

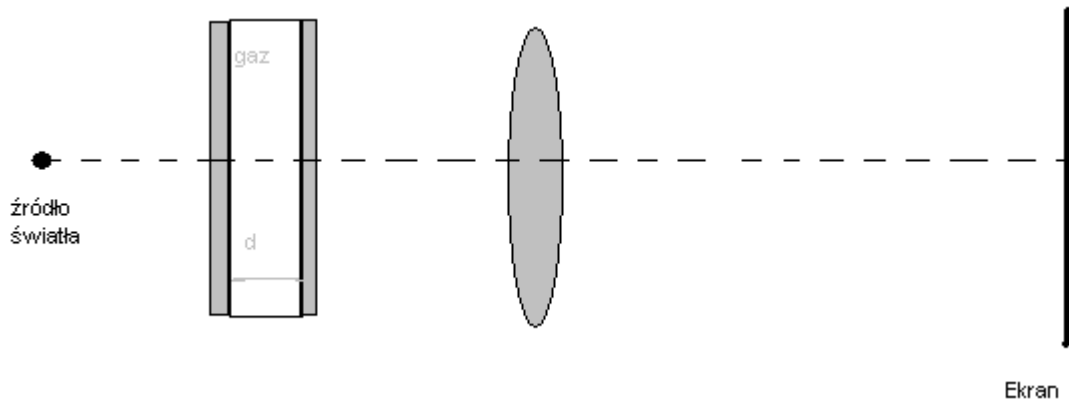
XLIV OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP III

Zadanie teoretyczne

ZADANIE T3

Nazwa zadania: „Światło i gaz”

Na rysunku przedstawiony jest układ optyczny mogący służyć do pomiaru współczynników załamania gazów. Składa się on z punkтового źródła światła monochromatycznego dwu płaskich równoległych płytek szklanych pomiędzy którymi znajdują się badany gaz oraz soczewki i ekranu ustawionego w płaszczyźnie ogniskowej soczewki. Powierzchnie obu płytek są pokryte od strony wewnętrznej cienką, półprzezroczystą warstewką metalu. Na skutek odbić światła pomiędzy płytkami na ekranie obserwuje się obraz interferencyjny składający się z szeregu współśrodkowych, na przemian jasnych i ciemnych pierścieni. Odbicia od powierzchni nie pokrytych warstwą metalu można zaniedbać.

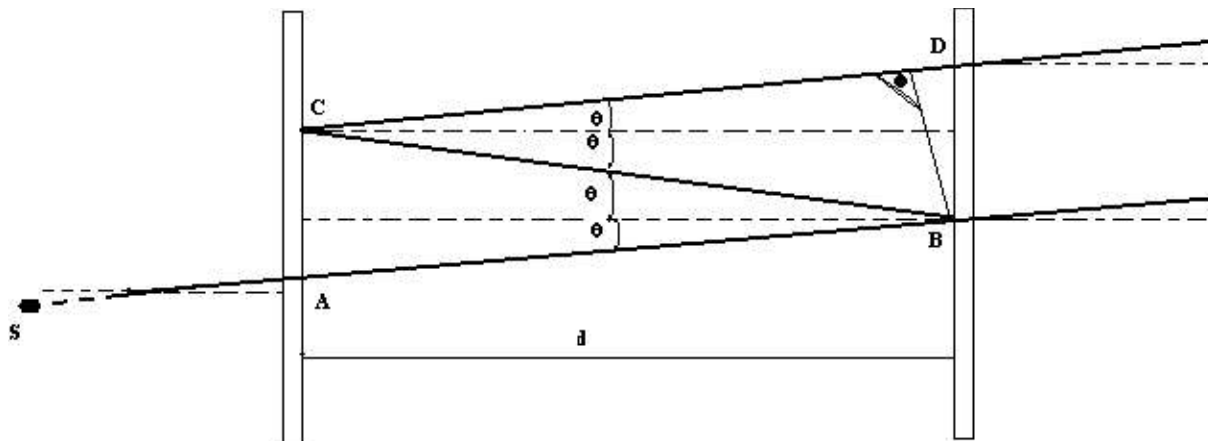


Wykorzystując wyżej opisany układ przeprowadzono następujące doświadczenie. Spomiędzy płytek odpompowano gaz, a na ekranie zaznaczono położenie jednego z jasnych prążków. Następnie, obserwując prążki, pomiędzy płytki powoli wpuszczano powietrze o pewnej temperaturze T_0 , aż do uzyskania pewnego ciśnienia p_0 . Stwierdzono, że przez punkt zaznaczony na ekranie przesunęło się $N=11$ ciemnych prążków po czym na tym punkcie zatrzymał się jasny prążek. Oblicz wartość współczynnika załamania powietrza pod ciśnieniem p_0 w temperaturze T_0 , jeżeli odległość pomiędzy płytkami wynosiła $d=1,04\text{cm}$, a lampka emitowała światło o długości fali w próżni $\lambda_0=5461\cdot 10^{-8}\text{cm}$

Zakładamy że warunki doświadczenia opisanego w zadaniu są takie, iż można stosować prawa ważne dla soczewek cienkich (wiązka trzyosiowa, wszystkie kąty małe) oraz płytki nie ulegają deformacji podczas odpompowywania powietrza.

ROZWIĄZANIE ZADANIA T3

Rozważmy promień światła wychodzący ze źródła pod pewnym bardzo małym kątem θ do osi optycznej układu, ryc.7. Możemy przyjąć,



Ryc.7

że w warunkach próżni, lub gdy powietrze wypełnia komorę (przestrzeń pomiędzy płytkami), kąt θ' jest w przybliżeniu równy kątowi θ , a zatem ma również bardzo małą wartość, $\theta' \ll 1$. Różnica dróg optycznych pomiędzy promieniem wychodzącym z komory w punkcie B, a promieniem odbitym, wychodzącym w punkcie D, wynosi

$$BCD - ED = \frac{2d}{\cos\theta'} - \frac{2d \sin^2 \theta'}{\cos\theta'} = 2d \cos\theta'. \quad (1)$$

Warunkiem interferencji rozważanych promieni jest równość

$$2d \cos\theta' = m\lambda \quad (2)$$

gdzie λ jest długością fali światła rozchodzącą się wewnątrz komory, zaś m jest liczbą całkowitą. Dla małych kątów $\theta' \ll 1$ można zastąpić warunek (2) przybliżonym równaniem $2d = m\lambda$, stąd

$$m = \frac{2d}{\lambda} \quad (3)$$

Gdyby w przedstawionym układzie optycznym nie było soczewki skupiającej, to rozważane promienie interferowałyby w dużej odległości od komory. W obecności soczewki interferencja zachodzi w płaszczyźnie ogniskowej soczewki, tzn. w miejscach przecinania się promieni wychodzących z soczewki, które przed załamaniem biegły równoległe.

Długość fali λ zależy od warunków, w jakich znajduje się powietrze w komorze. podczas wpuszczania powietrza do komory długość fali zmienia się od wartości $\lambda = \lambda_0$ w próżni, do wartości $\lambda = \lambda_1$ w powietrzu pod ciśnieniem p_0 o temperaturze T_0 . Zmiana długości fali $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0$ jest przyczyną zmiany liczby o Δm , równej w przybliżeniu (zgodnie z regułą obliczania różniczki funkcji $m=f(\lambda)$) (3))

$$\Delta m = -\frac{2d}{\lambda_0^2} \Delta\lambda \quad (4)$$

skąd dla $\Delta m = N$ mamy

$$\Delta\lambda = -N \frac{\lambda_0^2}{2d} \quad (5)$$

Współczynnik załamania światła w gazie można wyrazić jako stosunek prędkości światła rozchodzącego się w próżni do prędkości światła w gazie. Mamy zatem dla gazu znajdującego się między płytkami

$$n = \frac{c}{v} = \frac{v\lambda_0}{v\lambda_1} = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \Delta\lambda} \quad (6)$$

Po podstawieniu (5) do wyrażenia (6) otrzymujemy dla danych $N=11$, $\lambda_0=5461 \cdot 10^{-8}$ cm następującą wartość współczynnika załamania powietrza znajdującego się w temperaturze T_0 pod ciśnieniem p_0 :

$$n = \frac{1}{1 - (N\lambda_0 / 2d)} \cong 1 + \frac{N\lambda_0}{2d} \cong 1,00029$$

Urządzenie przy pomocy którego można dokładnie wyznaczyć długość fali światła rozchodzącego się w badanym gazie lub próżni nosi nazwę interferometru Fabry'ego-Perota. Schemat urządzenia przedstawia rycina 6.

Punktacja:

Za prawidłowe rozwiązanie zadania 4 pkt w tym:

Za wyprowadzenie wzorów 2 pkt

Za umiejętność posługiwania się przyrządami : 1 pkt

Za podanie prawidłowej odpowiedzi 1 pkt.

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Druk OF”

Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szcz.pl