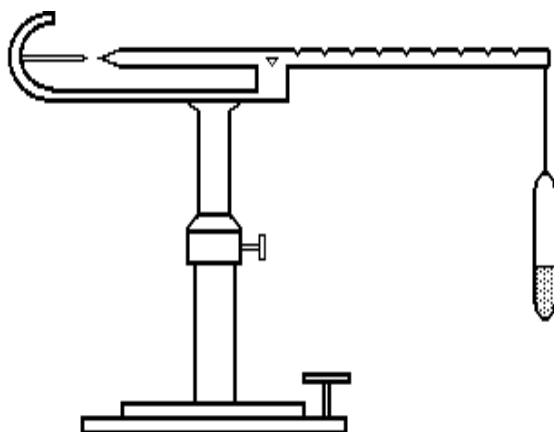


## WYZNACZANIE GĘSTOŚCI CIECZY PRZY POMOCY WAGI MOHRA (WESTPHALA)

- I. Cel ćwiczenia:** pomiar gęstości względnej cieczy.
- II. Przyrządy:** waga Mohra.
- III. Literatura:** H. Hofmokr, A Zawadzki                      Laboratorium Fizyczne.  
T. Dryński                      Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, W-wa 1976.

### IV. Wprowadzenie.

Waga Mohra służy do wyznaczania względnej gęstości cieczy. Jedno ramię wagi podzielone jest na 10 równych części. Na końcu tego ramienia zawieszony jest mały walec szklany, zaś na



**Rys. 1 Waga Mohra**

końcu drugiego ramienia wagi znajduje się walec metalowy z ostrzem, który równoważy masę walca szklanego. Równowagę wagi osiągamy przy pomocy śrubki u jej podstawy. Waga jest w równowadze, jeśli ostrze na ramieniu wagi i ostrze nieruchome leżą na jednej prostej.

Odważniki do wagi Mohra sporządzone są z drutów, które nazywamy konikami. Są trzy rodzaje koników: duży, średni. i mały. Są one tak dobrane, że masa każdego mniejszego konika jest 10 razy mniejsza od masy konika bezpośrednio od niego większego. Gdy oznaczymy masę największego konika przez  $m_1$ , to masa konika bezpośrednio mniejszego wyniesie  $m_2 = 0,1m_1$ , a masa konika trzeciego  $m_3 = 0,01m_1$ .

Gdy zanurzymy walec szklany zawieszony na wadze całkowicie do cieczy, wówczas zgodnie z prawem Archimidesa działa na niego parcie ku górze  $P$ , równe ciężarowi tej cieczy o objętości zanurzonego walca. Aby wagę doprowadzić do równowagi, należy na belkę wagi nakładać koniki. Waga będzie w równowadze, jeżeli momenty ciężarów zawieszonych koników będą równe momentowi siły parcia cieczy na walec szklany ku górze.

Momentem siły nazywamy iloczyn siły i jej ramienia. Ramieniem siły nazywamy odległość osi obrotu dźwigni od prostej wzdłuż której działa siła. Jeżeli np. dla osiągnięcia równowagi dźwigni po całkowitym zanurzeniu walca szklanego w wodzie destylowanej zawieszono koniki w sposób następujący (tabela poniżej)

	Położenie konika na podziałce belki	Ramię odpowiadające położeniu
duży konik	$n_1$	$l_1$
średni konik	$n_2$	$l_2$
mały konik	$n_3$	$l_3$

Wówczas warunek równowagi będzie wyrażony wzorem

$$m_1 l_1 g + m_2 l_2 g + m_3 l_3 g = m_w g l \quad (1)$$

gdzie  $m_w$  - masa wody wypartej przez walec,  
 $l$  - ramię parcia,  
 $g$  - przyspieszenie ziemskie,  
 $m_1, m_2, m_3$  - masy koników: odpowiednio największego, średniego, najmniejszego,  
 $l_1, l_2, l_3$  - ramiona ciężaru, odpowiednio największego, średniego i najmniejszego konika.

**(UWAGA: koników tego samego rodzaju może być więcej np. 2 duże.**

Ponieważ  $m_2 = 0,1m_1$ ,  $m_3 = 0,01m_1$  oraz zachodzą proporcje :

$$\frac{n_1}{10} = \frac{l_1}{l}, \quad \frac{n_2}{10} = \frac{l_2}{l} \quad \text{itd.},$$

z których otrzymujemy

$$l_1 = 0,1n_1 l, \quad l_2 = 0,1n_2 l \quad \dots,$$

to równanie (1) po uproszczeniu przez  $g$  i uwzględnieniu tych związków przyjmuje postać

$$m_1(0,1n_1 l) + 0,1m_1(0,1n_2 l) + 0,01m_1(0,1n_3 l) = m_w l$$

czyli

$$m_1(0,1n_1 + 0,01n_2 + 0,001n_3) = m_w \quad (2)$$

Jeżeli teraz walec szklany wyjmujemy z wody, osuszmy go i włożymy do innej cieczy, to okaże się, że do osiągnięcia równowagi potrzeba zawiesić koniki na innych podziałkach, np. konik największy na podziałce  $k_1$  odpowiadającej ramieniu  $d_1$ , konik średni na  $k_2$  odpowiadającej ramieniu  $d_2$ , konik najmniejszy na  $k_3$  odpowiadającej ramieniu  $d_3$ . Warunek równowagi będzie teraz wyrażać równanie

$$m_1 d_1 g + m_2 d_2 g + m_3 d_3 g = m_c l g \quad (3)$$

gdzie  $m_c$  - masa cieczy wypartej przez walec szklany,  
 $m_1, m_2, m_3$  - masy koników, tak jak poprzednio,  
 $d_1, d_2, d_3$  - odległości zaczepienia tych koników od osi obrotu dźwigni.

Postępując jak poprzednio otrzymujemy równanie (3) w postaci

$$m_1(0,1k_1 l) + 0,1m_1(0,1k_2 l) + 0,01m_1(0,1k_3 l) = m_c l$$

a stąd ostatecznie

$$m_1(0,1k_1 + 0,01k_2 + 0,001k_3) = m_c \quad (4)$$

Dzieląc równanie (4) przez (2) otrzymamy

$$\frac{0,1k_1 + 0,01k_2 + 0,001k_3}{0,1n_1 + 0,01n_2 + 0,001n_3} = \frac{m_c}{m_w} \quad (5)$$

Ponieważ objętości masy cieczy  $m_c$  i masy wody  $m_w$  są równe objętości walca szklanego, zatem możemy zapisać

$$m_c = V\rho_c, \quad m_w = V\rho_w \quad (6)$$

gdzie

$\rho_c$  - gęstość badanej cieczy,

$\rho_w$  - gęstość wody destylowanej w temperaturze pomiarów.

Z równań (6) otrzymujemy

$$\frac{m_c}{m_w} = \frac{\rho_c}{\rho_w} = \rho$$

gdzie  $\rho$  jest gęstością względną badanej cieczy.

Na podstawie (5) mamy

$$\frac{0,1k_1 + 0,01k_2 + 0,001k_3}{0,1n_1 + 0,01n_2 + 0,001n_3} = \rho \quad (7)$$

Gęstość bezwzględna cieczy

$$\rho_c = \rho \rho_w \quad (8)$$

Gęstość cieczy w temperaturze pomiarów odczytujemy z tablic.

## V. Pomiary i opracowanie wyników.

- 1▪ Zawiesić walec szklany na końcu belki wagi i zrównoważyć wagę przy pomocy śrubki.
- 2▪ Zanurzyć walec wraz z uszkiem całkowicie w wodzie destylowanej, uważając ażeby nie było na nim pęcherzyków powietrza.
- 3▪ Zrównoważyć wagę przez nałożenie koników i zapisać ich położenie.
- 4▪ Odczytać i zanotować z tablic gęstość wody  $\rho_w$  w danej temperaturze.
- 5▪ Wyjąć walec z wody i osuszyć go.
- 6▪ Zanurzyć walec w badanej cieczy, zrównoważyć wagę konikami i zapisać ich położenie.
- 7▪ Powtórzyć punkty 5 i 6 dla innej cieczy.
- 8▪ Wyniki zebrać w tabeli

Tabela pomiarów

Rodzaj cieczy	Miejsce zawieszenia koników					Gęstość względna cieczy $\rho$
	$m_1$	$m_1$	$0,1m_1$	$0,1m_1$	$0,01m_1$	

**Obliczenia.**

Obliczyć gęstość względną i bezwzględną badanej (badanych) cieczy wg wzorów (7) i (8).  
Oszacować błędy pomiarów.

Jeśli przyjmiemy, że ciężary koników mniejszych stanowią dokładnie 0,1 i 0,01 ciężaru konika największego, to błąd wyniku spowodowany jest tylko niepewnością zawieszenia, ponieważ wielkość tę możemy przyjąć za granicę dokładności ustalenia równowagi przyrządu.