

## Temat: Pomiar współczynnika załamania światła w gazie za pomocą interferometru Michelsona

### 1. Literatura:

- a) D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki 4, PWN, W-wa
- b) I. W. Sawieliew – Wykłady z fizyki 2, elektryczność i magnetyzm, fale, optyka, PWN, W-wa
- c) Czesław Bobrowski, Fizyka - krótki kurs, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne
- d) Juliusz Sielanko, Marek Sowa – Ćwiczenia eksperymentalne z fizyki, optyka i fizyka współczesna, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin
- d) Instrukcja obsługi mikrometru: <http://labor.zut.edu.pl/INSTRUKCJE/Mikrometr.pdf>

### 2. Tematy teoretyczne:

1. Fale elektromagnetyczne: długość fali, prędkość światła w różnych ośrodkach, współczynnik załamania światła.
2. Droga optyczna, fale spójne (koherentne), interferencja światła, interferometr Michelsona.

### 3. Metoda pomiarowa:

Promień lasera skierowany na płytkę płaskorównoległą jest rozdzielany na dwa spójne promienie. Jeden z tych promieni przechodzi przez kuwetę z gazem. Oba promienie po odbiciu od zwierciadeł spotykają się ponownie wytwarzając obraz interferencyjny taki jak na rysunku 3. Zmieniając ciśnienie gazu w kувecie zmieniamy współczynnik załamania gazu w kувecie, a więc i drogę optyczną jednego z promieni. Prowadzi to do zmiany obrazu interferencyjnego (znikanie lub pojawianie się prążków interferencyjnych). Wyznaczając zależność współczynnika załamania gazu od ciśnienia ograniczymy się do pierwszego wyrazu rozwinięcia funkcji  $n(p)$  w szereg Taylora (wyrazy wyższego rzędu są zanedbywalnie małe), dzięki czemu uzyskamy liniową zależność współczynnika załamania od ciśnienia:

$$n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} \cdot p$$

Droga optyczna  $d$  każdego z promieni zależy od przebytej drogi  $l$  i współczynnika załamania, czyli  $d = l \cdot n$ . Tak więc zmianie współczynnika załamania o  $\Delta n$  odpowiada zmiana drogi optycznej  $\Delta d = l \cdot \Delta n$ . Ponieważ kolejne prążki interferencyjne powstają wtedy, gdy różnice dróg optycznych obu promieni są wielokrotnością długości fali  $\lambda$  to można zapisać, że  $\Delta d = \lambda \cdot \Delta N$ , gdzie  $\Delta N$  oznacza liczbę prążków, które zanikają w czasie odpompowywania powietrza z kувety. Uwzględniając fakt, że jeden z promieni przechodzi dwukrotnie przez kувetę o grubości  $L$  otrzymujemy zależność:  $\Delta n = \frac{\Delta d}{l} = \frac{\lambda \cdot \Delta N}{2 \cdot L}$ . Ostatecznie więc

otrzymujemy zależność:

$$n(p) = 1 + \underbrace{\frac{\Delta N}{\Delta p}}_a \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot L} \cdot p = 1 + a \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot L} \cdot p$$

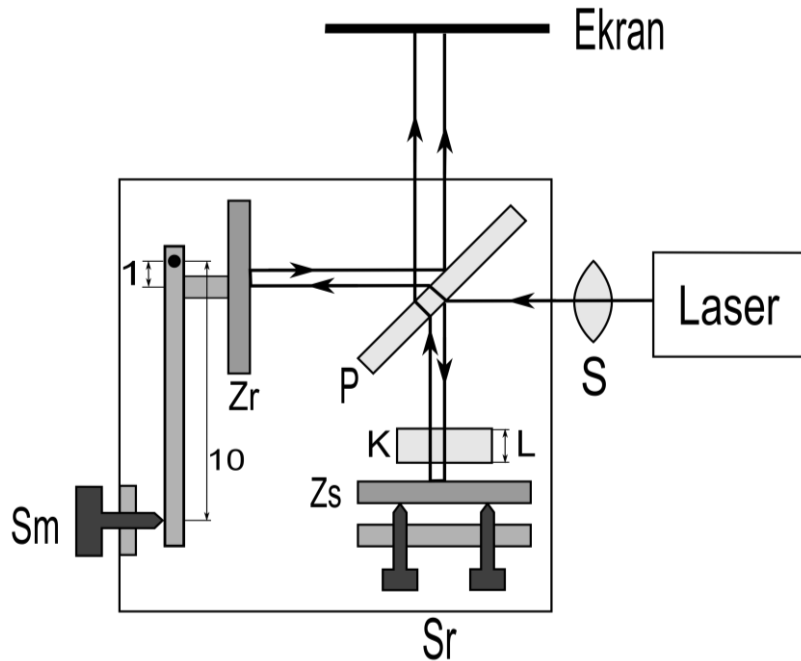
Literką  $a$  oznaczono tu współczynnik kierunkowy prostej  $N = f(p)$ , którą wykreślamy wykonując ćwiczenie.

W czasie ćwiczenia mierzymy liczbę  $N$  zanikających prążków i ciśnienie  $p$ . Długość fali  $\lambda$  oraz grubość kувety  $L$  są dane.

#### 4. Zestaw przyrządów:

Laser ze statywem, soczewka ze statywem, interferometr ze statywem i kuwetą, plastikowe rurki, ręczna pompka podciśnieniowa, butla z zaworem wypełniona dwutlenkiem węgla, ława optyczna, ekran, kluczyk do włączenia lasera (wypożyczyć w pok.619 pod zastaw legitymacji)

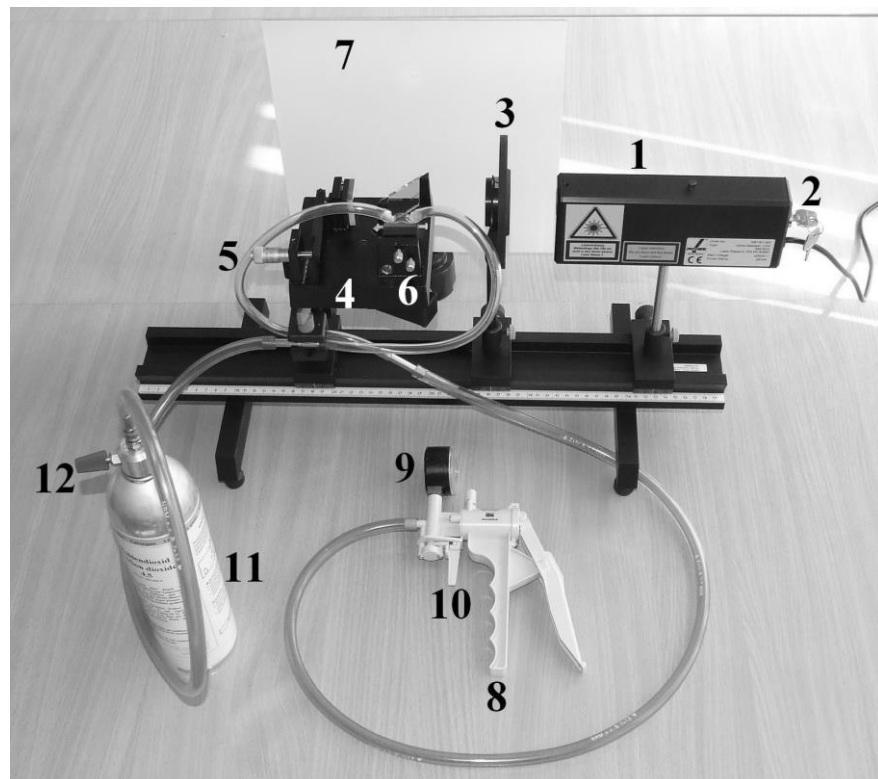
#### 5. Czynności pomiarowe



Rys.1. Schemat układu do pomiaru współczynnika załamania światła w gazach  
S- soczewka, P- płytka półprzepuszczalna, K- kuweta, Zr- zwierciadło ruchome, Zs- zwierciadło stałe, Sm- śruba mikrometryczna, Sr- pokrętła regulacyjne.

Rys.2. Widok stanowiska pomiarowego

1- laser, 2- włącznik lasera- kluczyk, 3- soczewka, 4- interferometr, 5- śruba mikrometryczna, 6- pokrętła regulacyjne, 7- ekran, 8- pompka podciśnieniowa ręczna, 9- manometr pompki, 10- zawór pompki, 11- butla z dwutlenkiem węgla, 12- zawór butli

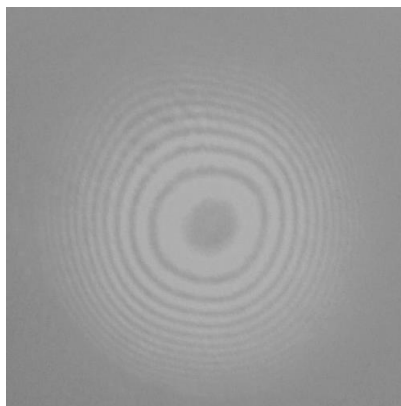


#### Wykonanie ćwiczenia

**UWAGI:** Nigdy nie należy kierować wiązki światła z lasera bezpośrednio do oczu ! Nie dotykać powierzchni zwierciadeł Z<sub>S</sub> i Z<sub>R</sub> , kuwety K oraz płytki półprzepuszczalnej P ! Nie zmieniać położenia i ustawienia lasera oraz soczewki gdyż zmiany te mogą spowodować potrzebę korekty ustawienia ich na wspólnej osi co jest czasochłonne i znacznie wydłuży czas wykonania ćwiczenia

## Przygotowanie stanowiska do pracy

1. Delikatnie podnieść szarą pokrywę ochronną interferometru.
2. Sprawdzić i ewentualnie ustawić ekran we właściwym miejscu (porównać ze schematem interferometru) i włączyć laser.
3. Ustawić interferometr tak aby na ekranie otrzymać koncentryczne prążki interferencyjne (w przypadku gdy jest rozstrojony poprosić prowadzącego o pomoc).



Rys. 3. Widok prążków interferencyjnych

## Pomiar współczynnika załamania światła dla powietrza

1. Za pomocą zaworu przy pompce należy ustawić w kuwecie ciśnienie atmosferyczne (manometr wskaże zero).
2. Śrubą mikrometryczną ustawić stan w którym centrum prążków interferencyjnych jest ciemnym polem.
3. Powoli wypompowywać powietrze z kuwety za pomocą ręcznej pompki jednocześnie zapisując wysokość ciśnienia, przy którym centrum prążków stało się znowu ciemnym polem (tzn. zniknął kolejny centralny prążek). Należy wypompowywać powietrze i jednocześnie zapisywać przy jakich ciśnieniach znikają kolejne prążki. Wypompowywanie można skończyć, gdy ciśnienie osiągnie wartość około 200 do 150 mbar, manometr wskaże, że ciśnienie w kuwecie jest od -800 do -850 mbar niższe niż ciśnienie atmosferyczne.
4. Wyniki zapisać w tabeli.

Numer prążka interferencyjnego	Ciśnienie [mbar] [1 mbar = 100 Pa]					Średnia
	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	
0	0	0	0	0	0	0
-1						
-2						
-3						
-4						
-5						

5. Wyrównać ciśnienie w kuwecie (do atmosferycznego) za pomocą zaworu przy pompce.
6. Pięciokrotnie powtórzyć czynności opisane w punktach od 2 do 5.
7. Obliczyć wartości średnie ciśnienia dla każdego prążka.
8. Wykreślić zależność  $N = f(p)$  czyli numeru prążka interferencyjnego, który znika w centrum obrazu interferencyjnego w wyniku zmiany ciśnienia, w funkcji ciśnienia.

9. Przy pomocy regresji liniowej wyznaczyć współczynnik nachylenia prostej  $a$ , który jest równy  $a = \frac{\Delta N}{\Delta p}$  i obliczyć współczynnik załamania światła powietrza przy ciśnieniu atmosferycznym.  $L = 10 \text{ mm}$ ,  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$

### Pomiar współczynnika załamania światła dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>)

1. Za pomocą zaworu przy pompce należy ustalić w kuwecie ciśnienie równe atmosferycznemu (manometr wskazuje zero).
2. Należy wypompować powietrze z układu - za pomocą ręcznej pompki - do wartości minimalnej ciśnienia około 200 do 150 mbar, co odpowiada -800 do -850 mbar na manometrze.
3. **Powoli napelnić kuwetę gazem (CO<sub>2</sub>)** z butli, jednocześnie kontrolując ciśnienie w układzie za pomocą manometru przy pompce. Gdy ciśnienie w układzie zrówna się z ciśnieniem atmosferycznym, zamknąć dopływ gazu ponieważ **zwiększone ciśnienie może uszkodzić kuwetę** (w przypadku przekroczenia ciśnienia atmosferycznego powinien zadziałać zawór bezpieczeństwa w pompce).
4. Wypompować mieszaninę gazów (około 15% powietrza i około 85% CO<sub>2</sub>) z układu do momentu aż ciśnienie osiągnie wartość około 150 mbar, co odpowiada na manometrze -850 mbar.
5. Ponownie wypełnić gazem (CO<sub>2</sub>) układ aż do uzyskania ciśnienia atmosferycznego ( na tym etapie w układzie CO<sub>2</sub> stanowi ponad 95% mieszaniny ).
6. Śrubą mikrometryczną ustawić takie położenie w którym centrum prążków interferencyjnych jest ciemnym polem.
7. Powoli wypompowywać gaz z kuwety, jednocześnie zapisując wartość ciśnienia, przy którym centrum prążków stało się znowu ciemnym polem (tzn. zniknął kolejny centralny prążek). Wypompowywać gaz z kuwety i jednocześnie zapisywać przy jakim ciśnieniu znikają kolejne prążki. Wypompowywanie można skończyć, gdy ciśnienie osiągnie wartość około 200 do 150 mbar, co odpowiada -800 do -850 mbar na manometrze.

8. Wyniki zapisać w tabeli:

Numer prążka interferencyjnego	Ciśnienie [mbar] [1 mbar = 100 Pa]					
	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Średnia
0	0	0	0	0	0	0
-1						
-2						
-3						
-4						
-5						
-6						
-7						
-8						

9. Ponownie wypełnić gazem (CO<sub>2</sub>) układ do uzyskania ciśnienia atmosferycznego (na tym etapie CO<sub>2</sub> stanowi ponad 99% mieszaniny).
10. Powtórzyć czynności od 6 do 9 pięciokrotnie, lecz za ostatnim razem w punkcie 9 wyrównać ciśnienie, otwierając zawór przy pompce.
11. Wypompować mieszaninę gazów z kuwety aż do uzyskania ciśnienia około 200 do 150 mbar, aby usunąć pozostałości dwutlenku węgla.
12. Wyrównać ciśnienie, otwierając zawór przy pompce i wyłączyć laser.
13. Delikatnie nałożyć szarą pokrywę ochronną interferometru.
14. Obliczyć wartości średnie ciśnienia dla każdego prążka.
15. Wykreślić zależność numeru prążka interferencyjnego, który znika w centrum obrazu interferencyjnego w wyniku zmiany ciśnienia, w funkcji ciśnienia  $N = f(p)$ .
16. Przy pomocy regresji liniowej wyznaczyć współczynnik nachylenia prostej  $a$ , który jest równy  $a = \frac{\Delta N}{\Delta p}$  i obliczyć współczynnik załamania światła w dwutlenku węgla przy ciśnieniu atmosferycznym.

### 6. Ocena niepewności pomiarowych,

Obliczyć niepewność wartości wyznaczonych współczynników załamania światła badanych gazów, uwzględniając niepewność pomiarów współczynnika kierunkowego prostej  $a = \frac{\Delta N}{\Delta p}$ , wyznaczonego z regresji liniowej

Uwzględnić niepewności pomiarów pośrednich, gdyż współczynnik załamania światła wyznaczony został z zależności, a nie z pomiarów bezpośrednich.

$$n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} \cdot p = 1 + \underbrace{\frac{\Delta N}{\Delta p}}_a \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot L} \cdot p = 1 + a \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot L} \cdot p$$

$$\frac{\partial n(p)}{\partial a} = \frac{\lambda}{2 \cdot L} \cdot p$$

$$u_c(n) = \sqrt{\left[ \frac{\partial n(p)}{\partial a} \right]^2 \cdot u^2(a)} = \left| \frac{\partial n(p)}{\partial a} \right| \cdot |u(a)|$$