

Piotr Durniat  
I rok, Fizyka  
Wtorek, 8:00-10:15

Data wykonania pomiarów:  
06.05.2025

Prowadząca:  
dr Iwona Mróz

## Ćwiczenie nr 30

### Wyznaczanie względnej gęstości cieczy i ciał stałych

#### Spis treści

1	Wstęp teoretyczny	2
2	Opis doświadczenia	3
3	Opracowanie wyników pomiarów	4
3.1	Tabele pomiarowe . . . . .	4
3.2	Waga Mohra . . . . .	5
4	Ocena niepewności pomiaru	5
4.1	Względna gęstość obliczona z wagi Mohra . . . . .	5
4.2	Względna gęstość obliczona z wagi Jolly'ego . . . . .	5
5	Wnioski	6
6	Wykresy	6

# 1 Wstęp teoretyczny

## Ciężar właściwy ciała

Ciężar właściwy ciała ( $\gamma$ ) jest to stosunek ciężaru ciała ( $P$ ) do jego objętości ( $V$ ), wyrażony wzorem:

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

W ogólności ciała rozszerzają się, gdy rośnie temperatura, tym samym ponieważ masa pozostaje stała, to gęstość ciała maleje. Istnieją jednak wyjątki od tej reguły, np. woda, która w temperaturze poniżej 4 stopni Celsjusza zachowuje się anomalnie - wzrasta jej gęstość wraz ze wzrostem temperatury, a poniżej 4 stopni Celsjusza zachowuje się odwrotnie - maleje gęstość wraz ze wzrostem temperatury.

## Waga Jolly'ego

Wyprowadzenie wzoru na względną gęstość ciała stałego wyznaczonego za pomocą wagi Jolly'ego:

Względna gęstość ciała stałego względem cieczy:

$$R = \frac{\rho_s}{\rho_c} = \frac{h_p - h_0}{h_p - h_w} \quad (1)$$

gdzie:

- $\rho_s$  to gęstość badanego ciała stałego,
- $\rho_c$  to gęstość cieczy,
- $h_p$  to położenie wskazówki wagi, gdy ciężarek znajduje się w powietrzu (na górnej szalce),
- $h_w$  to położenie wskazówki wagi, gdy ciężarek znajduje się w cieczy (na dolnej szalce),
- $h_0$  to położenie wskazówki wagi, gdy obie szalki są puste (bez ciężarka).

## Moment siły

Moment siły  $M$  jest to iloczyn siły  $F$  i ramienia  $r$ :

$$M = F \cdot r$$

## Waga Mohra

Waga Mohra składa się z wysuwanego ramienia, na którym umieszczona jest belka. Jedno z ramion belki jest podzielone na 10 równych działek, na których można wieszać ciężarki o znanych masach umownych. Na końcu belki znajduje się nurek, który umieszczany jest w badanej cieczy. Po umieszczeniu nurka w cieczy, należy zrównoważyć wagę za pomocą ciężarków umieszczonych na szalkach. Zając wagi koników i ich położenia, można wyznaczyć masę wypartej cieczy, korzystając z równowagi momentów sił. W stanie równowagi belki zachodzi równowaga momentów sił między ciężarkiem zawieszonym na 10 podziałce, a konikiem zawieszonym na  $n$ -tej podziałce. Porównując momenty sił dla obu ramion belki otrzymujemy:

$$m_z g R = m_i g \frac{R}{10} n$$

gdzie:

- $m_z$  - masa zastępcza ciężarka na 10 podziałce
- $m_i$  - masa  $i$ -tego konika
- $n$  - numer podziałki, na której wieszony jest konik
- $R$  - długość ramienia

Stąd masa zastępcza konika zawieszonego na  $n$ -tej podziałce wynosi:

$$m_z = m_i \frac{n}{10}$$

Masa wypartej cieczy przez ciężarek równa się więc sumie mas zastępczych wszystkich zawieszonych koników.

$$m_w = \sum_{i=1}^N \frac{m_i n_i}{10} \quad (2)$$

gdzie  $n_i$  to numer podziałki, na której zawieszony jest  $i$ -ty konik, a  $N$  to liczba koników.

W tym doświadczeniu szukana wielkość to względna gęstość alkoholu względem gęstości wody, ponieważ objętość cieczy wypartej przez konik jest taka sama, niezależnie od cieczy, to otrzymujemy:

$$R = \frac{\rho_a}{\rho_w} = \frac{\frac{m_a}{V_a}}{\frac{m_w}{V_w}} = \frac{m_a}{m_w} = \frac{\sum_{i=1}^{N_a} m_{a,i} n_{a,i}}{\sum_{i=1}^{N_w} m_{w,i} n_{w,i}} \quad (3)$$

gdzie  $R$  to względna gęstość alkoholu względem gęstości wody, a  $m_w$  oraz  $m_a$  to masy wypartej cieczy odpowiednio dla wody oraz alkoholu,  $m_{a,i}$  oraz  $m_{w,i}$  to masy koników odpowiednio dla alkoholu oraz wody, a  $n_{a,i}$  oraz  $n_{w,i}$  to numery podziałek, na których zawieszony jest  $i$ -ty konik.

Wstęp teoretyczny opracowano na podstawie podręcznika Fizyka dla szkół wyższych, tom 2, dział Termodynamika, rozdziały 1.3 Rozszerzalność cieplna [2], oraz rozdziały 8 i 9 podręcznika Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, wydanie V [1].

## 2 Opis doświadczenia

Doświadczenie polega na wyznaczeniu gęstości cieczy oraz gęstości ciał stałych przy użyciu dwóch metod: wagi Mohra oraz wagi Jolly'ego.

### Część I: Waga Mohra

1. Zrównoważenie wagi z nurkiem w powietrzu
2. Zanurzenie nurka w wodzie destylowanej i zrównoważenie wagi za pomocą koników o znanych masach umownych
3. Powtórzenie pomiaru dla alkoholu
4. Odczyt i zapisanie położenia koników dla każdej cieczy

### Część II: Waga Jolly'ego

1. Przygotowanie co najmniej czterech różnych ciał stałych do badań
2. Wyznaczenie położenia zerowego wagi ( $h_0$ )
3. Ważenie ciał na górnej szalce ( $h_p$ )

4. Wążenie ciał na dolnej szalce zanurzonej w wodzie ( $h_w$ )
5. Powtórzenie pomiarów dla alkoholu

### Część III: Sprawdzenie prawa Hooke'a

1. Ustalenie położenia zerowego wagi Jolly'ego bez zanurzania szalek w cieczy
2. Obciążanie szalki odważnikami od 1g do 10g, z odczytem położenia wskazówki wagi przy każdym obciążeniu
3. Powtórzenie pomiarów dla obciążeń malejących

## 3 Opracowanie wyników pomiarów

### 3.1 Tabele pomiarowe

#### Waga Jolly'ego

Położenie początkowe wagi Jolly'ego:  $h_0 = 2,4$  cm.

Ciało	$h_0$ [cm]	$h_p$ [cm]	$h_w$ [cm]
1	22,3	25,4	24,2
2	22,3	34,6	33,1
3	22,3	25,4	25,0
4	22,3	30,6	29,8

Tabela 1: Pomiary dla wody

Ciało	$h_0$ [cm]	$h_p$ [cm]	$h_w$ [cm]
1	22,4	25,4	24,5
2	22,4	34,7	33,5
3	22,4	25,5	25,1
4	22,4	30,6	30,0

Tabela 2: Pomiary dla alkoholu

#### Waga Mohra

Masy zastępcze koników oznaczono jako  $m_1, m_2, m_3$ , wynoszą odpowiednio:

- $m_1 = 1A$
- $m_2 = 0,1A$
- $m_3 = 0,01A$

Pozycje i rodzaje koników dla wody destylowanej oraz alkoholu przedstawiono w poniższych tabelach.

Numer podziałki	Rodzaj konika
3	$m_1$
7	$m_1$
2	$m_2$
4	$m_3$
6	$m_3$
8	$m_3$

Tabela 3: Pozycje i rodzaje koników dla wody destylowanej (waga Mohra)

Numer podziałki	Rodzaj konika
1	$m_1$
7	$m_1$
2	$m_2$
4	$m_3$
5	$m_3$

Tabela 4: Pozycje i rodzaje koników dla alkoholu (waga Mohra)

## 3.2 Waga Mohra

Korzystając z wzoru 3 oraz danych z tabel 3 oraz 4 otrzymujemy:

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{1m_1 + 7m_1 + 2m_2 + 4m_3 + 5m_3}{3m_1 + 7m_1 + 2m_2 + 4m_3 + 6m_3 + 8m_3} \\
 &= \frac{8m_1 + 2m_2 + 9m_3}{10m_1 + 2m_2 + 18m_3} = \frac{8A + 0.2A + 0.09A}{10A + 0.2A + 0.18A} = 0,799
 \end{aligned}$$

## 4 Ocena niepewności pomiaru

### 4.1 Względna gęstość obliczona z wagi Mohra

Położenia koników były zdeterminowane przez haczyki zamocowane na stałe na belce, których niepewność położenia nie jest znana (w eksperymencie nie ma możliwości ich przesunięcia, a ich położenie nie zostało zmierzone bezpośrednio). Drugim czynnikiem jest niepewność wagi koników. Koniki nie były ważone bezpośrednio (ich masy są określone w instrukcji), więc niepewność wagi koników również nie jest znana. Kolejnym czynnikiem jest dokładność odczytu położenia równowagi belki, która wynosi jedną podziałkę, lecz w doświadczeniu nie zostało zmierzone, jak wpływa to na dokładność wyznaczenia względnej gęstości.

### 4.2 Względna gęstość obliczona z wagi Jolly'ego

Niepewność wzorcowania położenia wskazówki wagi Jolly'ego wynosi:

$$\Delta_d h = 0,1 \text{ cm}$$

Korzystając z prawa przenoszenia niepewności maksymalnych:

$$\Delta R = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial R}{\partial x_i} \right| \cdot \Delta x_i \quad (4)$$

## 5 Wnioski

## 6 Wykresy

## Literatura

- [1] Tadeusz Dryński. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 5 edition, 1976.
- [2] William Moebs, Samuel J. Ling, and Jeff Sanny. *Fizyka dla szkół wyższych, Tom 2*. OpenStax, 2018. Dostęp: 14.04.2024.