

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° . Dla przesunięcia fazowego 0 i 180° na oscyloskopie obserwowana elipsa przechodzi w nachyloną linię prostą.

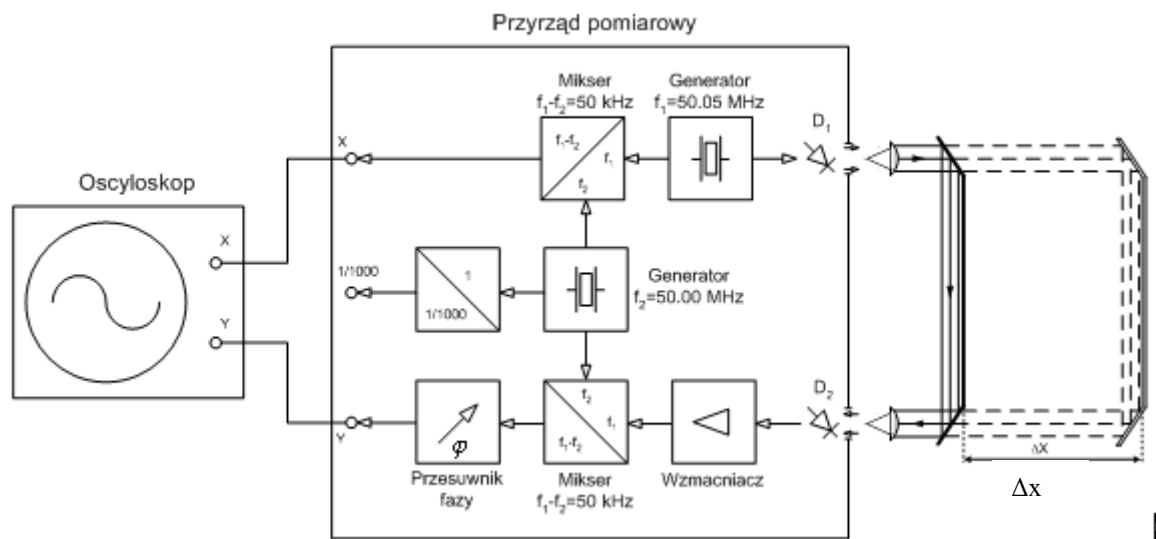
Wyznaczając położenie zwierciadeł x_1 , dla którego przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem modulującym świecenie diody i sygnałem odebrany wynosi 0 oraz położenie x_2 , dla którego przesunięcie fazowe jest równe 180° , można na podstawie różnicy tych dróg $\Delta x = |x_1 - x_2|$ i znanej wartości częstotliwości 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) Dla zwierciadła ustawionego w położeniu x_1 , 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° , 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 o kierunku znaku nachylenia (przesunięcie fazowe wynosi teraz 180° lub 0°). W razie konieczności ponownie dobrać właściwe wzmocnienie oscyloskopu.
- 6) Czynności pomiarowe z punktów 4-5 powtórzyć 10 razy, a wyniki pomiarów zapisać w tabeli pomiarowej 1:

Tabela 1.

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 $	$u(\Delta\bar{x})$ [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:

- wartości średnie położenia zwierciadła \bar{x}_1 i \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° 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 położenia 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.