

# Metody Obliczeniowe w Nauce i Technice

## Laboratorium 13

### Potrójne wahadło

18 czerwca 2024

#### Literatura

- Nick Eyre, Jeff Holzgrafe, *Modeling of a Damped Triple Pendulum*
- Jake VanderPlas, Triple pendulum chaos

#### Metody i najważniejsze pojęcia

- Lagrangian Mechanics
- Kane's Method in Physics/Mechanics
- *Holonomic system*

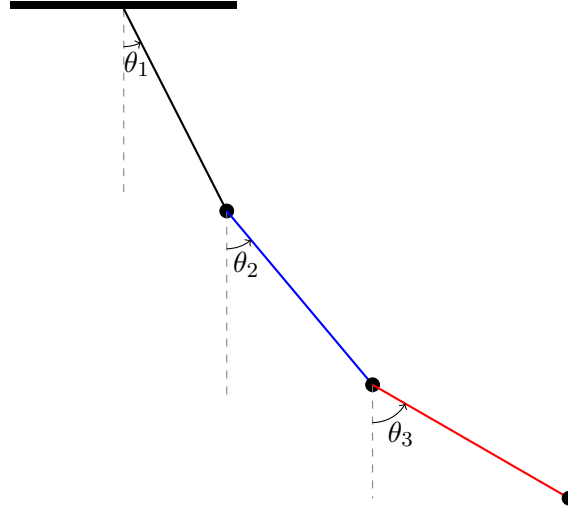
#### Przydatne biblioteki

- `matplotlib.animation`, `matplotlib.collections`
- `sympy.physics.mechanics`
- `scipy.integrate`

#### Zadanie 1 Symulacja potrójnego wahadła

- Wykorzystując dostępne biblioteki do symulacji wahadła w 2D (`sympy.physics.mechanics`) napisz program, który:
  - a) Utworzy model wahadła składającego się z  $n$  sekcji o równej długości  $l$  i masie  $m$

- b) W oparciu o metodę Kane'a (<https://docs.sympy.org/dev/modules/physics/mechanics/kane.html>) opisz dany układ mechaniczny za pomocą równań ruchu (*siły, cząstki, kinematyczne równania różniczkowe*)



- c) Numerycznie rozwiąż i zcałkuj równania ruchu otrzymując wzory na współrzędne cząstek układu mechanicznego
- d) Narysuj trajektorię ruchu końcówki wahadła podwójnego symulując jego poruszanie się od 0 do 10 sekund co 1 milisekundę
- e) Potwórz eksperyment dla trzech różnych wartości  $n \in \{3, 4, 5\}$  oraz tej samej długości symulacji. Porównaj uzyskane trajektorie ruchu.
- f) Korzystając z biblioteki `matplotlib.animation` stwórz animację ruchu potrójnego wahadła i dodaj uzyskany plik video do sprawozdania.
- g) Dla  $n = 3$  zbadaj wpływ niewielkich zaburzeń warunków początkowych układu mechanicznego (początkowa pozycja różniaca się na 6 – 7 miejscu po przecinku) na trajektorię końcówki wahadła. Narysuj trajektorię końcówki wahadła dla trzech niemal identycznych konfiguracji.
- h) Korzystając z `matplotlib.collections` wykonaj animację dla eksperymentu z poprzedniego punktu (trzy potrójne wahadła równocześnie)

## \*Zadanie 2 Odwrócone podwójne wahadło

W oparciu o metodę Kane'a spróbuj zaimplementować symulację odwróconego podwójnego wahadła.