

## Metody numeryczne w fizyce

### Laboratorium 8

1. Rozwiąż numerycznie równanie zaniku promieniotwórczego:

$$\frac{dN_U}{dt} = -\frac{N_U}{\tau},$$

implementując algorytm Eulera. Obliczenia przeprowadź dla stałej zaniku  $\tau = 1$  s oraz różnych wartości początkowej liczby atomów  $N_U(0)$  i wielkości kroku czasowego  $\Delta t$ . Porównaj rozwiązania numeryczne z rozwiązaniem analitycznym. Sporządź wykresy ilustrujące błąd bezwzględny i względny w funkcji czasu.

2. Rozwiąż numerycznie równanie zaniku promieniotwórczego wykorzystując solwer **ode23**.

Ruch wahadła matematycznego opisywany jest (w przybliżeniu małych drgań) równaniem:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L}\theta,$$

gdzie  $\theta$  – wychylenie [rad],  $t$  – czas [s],  $g$  – przyspieszenie grawitacyjne [ $\text{m/s}^2$ ],  $L$  – długość wahadła [m].

3. Rozwiąż numerycznie zagadnienie początkowe dla wybranych warunków początkowych. Wykreśl zależność wychylenia i prędkości kątowej od czasu. Odczytaj z wykresów okres drgań wahadła.

Wskazówka: zapoznaj się z wywołaniem solwerów równań różniczkowych zwracającym strukturę (**sol = ode23(fun, t, f0)**) oraz funkcją **deval**, która pozwala na interpolowanie wartości rozwiązań dla dowolnych wartości zmiennej niezależnej.

Częstotliwość drgań wahadła  $\Omega$  i okres  $T$  mogą być wyznaczone analitycznie (w przybliżeniu małych drgań):

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{L}}.$$

4. Wyznacz okres  $T$  i częstotliwość  $\Omega$  drgań wahadła i sprawdź, czy wartości wyznaczone w eksperymencie numerycznym zgadzają się z wartościami analitycznymi.

Wskazówka: wykorzystując funkcję **deval** skonstruuj funkcję anonimową zwracającą wychylenie w czasie, a następnie wykorzystaj funkcję **fzero** do wyznaczenia okresu drgań.

Energia mechaniczna drgań wahadła (w przybliżeniu małych drgań)

$$E = \frac{1}{2} mL^2 \omega^2 + mgl \frac{\theta^2}{2}$$

jest zachowana.

5. Sprawdź, czy energia mechaniczna w eksperymencie numerycznym jest zachowana. Sprawdź, jaki wpływ mają parametry solwera na wyniki (w tym na zachowanie energii mechanicznej). Wskazówka: zapoznaj się z funkcją **odeset**.

Ruch wahadła matematycznego z uwzględnieniem tłumienia opisywany jest (w przybliżeniu małych drgań) równaniem:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L}\theta - 2q\frac{d\theta}{dt},$$

gdzie  $q$  – współczynnik tłumienia [1/s]. W zależności od wartości parametru tłumienia można wyróżnić reżimy drgań tłumionych słabo ( $q < \Omega$ ), krytycznie ( $q = \Omega$ ) i silnie ( $q > \Omega$ ).

6. Porównaj zależność wychylenia od czasu dla przykładowych wartości parametru  $q$ . Dla drgań słabo tłumionych wyznacz okres i częstotliwość drgań. Sprawdź, czy częstotliwość drgań w eksperymencie numerycznym odpowiada wartości analitycznej  $\Omega_1 = \sqrt{\Omega^2 - q^2}$ .

Ruch wahadła matematycznego z uwzględnieniem tłumienia i siły wymuszającej opisywany jest (w przybliżeniu małych drgań) równaniem:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L}\theta - 2q\frac{d\theta}{dt} + \varepsilon_D \sin(\Omega_D t),$$

gdzie  $\Omega_D$  – częstość wymuszająca [1/s],  $\varepsilon_D$  – przyspieszenie kątowe związane z wymuszeniem. Amplituda drgań wymuszonych wynosi:

$$\theta_0 = \frac{\varepsilon_D}{\sqrt{(\Omega^2 - \Omega_D^2)^2 + (2q\Omega_D)^2}}.$$

7. Sprawdź, dla różnych parametrów wymuszenia, czy amplituda i częstotliwość drgań wymuszonych odpowiadają wartościom analitycznym. Ze szczególną uwagą przeanalizuj zachowanie układu blisko rezonansu dla małych tłumień. Wskazówka: wykorzystaj opcję przekazania do solwera funkcji obsługującej zdarzenia (opcja **'Events'**)

Ruch wahadła matematycznego opisywany jest równaniem:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{l}\sin\theta.$$

8. Rozwiąż numerycznie podane zagadnienie początkowe dla wybranych warunków początkowych. Wykreśl zależność wychylenia i prędkości kątowej od czasu. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów numerycznych, wyznacz zależność okresu drgań od ich amplitudy – odnieś uzyskane wyniki do wyrażenia analitycznego (Laboratorium 7).

Karol Tarnowski

Wrocław, 2021