

## Ćwiczenie Nr 452

Temat: **Pomiar prędkości światła w powietrzu i cieczy**

### I. Literatura:

1. I. Kruk, J. Typek, „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki” Część II, Wydawnictwo Uczelniane P.S., Szczecin 2007.
2. I.W. Sawieliew, „Wykłady z fizyki”, T.2, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.
3. D. Hallyday, R. Resnick, „Fizyka”, T.2, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.
4. J. Rydzewski „Pomiary oscyloskopowe”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1994.

### II. Tematy teoretyczne:

1. Fala elektromagnetyczna: równanie fali, prędkość fazowa, prędkość grupowa, zależności pomiędzy długością, a prędkością i okresem (częstotliwością) fali.
2. Odbicie i załamanie światła, całkowite wewnętrzne odbicie. Współczynnik załamania światła. Krzywe Lissajous.

#### 3. Układ pomiarowy:

Kompletny zestaw do pomiaru prędkości światła obejmuje następujące podzespoły: oscyloskop, przyrząd do pomiaru prędkości światła, soczewki płasko-wypukłe (2 szt.), zwierciadło podwójnie odbijające, kuweta rurowa, ława optyczna.

#### 4. Metoda pomiaru:

Metodą krzywych Lissajous porównywane są fazy sygnału modulującego świecenie diody elektroluminescencyjnej (ozn.  $D_1$  rys.1) oraz fazy sygnału pochodzącego z fotodetektora (ozn.  $D_2$  rys.1). Obserwując na oscyloskopie kształt i orientację figur Lissajous można stwierdzić, że podczas wydłużania drogi przebytej przez światło, przesunięcie fazy sygnału z fotodetektora w stosunku do fazy sygnału modulującego świecenie osiąga w pewnym momencie wartość  $180^\circ$ . Dla przesunięcia fazowego  $0$  i  $180^\circ$  na oscyloskopie obserwowana elipsa przechodzi w nachyloną linię prostą.

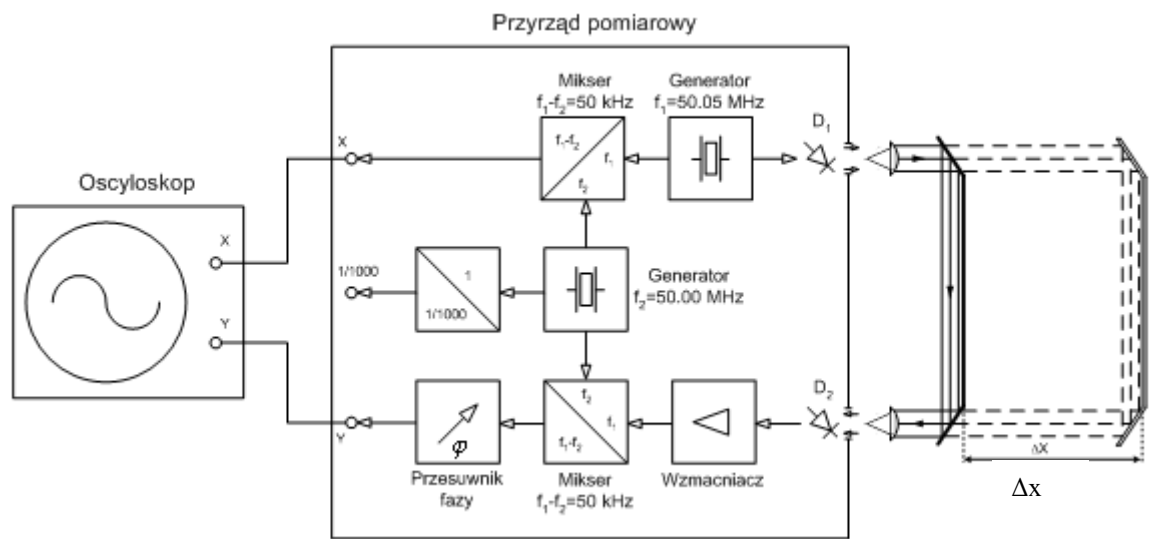
Wyznaczając położenie zwierciadeł  $x_1$ , dla którego przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem modulującym świecenie diody i sygnałem odebrany wynosi  $0$  oraz położenie  $x_2$ , dla którego przesunięcie fazowe jest równe  $180^\circ$ , można na podstawie różnicy tych dróg  $\Delta x = |x_1 - x_2|$  i znanej wartości częstotliwości modulacji obliczyć prędkość rozchodzenia się światła. Droga, jaką przebiega światło wynosi  $l = 2\Delta x$  (rys.1). Czas pokonania tego odcinka  $t = T/2 = 1/2f$ , więc prędkość światła rozchodzącego się w powietrzu ( $c_p$ ) wynika z następującej zależności:

$$c_p = \frac{l}{t} = \frac{2\Delta x}{1/(2f)} = 4f\Delta x \quad (1)$$

## 5. Wykonanie ćwiczenia:

### Pomiar prędkości światła w powietrzu

- 1) Sprawdzić, czy układ połączony jest według schematu (rys. 1).



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego

- 2) Włączyć przyrząd pomiarowy i oscyloskop do sieci.
- 3) Sprawdzić, czy układ jest wyjustowany. W tym celu usunąć rurę z wodą (ustawić ją z boku ławy optycznej na podpórkach) i przesunąć zwierciadła na koniec ławy optycznej. Na ekranie powinna być widoczna wyraźna elipsa lub inna krzywa Lissajous, której kształt daje się regulować za pomocą pokrętki zmiany fazy na przyrządzie pomiarowym, a wielkość pokrętkami oznaczonymi **VOLTS/DIV** na oscyloskopie. Jeśli opisanego obrazu nie da się uzyskać poprosić prowadzącego o pomoc w wyjustowaniu przyrządu.

### **Nie zmieniać samodzielnie położenia soczewek na ławie optycznej.**

- 4) Ustawić zwierciadła na początku ławy w położeniu  $x_1$ . Położenie to nie powinno przekraczać odległości 5 cm od początku ławy. Za pomocą pokrętki „Faza” należy otrzymać na oscyloskopie linię prostą. W razie konieczności dobrać wzmocnienie oscyloskopu (pokrętki VOLTS/DIV) tak, aby linia była pochylona pod kątem ok.  $45^\circ$ , a jej długość była porównywalna z przekątną ekranu.
- 5) Przesunąć zwierciadła wzdłuż ławy optycznej do położenia  $x_2$ , dla którego na ekranie oscyloskopu ponownie pojawi się linia prosta, ale nachylona w kierunku przeciwnym (przesunięcie fazowe wynosi teraz  $180^\circ$  lub  $0^\circ$ ). W razie konieczności ponownie dobrać właściwe wzmocnienie oscyloskopu.
- 6) Czynności pomiarowe z punktów 4-5 powtórzyć 10 razy, ustawiając za każdym razem to samo położenie początkowe  $x_1$ . Wyniki pomiarów zapisać w tabeli pomiarowej 1:

Tabela 1.

Lp.	$x_1$ [m]	$u(\bar{x}_1)$	$x_2$ [m]	$\bar{x}_2$ [m]	$u(\bar{x}_2)$	$\Delta\bar{x} =  x_1 - \bar{x}_2 $	$u(\Delta\bar{x})$ [m]	$c_p$ [m/s]	$u(c_p)$ [m/s]
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

7) Obliczenie prędkości światła w powietrzu.

Obliczyć:

- wartość średnią położenia zwierciadła  $\bar{x}_2$ ,
- prędkość światła w powietrzu  $c_p$  (wzór 1).

Częstotliwość modulacji  $f = (50.05 \pm 0.01) \text{MHz}$ .

Wyniki obliczeń zapisać w tabeli 1.

#### **Pomiar prędkości światła w cieczy**

- Umieścić napełnioną cieczą rurową kuletę na ławie optycznej tak, aby przechodził przez nią promień świetlny padający lub powrotny.
- Zwierciadło odbijające należy ustawić tuż za kuletą i uzyskać maksymalną amplitudę na ekranie oscyloskopu.
- Za pomocą pokrętki „Faza” uzyskać na ekranie prostą nachyloną pod kątem ok.  $45^\circ$  do poziomu.
- Zdjąć kuletę i oddalać zwierciadło od przyrządu tak, by ponownie powstała prosta o identycznym nachyleniu. To odpowiadające położenie zwierciadła jest określane jako  $x_2$ .

Ponieważ przesunięcie fazowe między sygnałem nadajnika a odbiornika dla obu położen zwierciadła było identyczne, w obu przypadkach światło potrzebowało identycznego czasu  $t_1$ .

- Czynności pomiarowe z punktów 3-6 powtórzyć 10 razy, a wyniki pomiarów zapisać w tabeli pomiarowej 2:

Tabela 2.

Lp.	$x_1$ [m]	$\bar{x}_1$ [m]	$u(\bar{x}_1)$	$x_2$ [m]	$\bar{x}_2$ [m]	$u(\bar{x}_2)$	$\Delta\bar{x} =  \bar{x}_1 - \bar{x}_2 $ [m]	$u(\Delta\bar{x})$	$c_c$ [m/s]	$u(c_c)$ [m/s]
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Długość kuwety z cieczą wynosi  $l_0 = (1,00 \pm 0,01) m$

6) Obliczenie prędkości światła w cieczy.

Obliczyć:

- wartości średnie położenia zwierciadła  $\bar{x}_1$  i  $\bar{x}_2$  oraz  $\Delta\bar{x}$ ;
- prędkość światła  $c_c$  w cieczy na podstawie danych z tabeli 2 oraz wzoru (2):

$$c_c = \frac{l_0 \cdot c_p}{2\Delta\bar{x} + l_0} \quad (2)$$

gdzie:  $c_c$  - prędkość światła w przezroczystej cieczy,

$c_p$  - prędkością światła w powietrzu,

$l_0$  - długość kuwety z badaną cieczą

$\Delta\bar{x} = |\bar{x}_1 - \bar{x}_2|$  - różnica położenia zwierciadeł dla powietrza ( $\bar{x}_1$ ) i cieczy ( $\bar{x}_2$ ),

. Wyniki obliczeń zapisać w tabeli 2.

7) Oblicz niepewności standardowe pomiarów bezpośrednich oraz niepewności standardowe bezwzględne i względne pomiarów pośrednich wyznaczonych prędkości.

Wzory do obliczenia niepewności:  $u(f) = 0,01 MHz = 10^4 Hz$

$$u(\bar{x}_1) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x}_1)^2}{n(n-1)}}; \quad u(\bar{x}_2) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x}_2)^2}{n(n-1)}}; \quad u(\Delta\bar{x}) = \sqrt{u^2(\bar{x}_1) + u^2(\bar{x}_2)}$$

$$u(c_p) = c_p \cdot \sqrt{\left[\frac{u(f)}{f}\right]^2 + \left[\frac{u(\Delta\bar{x})}{\Delta\bar{x}}\right]^2}$$

$$u(c_c) = \frac{c_c}{2\Delta\bar{x} + l_0} \cdot \sqrt{4\left(\frac{\Delta\bar{x}}{l_0}\right)^2 \cdot u^2(l_0) + 4u^2(\Delta\bar{x}) + \frac{(2\Delta\bar{x} + l_0)^2}{c_p^2} \cdot u^2(c_p)}$$

8) We wnioskach dokonaj interpretacji uzyskanych wyników pomiarów, porównaj z danymi teoretycznymi.