

# Ćwiczenie nr 74

## Wyznaczanie prędkości światła

### 1 Wstęp teoretyczny

#### Fale elektromagnetyczne

Fale elektromagnetyczne (EM) to fale poprzeczne składające się ze zmieniających się w czasie pól elektrycznego i magnetycznego, które drgają w kierunkach prostopadłych do kierunku rozchodzenia się fali i do siebie nawzajem. Przykładowymi falami elektromagnetycznymi są: światło widzialne, fale radiowe, podczerwień, ultrafiolet i promieniowanie rentgenowskie. W przeciwieństwie do fal mechanicznych, fale EM nie potrzebują ośrodka do propagacji, mogą rozchodzić się w próżni. Polaryzacja fali EM jest zdefiniowana jako kierunek równoległy do wektora natężenia pola elektrycznego  $\vec{E}$  (Ling et al., 2018).

#### Równanie falowe, prędkość fali

Istnienie i zachowanie fal elektromagnetycznych jest opisywane przez równania Maxwella. Z tych równań można wyprowadzić równanie falowe, które dla fali płaskiej poruszającej się w próżni wzdłuż osi x przyjmuje postać:

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}$$

Z porównania tego równania z ogólną postacią równania falowego wynika, że prędkość fali elektromagnetycznej w próżni, oznaczana jako  $c$ , jest stałą fizyczną i wynosi:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

gdzie:

- $\epsilon_0$  to przenikalność elektryczna próżni,
- $\mu_0$  to przenikalność magnetyczna próżni.

Wartość tej prędkości wynosi  $c = 299\,792\,458$  m/s. (Ling et al., 2018)

## Własności fal w próżni i ośrodkach. Prędkość rozchodzenia się fal a współczynnik załamania ośrodka

Prędkość światła w ośrodku materialnym ( $v$ ) jest mniejsza niż w próżni ( $c$ ), ponieważ światło oddziałuje z atomami w danym ośrodku. Zależność ta opisywana jest przez stałą materiałową zwaną współczynnikiem załamania  $n$ :

$$n = \frac{c}{v}$$

Współczynnik załamania  $n$  jest zawsze większy lub równy 1, ponieważ  $v$  jest zawsze mniejsze lub równe  $c$ . Dla próżni wynosi 1. Wartość współczynnika załamania zależy od rodzaju ośrodka oraz od długości fali światła. Zależność współczynnika załamania od długości światła prowadzi do zjawiska rozszczepienia (dyspersji) (Ling et al., 2018).

## Metody pomiaru prędkości światła

Historycznie prędkość światła mierzono wieloma metodami, zarówno astronomicznymi, jak i laboratoryjnymi.

- **Metoda astronomiczna Rømera (1675):** Ole Rømer, obserwując zaćmienia księżyca Jowisza – Io, zauważył, że okresy jego obiegu wydają się zmieniać w zależności od położenia Ziemi na orbicie. Zinterpretował to jako efekt skończonej prędkości światła, które potrzebuje więcej lub mniej czasu, aby dotrzeć do Ziemi, gdy ta oddala się od Jowisza lub się do niego zbliża. Na tej podstawie oszacował prędkość światła na  $2 \cdot 10^8$  m/s.
- **Metoda koła zębatego Fizeau (1849):** Armand Fizeau użył obracającego się koła zębatego, aby "ciąć" wiązkę światła na impulsy. Impulsy te przebywały odległość do odległego lustra i z powrotem. Prędkość obrotu koła była tak dobrana, aby powracające światło było blokowane przez kolejny ząb. Znając prędkość obrotową koła, liczbę zębów i odległość, Fizeau wyznaczył prędkość światła na  $3,15 \cdot 10^8$  m/s.
- **Metoda wirującego zwierciadła Foucaulta (1862):** Jean Foucault udoskonalił metodę Fizeau, zastępując koło zębate wirującym lustrem, co pozwoliło na dokładniejszy pomiar. Jego wynik wyniósł ( $2,98 \cdot 10^8$  m/s) i różni się tylko o 0,6% od dzisiejszej wartości (Ling et al., 2018)

## Zasada działania oscyloskopu

Oscyloskop to przyrząd pomiarowy służący do obserwacji i analizy sygnałów elektrycznych w funkcji czasu. Posiada ekran, na którym wyświetlany jest wykres sygnału.

- **Oś pozioma (X)** reprezentuje **czas**. Plamka świetlna przesuwa się po niej ze stałą, regulowaną prędkością, tworząc podstawę czasu. Ustawienie podstawy czasu (pokrętło B w instrukcji) pozwala na "rozciąganie" lub "ściskanie" obserwowanego przebiegu w osi czasu.
- **Oś pionowa (Y)** reprezentuje **napięcie (amplitudę)** sygnału wejściowego. Badany sygnał powoduje odchylenie plamki w pionie, proporcjonalne do jego chwilowej wartości. Czulość (pokrętło A w instrukcji) reguluje wzmocnienie sygnału w osi pionowej.

W rezultacie na ekranie powstaje obraz zależności napięcia sygnału od czasu. W tym ćwiczeniu oscyloskop jest używany do pomiaru przesunięcia czasowego ( $\Delta t$ ) między dwoma impulsami świetlnymi.

## Literatura

Ling, S. J., Sanny, J., and Moebs, W. (2018). *Fizyka dla szkół wyższych, Tom 3*. OpenStax.  
Dostęp: 13.10.2025.