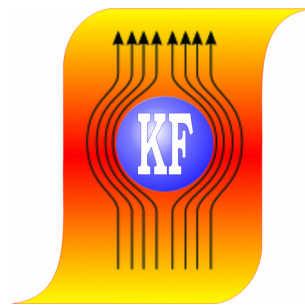
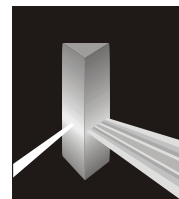


***KATEDRA FIZYKI***  
***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI  
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW***  
***POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



***PRACOWNIA OPTYKI***



***ĆWICZENIE NR 0-10***

***POMIAR PRĘDKOŚCI ŚWIATŁA***

## **I. Zagadnienia do opracowania**

1. Metody pomiaru prędkości światła.
2. Bezwzględny i względny współczynnik załamania.
3. Dodawanie drgań wzajemnie prostopadłych. Krzywe Lissajous.
4. Metoda pomiaru prędkości światła w niniejszym ćwiczeniu.

## **II. Wprowadzenie teoretyczne**

### Zasada pomiaru

Prędkość rozchodzenia się światła w próżni w swobodnej przestrzeni jest jedną z podstawowych stałych fizycznych. Na podstawie obecnych danych prędkość światła w próżni wynosi  $c=299\,792\,458 \pm 1$  m/s. Znaczenie prędkości światła jako stałej fizycznej jest związane z jej niezmienniczością przy zmianie układu odniesienia oraz z tym, że prędkość światła w próżni jest maksymalną prędkością rozprzestrzeniania się oddziaływań fizycznych (teoria względności).

Metody pomiaru prędkości światła można podzielić na dwie grupy: bezpośrednie i pośrednie. Do metod bezpośrednich można historycznie zaliczyć metodę Rommera (pomiar prędkości światła z opóźnienia zaćmień księżyców Jowisza, rok ( 1676 r. ), metodę Fizeau (1849 r.) modulacji światła kołem zębatym, metodę Michelsona (1924 r.) z wirującymi zwierciadłami.

Większość bezpośrednich pomiarów przeprowadzano następująco: w odpowiedni sposób wytworzono krótki impuls świetlny. Impuls ten przebiegał po pewnej drodze  $l$  i odbijał się od zwierciadła, powracał po tej samej drodze i docierał do obserwatora. Odpowiedni układ mierzył czas przebiegu światła na drodze  $2l$ . Prędkość światła była obliczona ze wzoru:

$$c = \frac{2l}{t}$$

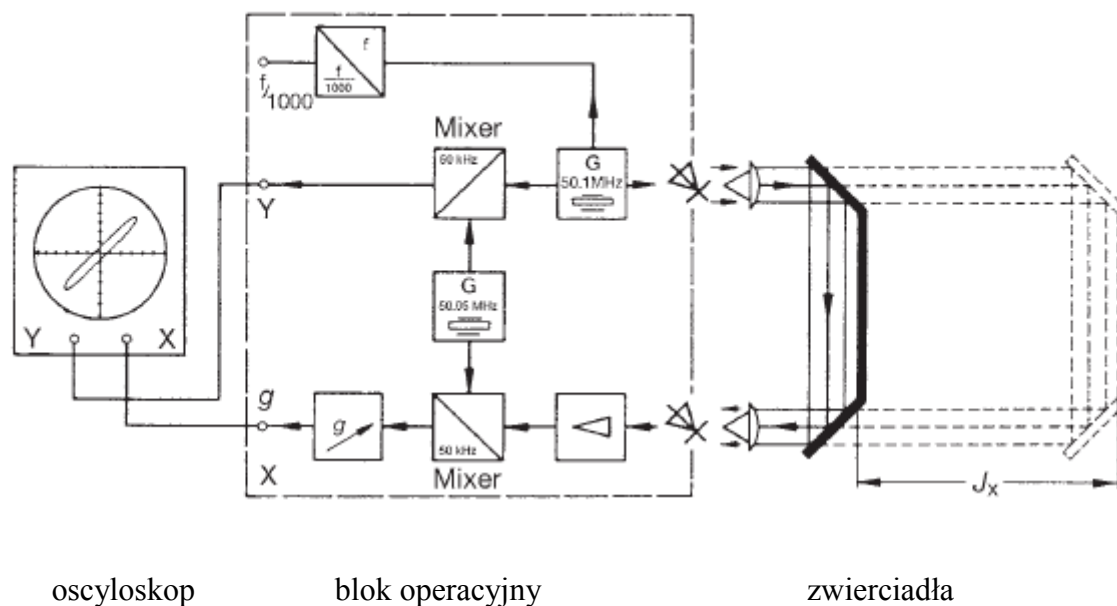
Krótki impuls świetlny wytworzony był przez koło zębate u Fizeau, wirujące zwierciadła (Michelson) albo komórkę Kerra (wykorzystano tu zmianę płaszczyzny polaryzacji roztworu przez przyłożone pole elektryczne, a w zależności od płaszczyzny polaryzacji światło jest przepuszczane lub nie). Pomiar czasu przeprowadzamy przez pomiar odpowiednio dobranej prędkości kątowej koła zębatego (lub zwierciadeł) tak, aby światło powracające napotkało na następną przerwę między zębami. Metody te opisane są w podręcznikach akademickich jak również w podręczniku fizyki dla III klasy szkoły średniej.

Do pośrednich metod pomiarowych prędkości światła należy najdokładniejszy sposób polegający na wyznaczeniu długości stojących fal mikrofalowych  $\lambda$  oraz ich częstości  $\nu$  w rezonatorze wnąkowym o dokładnie znanych wymiarach [Stankowski]. Prędkość światła jest obliczana ze wzoru

$$c = \lambda \nu$$

Metoda pomiaru prędkości światła wykorzystana w niniejszym ćwiczeniu należy do metod bezpośrednich. Zasadniczą częścią układu jest blok operacyjny. Źródłem światła (o barwie czerwonej) jest półprzewodnikowa dioda elektroluminescencyjna , (rys. 1). Częstotliwość światła widzialnego wynosi  $3,7 \cdot 10^{14} \sim 7,6 \cdot 10^{14}$  Hz. W bloku operacyjnym umieszczony jest generator (G) stabilizowany kwarcem wytwarzający drgania elektryczne o częstości  $f_m \approx 50,1$  MHz. W odpowiednim urządzeniu

zwanym mikserem drgania elektryczne o częstotliwości  $f_1 \approx 10^{14}$  Hz oraz drgania elektryczne z generatora o częstotliwości drgań  $f_m \approx 50,1 \cdot 10^6$  Hz zostają dodane w wyniku czego otrzymuje się tzw. **falę świetlną zmodulowaną amplitudowo**.



Rys. 1

Tak otrzymana fala ma nadal częstotliwość  $f_1 \approx 10^{14}$  Hz, ale jej amplituda zmienia się z częstotliwością  $f_m \approx 50,1 \cdot 10^6$  Hz.

### III. Zestaw pomiarowy

Ława wyposażona w przemiernik, zwierciadła, soczewki, oscyloskop, blok operacyjny.

### IV. Przebieg ćwiczenia

#### Pomiar prędkości światła w powietrzu

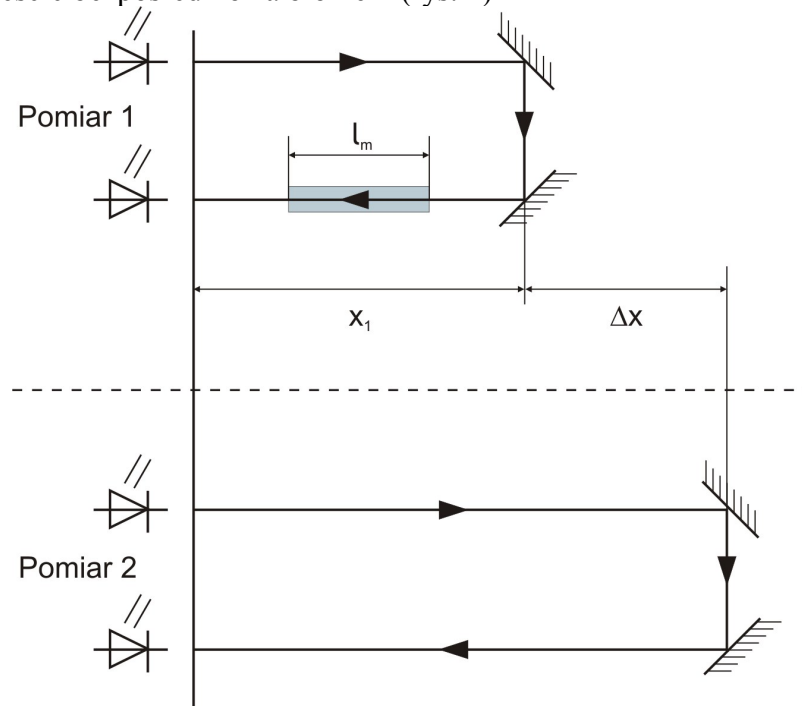
Przed przystąpieniem do wykonywania pomiarów należy dokładnie zapoznać się z treścią całej instrukcji.

1. Sprawdzić prawidłowość połączenia oscyloskopu z blokiem operacyjnym.
2. Ustawić soczewki w odległości ogniskowej (ok. 3,7 cm) od świecącej diody (A) i fotodiody (B).  
Takie ustawienie soczewek zapewnia równoległość wiązki światła.
3. Zwierciadło ustawić blisko bloku operacyjnego (np. w punkcie zero na skali odległości).
4. Przełączniki na płycie czołowej oscyloskopu powinny być ustawione w pozycji:
  - a) Mode: [XY]
  - b) Variable (wzmocnienie): CH 1 (kanał X) – 0,1 V/dz, [DC]  
CH 2 (kanał Y) – 50 mV/dz, [DC]
  - c) Position – ustawienie obrazu w centrum ekranu,
  - d) Focus – regulacja ostrości obrazu,
  - e) regulacja jasności obrazu.

5. Włączyć zasilanie oscyloskopu (Power) oraz bloku operacyjnego. Po kilku sekundach na ekranie oscyloskopu powinna być widoczna elipsa (wynik dodawania dwóch drgań wzajemnie prostopadłych).
6. Zmienić delikatnie położenie soczewek (S) oraz kąt ustawienia luster (przy pomocy śrub (R) podtrzymujących lustra) tak, aby na ekranie oscyloskopu otrzymać elipsę o maksymalnej wysokości. Wysokość elipsy zależy od strumienia światła powracającego po odbiciu od zwierciadeł i padającego na fotodiode B.
7. Pokrętle „Phase” na bloku operacyjnym zmienić fazę padającego światła tak, aby na ekranie otrzymać prostą (przesunięcie fazowe wynosi wówczas  $\phi_1=0$  lub  $\pi$ ).
8. Zanotować położenie  $x_1$  zwierciadeł na skali.
9. Odsuwać zwierciadła w kierunku końca skali (korygując delikatnie ustawienie soczewek i kąt pochylenia zwierciadeł) tak, aby na ekranie otrzymać wynik dodawania drgań prostopadłych przesuniętych o  $\pi$  radianów w stosunku do  $\phi_1$  (pkt. 7). Na ekranie widoczna jest wówczas prosta o nachyleniu różniącym się o  $90^\circ$  w stosunku do nachylenia prostej w punkcie 7.
10. Zanotować położenie  $x_2$  zwierciadeł na skali i określić przesunięcie zwierciadeł  $\Delta x = x_2 - x_1$ .
11. Pomiary według punktów 7÷10 powtórzyć trzykrotnie.
12. Wyniki zamieścić w tabeli 1.

### **Pomiar prędkości światła w wodzie i szkle**

Na drodze promieni świetlnych umieścić blok ze szkła (jest to blok ze szkła organicznego, tzw. pleksi) [lub rurę wypełnioną wodą] tak, aby jego ściny boczne były prostopadłe do osi optycznej układu. Zwierciadła umieścić bezpośrednio za blokiem (rys. 2)



**Rys. 2. Schemat pomiaru prędkości światła w wodzie i w szkle**

1. Delikatnie zmienić ustawienie zwierciadeł (i soczewek) aby otrzymać elipsę lub prostą o maksymalnej wysokości w kierunku osi Y.
2. Pokrętem „Phase” elipsę przekształcić w prostą. Zanotować w tabeli II położenie zwierciadła  $x_1$ .
3. Usunąć szklany blok (rurę z wodą) i odsunąć zwierciadła od bloku operacyjnego tak, aby na ekranie oscyloskopu znowu otrzymać prostą (nie zmieniając ustawienia pokrętła „Phase”). Zanotować w tabeli położenie zwierciadeł  $x_2$ .
4. Odczytać różnicę położenia  $\Delta x = x_2 - x_1$ .
5. Pomiar według punktów 2÷4 powtórzyć trzykrotnie.
6. Wyniki zamieścić w tabeli 2.

## V. Tabele pomiarowe

**Tabela 1**

L.p.	Położenie zwierciadeł			Prędkość światła $c$ [m/s]
	$\phi=0$ $x_1$ [m]	$\phi=\pi$ $x_2$ [m]	$\Delta x$ [m]	

Długość bloku szklanego  $l_m=0,4$  m

Długość rury z wodą  $l_m=1$  m.

**Tabela 2**

L.p.	Rodzaj ośrodka	Położenie zwierciadeł			Prędkość światła [m/s]	Współczynnik załamania $n$
		$x_1$ [m]	$x_2$ [m]	$\Delta x$ [m]		

**Uwaga:** Uzyskanie obrazu elipsy gdy zwierciadła znajdują się blisko soczewek [zgodnie z punktem II.(3-6)] jest stosunkowo łatwe. Odsuwając zwierciadła w kierunku końca skali można jednak zgubić obraz elipsy. Bardziej praktycznym (ale nieco trudniejszym) sposobem jest znalezienie obrazu elipsy dla zwierciadeł umieszczonych na końcu skali. Przesuwając następnie zwierciadła na początek skali nie gubimy obrazu elipsy na ekranie oscyloskopu.

## VI. Opracowanie wyników

1. Wyznaczyć prędkość światła w powietrzu korzystając ze wzoru

$$c = 4f\Delta x, \text{ gdzie } f=50,1 \text{ MHz.}$$

2. Obliczyć prędkość światła w wodzie i szkłe ze wzoru:

$$v_m = \frac{l_m c}{2\Delta x + l_m}$$

gdzie  $c$ - obliczona prędkość światła w powietrzu.

3. Obliczyć bezwzględne współczynniki załamania światła w szkłe i w wodzie.
4. Obliczyć względny współczynnik załamania szkła organicznego względem wody.

## ***VII. Rachunek błędu***

1. Przeprowadzić rachunek błędu wyznaczonych wielkości metodą różniczki zupełnej.
2. Obliczyć błędy względne.

## ***VIII. Literatura***

1. T. Dryński – Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki
2. Zawadzki, H. Hofmokl – Laboratorium fizyczne
3. H. Szydłowski – Pracownia fizyczna
4. Sz. Szczeniowski – Fizyka doświadczalna, cz. IV, Optyka
5. A. Piekara – Nowe oblicze optyki
6. J. Lech – Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Częstochowa 2005r.