

Zadanie D1

Współczynnik załamania oleju jadalnego

Masz do dyspozycji:

- olej jadalny;
- naczynie z matowym płaskim dnem, wykonane z nieprzezroczystego materiału (np. garnek o średnicy 10-15 cm);
- wskaźnik laserowy;
- linijkę;
- papier milimetrowy;
- nożyczki;
- zaciemnione pomieszczenie.

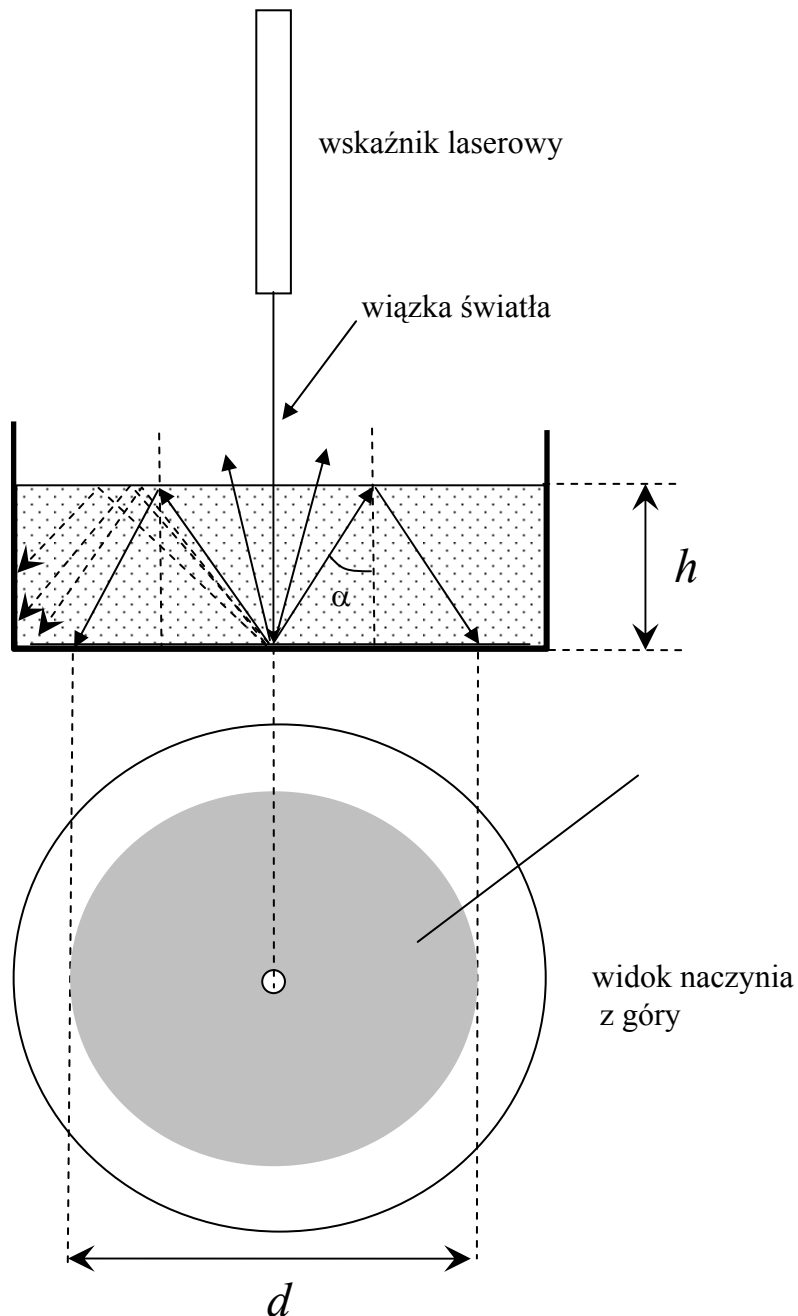
Jeśli wiązkę światła laserowego skierować na dno naczynia wypełnionego do pewnego poziomu olejem, to można zaobserwować, że wokół jasnego punktu na dnie, na który pada promień światła laserowego, tworzy się mniej oświetlony obszar w kształcie koła. Wykorzystując to zjawisko wyznacz współczynnik załamania oleju jadalnego względem powietrza.

Uwaga:

Wykonując pomiary zachowaj szczególną ostrożność! Uważaj, aby odbita wiązka światła laserowego nie trafiła w oczy!

Rozwiązanie

Jeden ze sposobów rozwiązania zadania polega na wykorzystaniu zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia rozproszonego światła laserowego od powierzchni oleju. Odpowiednie doświadczenie można wykonać w układzie doświadczalnym przedstawionym na rys. 1.



Rys. 1

Światło laserowe rozprasza się na (matowym) dnie naczynia. Promienie, które padają po rozproszeniu na dnie naczynia na powierzchnię oleju pod kątem większym niż kąt graniczny, ulegają całkowitemu wewnętrznemu odbiciu i padają ponownie na powierzchnię dna. Z

wyjątkiem jasnej plamki powstającej w miejscu bezpośredniego padania światła laserowego, środkowa część dna naczynia o średnicy d jest słabiej oświetlona. Średnica ciemniejszego obszaru zależy od grubości warstwy oleju h oraz jego współczynnika załamania. Warunek całkowitego wewnętrznego odbicia światła na granicy olej-powietrze można zapisać w postaci:

$$n = \frac{1}{\sin(\alpha)} = \frac{d/4}{\sqrt{h^2 + (d/4)^2}} = \sqrt{1 + \left(\frac{4h}{d}\right)^2}, \quad (1)$$

gdzie n – współczynnik załamania oleju, α - kąt graniczny odpowiadający całkowitemu wewnętrznemu odbiciu.

Zatem, żeby wyznaczyć współczynnik załamania oleju wystarczy wyznaczyć średnicę obszaru ciemnego dla danej grubości warstwy oleju h . Grubość warstwy oleju można zmierzyć linijką. Ze względu na menisk tworzący się przy powierzchni linijki, pomiar grubości warstwy oleju jest obarczony błędem systematycznym. Żeby zwiększyć dokładność pomiaru współczynnika załamania należy wykonać pomiary średnicy d ciemnego obszaru dla kilku różnych grubości h warstwy oleju. W tym celu na dnie naczynia należy umieścić papier milimetrowy z zaznaczoną podziałką ułatwiająca odczytywanie średnicy ciemnego obszaru.

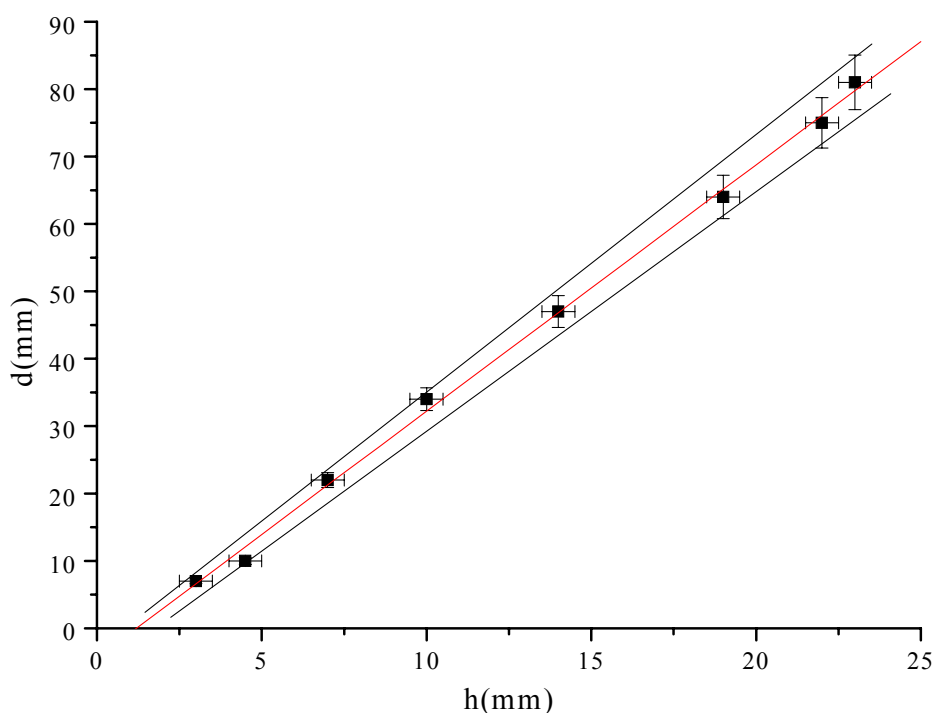
Ze związku (1) wynika, że średnica ciemnego obszaru jest proporcjonalna do grubości warstwy oleju:

$$d = \frac{4}{\sqrt{n^2 - 1}} h \quad (2)$$

Zatem, z dopasowania prostej do zależności średnicy d od grubości h można wyznaczyć

współczynnik proporcjonalności $\beta = \frac{4}{\sqrt{n^2 - 1}}$.

Wyniki uzyskane dla kilku różnych grubości warstwy oleju przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2

Z rysunku 2 wynika, że z dokładnością do niepewności pomiarowych dane doświadczalne układają się na prostej. Warto jednak zauważyć, że prosta ta nie przechodzi przez początek układu współrzędnych. Wynika to z błędu systematycznego popełnianego przy pomiarze grubości cieczy (menisk) oraz niepewności określenia średnicy ciemnego obszaru. Z dopasowania prostej do danych doświadczalnych uzyskano wartość współczynnika $\beta = (3,64 \pm 0,10)$. Odpowiada mu wartość współczynnika załamania

$$n = \sqrt{1 + \frac{16}{\beta^2}} = (1,485 \pm 0,020).$$

Proponowana punktacja

- 1) Jakościowe wyjaśnienie obserwowanego zjawiska optycznego do 4 pkt.
- 2) Propozycja układu pomiarowego, w którym można wyznaczyć współczynnik załamania oleju (przy wykorzystaniu środków określonych w treści zadania) do 2 pkt.
- 3) Wyprowadzenie związku pomiędzy średnicą ciemnego obszaru, grubością warstwy i współczynnikiem załamania oleju. do 4 pkt.
- 4) Wykonanie pomiarów dla możliwie szerokiego zakresu grubości warstwy oleju, (po 1 pkt. za każdy punkt pomiarowy, maksymalnie 5 pkt.) do 5 pkt.
- 5) Wykonanie wykresu i dopasowanie prostej uwzględniające niepewności pomiarowe, lub równoważna analiza uwzględniająca błąd systematyczny związany z meniskiem do 4 pkt.
- 6) Uzyskanie wyniku końcowego wraz niepewnością pomiarową do 1 pkt.