jest to konieczne dla czujników wykrywanych automatycznie.)

3. Wartości mierzonych przez czujniki wielkości są wyświetlane na ikonach czujników.

4. Aby zobaczyć dane na wykresie/tabeli kliknij prawym przyciskiem myszy na ikonę czujnika, wybierz *Przedstaw na wykresie/Przedstaw w tabeli* i umieść wykres/tabelę w jednym z pustych okien.

5. Kliknij przycisk Ustawienia pomiaru i wprowadź ustawienia pomiaru: Czas pomiaru = 20 sekund, Częstotliwość = 50 Hz. Kliknij OK aby zatwierdzić wybór.

### Pomiary:

1. Podnieś ciężarek i wypuść go.

2. Rozpocznij pomiary przez kliknięcie przycisku Start.

3. Zapisz wyniki pomiaru ruchu używając przycisku *Zapisz jako*.

4. Jeśli pracujesz z czujnikiem siły, powinieneś wyzerować czujnik przy

zawieszonym na nim nieruchomo ciężarku. Dokonasz tego w następujący sposób: kiedy układ jest w równowadze kliknij prawym przyciskiem myszy na ikonę czujnika i wybierz opcję Ustaw na zero. Wartości czujnika siły będą oscylowały wokół wartości 0 N.

### Opracowanie wyników pomiarów:

W wyniku pomiarów otrzymałeś wykres położenia ciężarka w funkcji czasu i także wykres siły odkształcającej sprężynę (jeśli używasz czujnika siły). Wyznacz okres  $T$  drgań ciężarka. Bazując na okresie oblicz częstotliwość oscylacji.

Czy badany ruch jest ruchem drgającym harmonicznym? Możesz to sprawdzić dopasowując do danych pomiarowych funkcję sinus.

- Kliknij prawym przyciskiem myszy okno wykresu i wybierz opcję Przetwarzanie/Analiza > Dopasowanie funkcji. Użyj funkcję  $y = \sin(bx+c)+d$ , po czym wciśnij przycisk Auto a następnie przycisk Precyzuj.

- Czy funkcja dobrze pasuje do danych?

Zbadaj jak zmiany amplitudy wpływają na okres drgań. Uważaj, żeby nie stosować zbyt dużych amplitud.

Zbadaj jak zmiany masy ciężarka wpływają na okres drgań.

Umieść wykresy prędkość-czas i przyspieszenie-czas w oknach na ekranie.

- Oba wykresy możesz stworzyć używając opcji *Przetwarzanie/Analiza > Pochodna* z menu *Narzędzia*.

Jakie są wartości prędkości i przyspieszenia, gdy ciężarek przechodzi przez położenie równowagi?

Jakie są wartości prędkości i przyspieszenia, gdy ciężarek znajduje się w skrajnym położeniu górnym lub dolnym (położenie maksymalne lub minimalne)?

- Użyj z menu wykresu *Narzędzia* opcji *Odczytuj wartości*.

Jeśli dokonujesz pomiaru siły, stwórz wykres siły względem wychylenia z położenia równowagi. Jaki wniosek możesz wyciągnąć na podstawie wykresu?

## ĆWICZENIE 3. MODELOWANIE RUCHU HARMONICZNEGO

### Cele nauczania:

- Zapoznanie się z tworzeniem graficznego modelu w Coach 6
- Opracowanie graficznego modelu ruchu harmonicznego

### Opis ćwiczenia:

W poprzednim ćwiczeniu rejestrowałeś prosty ruch harmoniczny. W tym ćwiczeniu będziesz tworzył graficzny model, który opisuje taki ruch. Nauczysz się jak pracować w ramach ćwiczeń dotyczących modelowania w programie Coach 6.

Rozpoczniesz od prostego (wyidealizowanego) modelu drgań ciężarka przymocowanego do poziomo ułożonej sprężyny. Kiedy sprężyna jest rozciągnięta albo ściśnięta a następnie zwolniona, to układ oscyluje wokół położenia równowagi. Siła wywierana przez sprężynę jest wprost proporcjonalna do odkształcenia sprężyny a skierowana jest zawsze w stronę położenia równowagi, czyli przeciwnie do wektora przemieszczenia masy.

Przyspieszenie ciężarka może być wyznaczone z drugiej zasady Newtona:  $a = F/m$ .

Dla małego przedziału czasu  $dt$  równania ruchu opisujące przemieszczenie i prędkość są następujące:  $dx/dt = v$  i  $dv/dt = a$ .

### Uruchamianie programu Coach 6 i otwarcie ćwiczenia:

1. Uruchom program Coach 6 przez kliknięcie przycisku Start w systemie Windows, wybierz Programy, a następnie CMA Coach 6, po czym kliknij na jedną z ikon programu Coach 6 (wersja Autor wymaga podania kodu<sup>6</sup>). Otworzy się program Coach pokazując główne paski narzędzi (a w wersji autorskiej – menu główne). Użyj przycisku Otwórz aby otworzyć ćwiczenie bądź wyniki.

2. Otwórz ćwiczenie **Oscillations > Modeling harmonic motion**.

### Konstruowanie modelu:

W trybie graficznym modelowania zmienne występujące w modelu są reprezentowane graficznymi symbolami. Zależności między zmiennymi wskazane są przez łączniki narysowane pomiędzy symbolami.

1. Położenie ciężarka potraktuj jako zmienną stanu:

---

<sup>6</sup> Kod domyślny to 0000



- Kliknij ikonę Zmienna stanu w pasku narzędzi okna modelowania. Wtedy kursor przyjmie kształt symbolu takiej zmiennej.
  - Przesuń kursor po oknie modelowania i kliknij, aby go tam umieścić w wybranym miejscu. Zmiennej nadana zostaje etykieta State\_1.
  - Zmień nazwę zmiennej na  $x$ . Symbol i jego nazwa pozostają zaznaczone, co pozwala łatwo zmienić nazwę przez nadpisanie.
2. Szybkość zmiany położenia opiszesz używając innego rodzaju zmiennej.
- Wybierz ikonę *Szybkość zmiany* klikając w nią, umieść kursor po lewej stronie zmiennej  $x$  i przeciągnij w prawo aż do uzyskania połączenia z tą zmienną.
3. Prędkość ciężarka będzie rozumiana jako zmienna stanu.
- Stwórz zmienną  $v$  w analogiczny sposób jak zmienną  $x$ . Umieść symbol nowej zmiennej poniżej zmiennej  $x$ .
4. Szybkość zmiany prędkości opiszesz w następujący sposób:
- Wybierz ikonę *Szybkość zmiany* klikając w nią, umieść kursor po lewej stronie zmiennej  $v$  i przeciągnij w prawo aż do uzyskania połączenia z tą zmienną.
5. Przyspieszenie należy potraktować jako zmienną pomocniczą. Dlaczego?
- Kliknij ikonę Zmienna pomocnicza w pasku narzędzi okna modelu. Wtedy kursor przyjmie kształt symbolu zmiennej pomocniczej.
  - Przesuń kursor po oknie modelowania i kliknij, aby go tam umieścić poniżej zmiennej  $v$ . Zmiennej nadana zostanie etykieta Aux\_1.
  - Zmień nazwę zmiennej na  $a$ . Symbol i jego nazwa pozostają zaznaczone, co pozwala łatwo zmienić nazwę przez nadpisanie.
  - Postępując w analogiczny sposób stwórz zmienną  $F$ , jako zmienną pomocniczą.
6. Masa ciężarka na sprężynie jest stałą modelu:
- Wybierz ikonę Stała przez kliknięcie w nią, umieść kursor w oknie modelu i kliknij w okno w wybrane przez ciebie miejsce.
  - Nadaj stałej nazwę  $m$ .
- W podobny sposób zdefiniuj współczynnik sprężystości sprężyny  $k$ .
7. Gdy wszystkie symbole zmiennych i stałych używanych w modelu są już przygotowane, należy określić istniejące między nimi zależności:
- Wybierz ikonę Łącznik z paska Narzędzi okna modelu. Kształt kursora zmieni się w małą ikonę łącznika. Kliknij w symbol, od którego łącznik ma się rozpoczynać i przeciągnij go do symbolu, na którym ma się kończyć. Łącznik można w dowolny sposób wyginać dostosowując jego kształt do

położenia symboli zmiennych. Aby to zrobić kliknij łącznik i użyj 4 pokazanych punktów - uchwytów; 2 z nich, które dotyczą do zmiennych pozwalają przesunąć końce łączników wokół krawędzi symboli zmiennych. Dwa pozostałe punkty umożliwiają wyginanie łącznika.

- Narysuj łączniki pomiędzy zmiennymi modelu określając następujące zależności:

*Zależność 1:* Szybkość zmiany położenia jest równa prędkości. Przeciągnij łącznik od zmiennej  $v$  do *Szybkości zmiany położenia*.

*Zależność 2:* Szybkość zmiany prędkości jest równa przyspieszeniu. Przeciągnij łącznik między zmienną  $a$  i *Szybkością zmiany prędkości*.

*Zależność 3 i 4:* Przyspieszenie określone jest przez masę i siłę na nią działającą. Przeciągnij pierwszy łącznik od zmiennej  $m$  do zmiennej  $a$ , a drugi od zmiennej  $F$  do  $a$ .

*Zależność 5 i 6:* Siła określona jest przez współczynnik sprężystości sprężyny i położenie ciężarka. Przeciągnij pierwszy łącznik od stałej  $k$  do zmiennej  $x$ , a drugi łącznik od  $x$  do  $F$ .

8. Teraz jesteś gotowy do wprowadzenia formuł i wartości początkowych. Symbole, które nie mają podanych formuł oraz wartości początkowych oznaczone są znakiem zapytania (?)

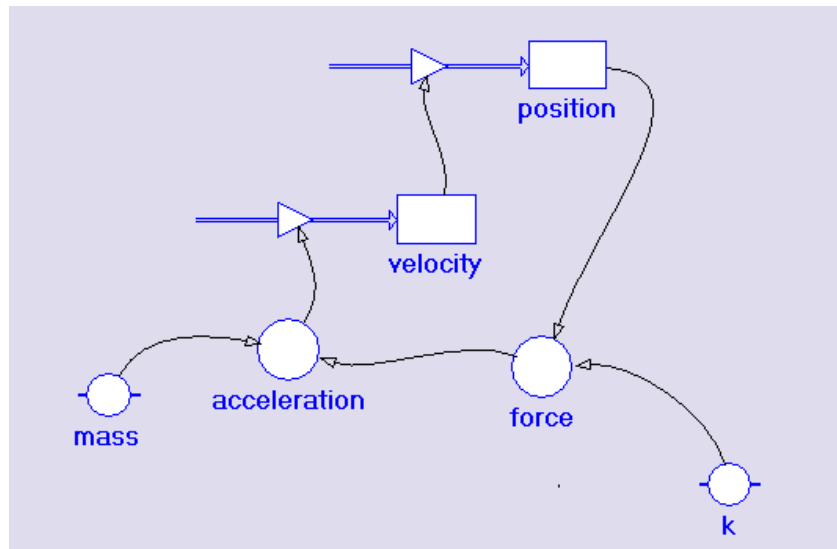
- Dwukrotnie kliknij na stałą  $k$  i wpisz jej właściwości. Wartość współczynnika sprężystości powinna być podana w polu Definicja.
- Dwukrotnie kliknij na stałą  $m$  i wpisz jej właściwości. Podaj wartość masy.
- Dwukrotnie kliknij na symbol  $F$  i określ siłę poprzez formułę:  $-k \cdot x$ . Możesz wpisać wzór bezpośrednio w pole definicji lub możesz użyć edytora formuł (Definiuj).
- Dwukrotnie kliknij na  $a$  i określ przyspieszenie jako iloraz siły i masy ( $F/m$ ).
- Dwukrotnie kliknij Szybkość zmiany prędkości. Zauważ, że jest on tożsamy z przyspieszeniem  $a$ . To przypisanie zostanie dokonane automatycznie, ponieważ pozostało już tylko jedno możliwe połączenie.
- Dwukrotnie kliknij na  $v$  i wprowadź jego wartość początkową, na przykład 0 (m/s).
- Dwukrotnie kliknij Szybkość zmiany położenia; jest on automatycznie utożsamiony z prędkością  $v$ .
- Dwukrotnie kliknij na  $x$  i wprowadź jego wartość początkową, na przykład 0,2 (m).

9. Wybierz sposób prezentacji wyników twojego modelu. Kliknij prawym przyciskiem myszy symbol zmiennej (zaczynaj od  $x$ ) i wybierz wykres, tabelę lub wartość. Kliknij okienko, w którym chcesz umieścić wykres, tabelę lub wartość.

10. W trybie graficznym model jest określony przez równania

matematyczne "ukryte" pod symbolami graficznymi. Równania te są widoczne po przejściu do trybu równań.

- Kliknij na przycisk Tryb równań, aby zobaczyć matematyczne równania.
- Kliknij na przycisk Tryb graficzny, aby wrócić.



Model w trybie graficznym

<input type="checkbox"/> $position(time) = position(time-dtime) + (Flow\_1)*dtime$ (m)	<input type="checkbox"/> $position\_ini = 0.2$ (m)
$\neq$ $Flow\_1 = velocity$	<input type="checkbox"/> $velocity\_ini = 0$ (m/s)
<input type="checkbox"/> $velocity(time) = velocity(time-dtime) + (Flow\_2)*dtime$ (m/s)	$\odot$ $k = 2.5$ (N/m)
$\neq$ $Flow\_2 = acceleration$	$\odot$ $mass = 1$ (kg)
$\odot$ $acceleration = force/mass$ (m/s <sup>2</sup> )	
$\odot$ $force = -k*position$ (N)	

Model w trybie równań (równania różniczkowe)

### Ustawienia modelu:

1. Wciśnij przycisk *Ustawienia* w pasku narzędziowym ćwiczenia i określ wartość początkową na 0 a wartość końcową na 20. Wybierz krok czasowy równy 0,1. Jest to przedział czasu, po którym program wykonuje specyficzne obliczenia modelu.
2. Ustaw metodę całkowania na Runge-Kutta 2. Zauważ, że zwykle całkowanie metodą Eulera nie działa w tym przypadku właściwie.

### Wykonywanie obliczeń modelu:

1. Rozpocznij obliczenia modelu kliknięciem w zielony przycisk *Start*.

Komputer narysuje wykres. Użyj przycisku *Dopasuj skalę* aby dopasować skalę twojego wykresu.

2. Kliknij prawym przyciskiem myszy w okienku modelu i zaznacz opcję *Uruchom monitoring*. Możesz użyć suwaka czasu w celu obserwowania obliczeń krok po kroku.

3. Użyj opcji *Symulacja*, aby zbadać wpływ zmian parametrów modelu. Kliknij prawym przyciskiem myszy w oknie modelu i wybierz opcję *Symulacja*. Wybierz parametr z listy parametrów modelu. Wpisz wartość parametru i kliknij *Wykonaj*.

### Adaptacja modelu dla pionowej sprężyny:

W celu stworzenia modelu układu pionowo zawieszony sprężyny z ciężarkiem (układu badanego w poprzednim ćwiczeniu) należy wprowadzić tylko kilka niewielkich zmian w naszym modelu.

- A. Należy rozważyć działającą na ciężarek siłę wypadkową, która jest równa sumie siły ciężkości i siły wywieranej na ciężarek przez sprężynę.
- B. Położenie początkowe ciężarka powinno być obliczone na podstawie początkowego przemieszczenia liczonego od spoczynkowej długości sprężyny.

Wczytaj jako tło wykres wyników pomiaru z eksperymentu *Spring oscillations* i sprawdź czy twój model dobrze pasuje do danych eksperymentalnych. Kliknij prawym przyciskiem myszy na wykres i wybierz *Wczytaj wykres w tło...*. Otwórz odpowiedni plik wyników. Dokonaj ustawień definiujących proces importu, po czym kliknij OK.

### Dalsze modyfikacje modelu (na przykład wahadło lub drgania tłumione):

W modelu wahadła siła zwrotna pochodzi z x-owej składowej napięcia nici wahadła. Jednak kierunek siły napięcia zmienia się w czasie ruchu wahadła. Ruch może być modelowany, jeśli znajdziesz składową x napięcia. Jest ona opisana wyrażeniem:  $\text{Napięcie} \cdot \sin(\alpha)$ , gdzie  $\alpha$  jest kątem odchylenia od pionu nici wahadła.

- Wczytaj jako tło wyniki eksperymentu *Swinging pendulum* i oceń, czy twój model dobrze pasuje do danych eksperymentalnych.