

IV OLIMPIADA FIZYCZNA (1954/1955). Stopień I, zad. doświadczalne – D

Źródło:	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej; Aniela Nowicka: <i>Olimpiady Fizyczne IX i X</i> . PZWS, Warszawa 1965, str. 228 – 233
Nazwa zadania:	Wyznaczanie współczynnika załamania cieczy za pomocą lupy
Działy:	Optyka
Słowa kluczowe:	optyka, załamanie, współczynnik, ogniskowa, soczewka, oko, lupa, zwierciadło

Zadanie 5, doświadczalne – D, zawody stopnia I, IV OF

Do otwartego naczynia wprowadzamy ciecz i obserwujemy dno naczynia posługując się lupą o pionowo skierowanej głównej osi optycznej. Następnie przesuwając lupę o odpowiedni odcięciek do góry obserwujemy zwierciadło cieczy, przy czym zachowujemy to samo położenie oka w stosunku do lupy.

Zbadać doświadczalnie zależność przesunięcia lupy od:

- 1) grubości warstwy danej cieczy,
- 2) rodzaju cieczy użytej (np. woda, gliceryna, olej rycynowy itp.).

Wyniki przedstawić przy pomocy wykresu. Uzasadnić znaną doświadczalnie zależność w oparciu o prawa rozchodzenia się światła w ośrodkach przezroczystych i wyciągnąć stąd wnioski o optycznych właściwościach badanej cieczy.

Jakie są źródła niepewności w tych pomiarach? W jaki sposób powiększyć dokładność pomiaru?

Uwagi.

1. Pomiar można zmodyfikować obserwując na ekranie obrazy dawane przez lupę.
2. Zamiast dna i zwierciadła cieczy można obserwować odpowiednio dobrane przedmioty zanurzone w cieczy.

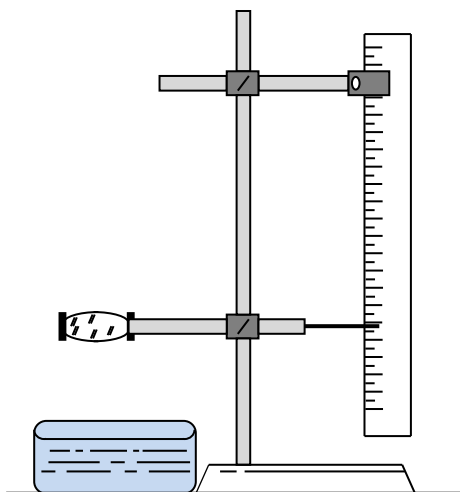
Podać szczegółowy opis pomiarów.

Rozwiązanie

Zadanie ze strony doświadczalnej może zostać zrealizowane w sposób bardzo rozmaity i ma tu pole do popisu pomysłowości uczestników. Można na przykład zestawić przyrządy tak, jak to wskazuje rysunek 1. Lupa o krótkiej ogniskowej umocowana jest na statywie w taki sposób, by dała się przesunąć w górę i w dół. Przesunięcia jej można mierzyć na odpowiedniej podziałce (zapewnić tu trzeba sztywność umocowania łapy w łączniku, by nie było tzw. „luzu”).

Najpierw obserwujemy przez lupę dno próżnego naczynia i notujemy odczyt podziałki. Następnie nalewamy badaną ciecz i chcąc znaleźć grubość warstwy cieczy obserwujemy przez lupę jej zwierciadło. Dla wygodnego nastawienia lupy „na ostrość” możemy posypać powierzchnię cieczy szczyptą drobno tartego korka, a na dno wrzucić kilkanaście drobnych ziarenek piasku. Różnica odczytów podziałki przy obserwowaniu zwierciadła cieczy i dna próżnego naczynia da nam grubość warstwy cieczy H^1 .

¹ Dla sprawdzenia, czy taki sposób pomiaru zasługuje na zaufanie, możemy niezależnie od niego zmierzyć grubość warstwy cieczy za pomocą suwmiarki z głębokościomierzem powleczonym cienką warstwą parafiny lub innego tłuszczu. To ostatnie ma na celu uniknięcie błędów związanych ze zwilżaniem powierzchni metalu przez ciecz.

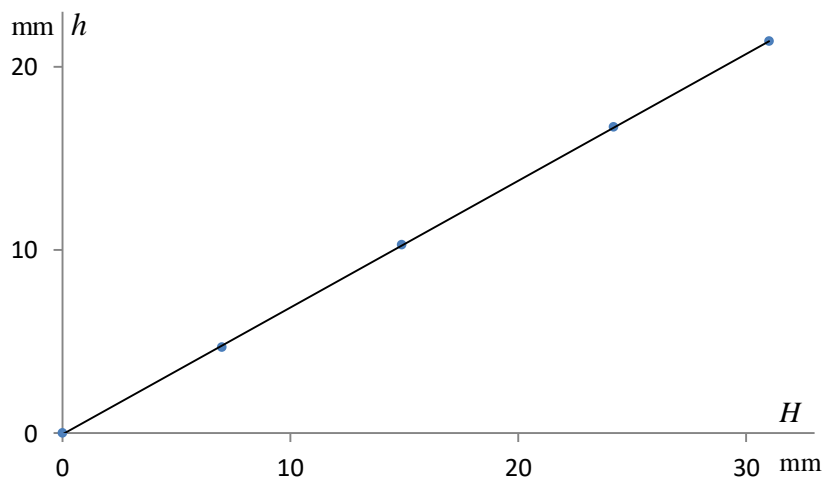


Rys. 1.

Teraz obniżamy lupę aż do otrzymania ostrego obrazu dna poprzez drugiego i trzeciego da nam pozorną grubość warstwy cieczy h , przy czym zauważymy, że $h < H$. Gdy powtórzymy całą operację jeszcze szereg razy przy różnych ilościach tej samej cieczy i sporządzimy tabelkę, łatwo będzie spostrzec, że stosunek H/h jest stały. Uwidoczni się to jeszcze wyraźniej na wykresie, w którym na osi odciętych odkładać będziemy np. H , a na osi rzędnych h (rys. 2).

H	H_{sr}	h	h_{sr}	H/h
7,1	7	4,5	4,7	1,49
6,8		5,0		
7,0		4,8		
7,0		4,6		
31,2	31	20,5	21,4	1,45
31,0		22,0		
31,0		21,5		
30,8		21,7		

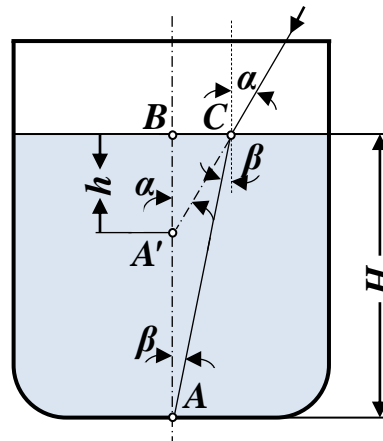
Są to wyniki otrzymane dla gliceryny przez jednego z zawodników. Odczytów dokonywano na skali, której najmniejsze działki miały po 0,5 mm, przy czym oceniano jeszcze „na oko” części tych działek.



Rys. 2.

Analogiczne serie pomiarów dla innych cieczy, jak na przykład dla wody, alkoholu itp., pozwalają na stwierdzenie, że stosunek H/h dla każdej cieczy jest stały, ale dla różnych cieczy różny. Na wykresie uzyskalibyśmy szereg linii prostych przechodzących przez początek układu, ale o różnych nachyleniach.

Objaśnimy teraz, dlaczego stosunek H do h jest stały. Załamanie światła przy przejściu z cieczy do powietrza powoduje pozorne zbliżenie punktu A do punktu B (rys. 3), dzięki czemu chcąc przejść od obserwacji punktu A do obserwacji punktu B wystarczy przesunąć lupę o odcinek $A'B = h$.



Rys. 3.

Na podstawie rysunku 3 mamy:

$$h = \frac{BC}{\operatorname{tg} \alpha}$$

ale ponieważ

$$BC = H \operatorname{tg} \beta$$

więc

$$\frac{H}{h} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{\sin \alpha \cdot \cos \beta}{\sin \beta \cdot \cos \alpha} = \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} n,$$

gdzie n jest współczynnikiem załamania cieczy względem powietrza. W warunkach doświadczenia jednak kąty α i β są bardzo małe i $\alpha \approx \beta \approx 0^\circ$, czyli $\cos \alpha \approx \cos \beta \approx 1$, a stąd

$$\frac{H}{h} = n, \quad (1)$$

co potwierdzają nasze pomiary. Wnioskujemy stąd ostatecznie, że znaleziony w pomiarze stosunek H/h daje nam współczynnik załamania danej cieczy, a więc mówi o jej „gęstości optycznej”. Aby więc z naszych pomiarów wyznaczyć współczynnik załamania, wystarczy znaleźć średnią otrzymanych wartości H/h . Można jednak postąpić inaczej, a mianowicie zmierzyć kąt nachylenia linii prostej na naszym wykresie względem osi OH i obliczyć jego tangens.

Wykonanie doświadczenia potrzebnego do rozwiązania tego zagadnienia jest dość trudne i wymaga dużej staranności i wprawy.

Ważnym czynnikiem prowadzącym do zwiększenia dokładności pomiaru jest użycie lupy krótkoogniskowej, odznaczającej się małą głębią ostrości. Wszelkie pomiary trzeba powtarzać kilkakrotnie i brać średnią. Naczynie należy wybrać możliwie płaskodenne.

Przeglądając prace zawodników można zauważyć u niektórych uczniów duże zdolności eksperymentatorskie. Wśród prac spotyka się szereg ciekawych pomysłów przeprowadzania doświadczeń. Jeden z uczestników np. zmienia grubość warstwy cieczy układając na dnie

naczynia jedna na drugiej jednakowe monety o znanej dokładnie grubości (zmierzonej śrubą mikrometryczną). Inny do pomiaru przesunięć lupy skonstruował specjalny czujnik, którego działanie oparte było na wykorzystaniu przekładni w wielokrażku: małe przesunięcie lupy pociągało za sobą duże przesunięcie strzałki na skali (nie zwrócił on co prawda uwagi na możliwość rozciągania się nici – możliwość obniżającą bardzo znacznie dokładność urządzenia).

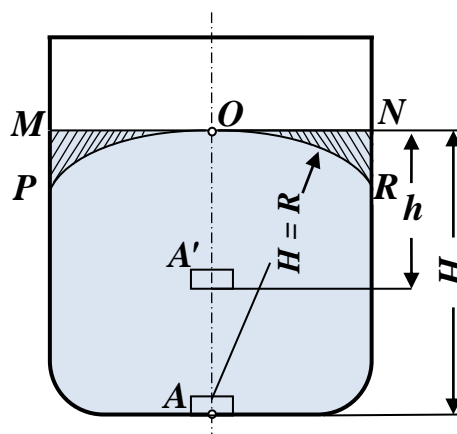
W jednej z prac znajduje się opis urządzenia, w którym lupa przymocowana była sztywno do tubusa mikroskopu. Dzięki temu lupę można było nastawić bardzo precyzyjnie obracając śruby mikrometryczne. Wartość przesunięć uczeń otrzymywał mierząc za pomocą suwmiarki odległość tubusa od stolika mikroskopu.

Kilku uczniów wykorzystało uwagę końcową w tekście zadania; przeprowadzili oni pomiar rzutując obrazy na ekran. Niektórzy nawet używali w tym celu matówek od aparatu fotograficznego. Lupa i matówka umocowane były w stałej odpowiednio dobranej odległości od siebie na wspólnym pręcie mogącym przesuwac się w kierunku pionowym. Drobnym przedmiotem leżącym na dnie lub pływającym na powierzchni cieczy był oświetlony silną żarówką za pomocą innej soczewki o dużej średnicy (kondensator) lub zwierciadła wklęsłego. Warto tu zaznaczyć, że można by taką aparaturę ulepszyć stawiając naczynie na deseczce z otworem i prześwietlić z dołu światłem żarówki (lepiej też z kondensatorem), zamiast matówki można by użyć po prostu sufitu. Odległość między lupą a sufitem można uważać, ze względu na małe przesunięcie lupy, za stałą.

Jeżeli chodzi o interpretację wyników pomiarów, to wypadła ona o wiele słabiej. Bardzo niewielu uczestników zidentyfikowało stosunek H/h ze współczynnikiem załamania.

Wyróżnia się tutaj praca jednego z warszawskich zawodników. Uczeń uzasadnił wzór $\frac{H}{h} = n$ w sposób bardzo oryginalny i nie szablonowy. Rozumowanie jego, jako ciekawe, przytaczamy.

Wyobraźmy sobie, że w środku na dnie naczynia (rys. 4) znajduje się obserwowany przez nas punkt A . Z punktu A promieniem równym grubości warstwy drugiej cieczy zatoczmy w myśli powierzchnię sferyczną POR . Obszar cieczy zawarty między tą powierzchnią sferyczną a zwierciadłem wody MON uważajmy za soczewkę płasko-wklęsłą.



Rys. 4.

Wzory soczewkowe wyprowadzone są przy założeniu, że po obu stronach na zewnątrz soczewki znajduje się ten sam ośrodek. Nasza soczewka tego warunku oczywiście nie spełnia. Mamy tu jednak do czynienia ze szczególnym przypadkiem, kiedy obiekt obserwowany znajduje się w środku krzywizny i każdy promień wybiegający z niego i dobiegający do soczewki pada na jej powierzchnię wklęsłą normalnie, a więc bez załamania. Tylko ze względu na ten szczególny przypadek wolno nam zastosować znane, wzory dotyczące soczewek.

Obliczymy ogniskową naszej soczewki:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) (n-1) = \left(-\frac{1}{H} \right) (n-1) = -\frac{n-1}{H},$$

czyli

$$f = -\frac{H}{n-1}. \quad (2)$$

Pozornie przesunięty przedmiot A' jest obrazem pozornym przedmiotu A danym przez naszą „soczewkę” rozpraszającą. Przesunięcie h jest odległością obrazu od soczewki, grubość zaś warstwy cieczy H jest odległością przedmiotu od soczewki. Stosujemy znany wzór

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}.$$

i uwzględniając odpowiednie znaki mamy:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{H} - \frac{1}{h}.$$

Stąd

$$h = \frac{Hf}{f - H}, \quad (3)$$

podstawiając zaś wzór (2) do (3) po łatwych przekształceniach otrzymujemy

$$h = \frac{H}{n},$$

czyli znowu wzór (1).

W ogólnej punktacji zadanie wypadło dość słabo, uzyskując średnią 3,6 punktu na 10 możliwych.