

30 WYZNACZANIE WZGLĘDNEJ GĘSTOŚCI CIECZY I CIAŁ STAŁYCH

1. ZAGADNIENIA TEORETYCZNE

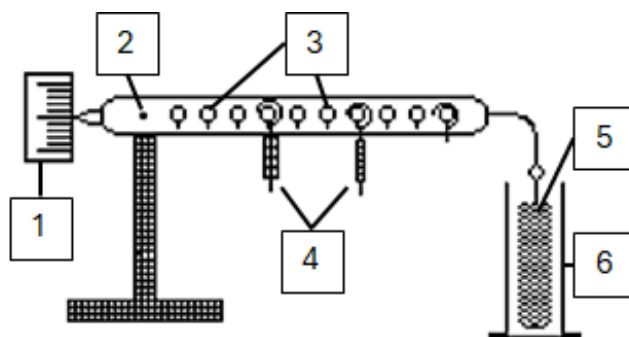
- Ciężar, masa, ciężar właściwy i gęstość substancji (bezwzględna i względna).
- Wpływ temperatury na gęstość substancji.
- Prawo Archimedesesa i związane z nim metody wyznaczania gęstości ciał.
- Prawo Pascala
- Zasada działania wagi Mohra i wagi Jolly'ego.

2. POMIARY

I) Waga Mohra

Waga Mohra działa w oparciu o warunek równowagi momentów sił ($\sum M = 0$). Po zanurzeniu nurka w cieczy działa na niego siła wyporu F_w , która wytwarza moment siły $M_w = r_n \cdot F_w$ (gdzie r_n to ramię, na którym zawieszony jest nurek). Powoduje to naruszenie równowagi wagi. Aby ją przywrócić, na nacięciach ramienia wiesza się obciążniki (koniki) o masach m_i , które generują przeciwny moment siły: $M_k = \sum(m_i \cdot g \cdot r_i)$, gdzie r_i to odległość i-tego konika od osi obrotu (odpowiadająca numerowi nacięcia od 1 do 10), g to przyspieszenie grawitacyjne. Ponieważ ramię wagi jest podzielone na 10 równych części, zmiana położenia konika (r_i) pozwala precyzyjnie zrównoważyć siłę wyporu. W stanie równowagi zachodzi: $F_w \cdot r_n = \sum(m_i \cdot g \cdot r_i)$.

Rysunek 1 przedstawia schemat układu pomiarowego.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego – wagi Mohra. 1 – wskaźnik, równowagi, 2 – punkt podparcia dźwigni, 3 – haczyki do zawieszania koników, 4 – koniki, 5 – nurek, 6 – naczynie z badaną cieczą.

- 1) Umieścić nurka na ramieniu wagi (rys. 1) i wyregulować jego położenie za pomocą śruby regulacyjnej znajdującej się na podstawie wagi, tak aby uzyskać równowagę. Sprawdzić prawidłowe ustawienie pionu, obserwując wskaźnik równowagi (1).
- 2) Wlać wodę destylowaną (ciecz wzorcową) do menzurki (6) i całkowicie zanurzyć w niej nurka (5), tak aby nie dotykał ścianek ani dna naczynia.
- 3) Po zanurzeniu nurka w cieczy wzorcowej waga utraci równowagę. Przywrócić ją, rozmieszczając obciążniki (koniki) (4) na ramieniu wagi i umieszczając je na odpowiednich haczykach (3). W zestawie znajdują się trzy rodzaje koników o masach umownych: 1A, 0,1A oraz 0,01A.
- 4) Zanotować dokładne położenie wszystkich koników użytych do zrównoważenia wagi oraz odpowiadające im masy umowne.
- 5) Wyjąć nurka z cieczy i starannie go osuszyć, aby pozostałości wody nie wpłynęły na kolejny pomiar.
- 6) Wylać wodę z menzurki do naczynia na ciecz wzorcową i dokładnie wypłukać menzurkę. Następnie wlać odpowiednią ilość innej dostępnej w zestawie cieczy i ponownie zanurzyć osuszonego nurka.
- 7) Powtórzyć czynności z punktów 3 i 4: zrównoważyć wagę oraz zapisać dane pomiarowe dla badanej cieczy.

II) Waga Jolly'ego

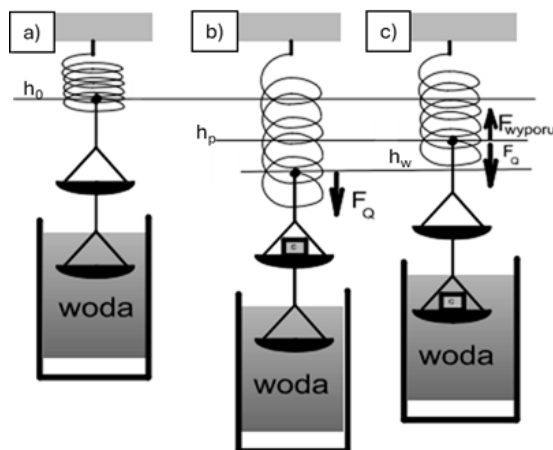
Zadanie 1. Wyznaczenie stałej sprężystości (Prawo Hooke'a) - Kalibracja wagi Jolly'ego

- 1) Ustalić położenie zerowe wskazówki wagi Jolly'ego przy braku obciążenia i zapisać położenie wskazówki h_0 .
Wskazówka: Wyeliminuj błąd paralaksy – Twoje oko, wskazówka i jej odbicie w lusterku muszą tworzyć jedną linię
- 2) Na szalkę wagi Jolly'ego należy położyć kolejno odważniki o masach od 1 g do 10 g, notując wydłużenia sprężyny w stanie równowagi dla każdego obciążenia.
- 3) Pomiar należy powtórzyć, zmniejszając obciążenie sprężyny – zaczynając od największej masy do najmniejszej.

Zadanie 2. Wyznaczenie gęstości ciał stałych

- 1) Przygotować cztery różne ciała przeznaczone do pomiaru gęstości.
- 2) Do zlewki wlać wodę destylowaną (ciecz wzorcową), zmierzyć jej temperaturę (T_w).
- 3) Zanurzyć dolną szalkę i odczytać nowe położenie zerowe układu h_0 w stanie równowagi (wskaźnik nieruchomy) (rys. 2a).
Wskazówka: Wyeliminuj błąd paralaksy – Twoje oko, wskazówka i jej odbicie w lusterku muszą tworzyć jedną linię.
- 4) **Pomiary w powietrzu:** Kolejno umieszczać badane ciała na górnej szalce (nad cieczą) i zapisywać położenia wskazówki h_p w stanie równowagi (rys. 2b).

- 5) **Pomiary w cieczy:** W tej samej kolejności umieszczać ciała na dolnej, zanurzonej szalce i zapisać położenia wskazówki h_w w stanie równowagi (rys. 2c). Zanurzenie dolnej szalki powinno umożliwiać swobodne zawieszenie ciała w cieczy, bez kontaktu ze ściankami i dnem zlewki.
- 6) Wylać wodę destylowaną, dokładnie wypłukać zlewkę i wlać alkohol (ciecz o znanej, innej gęstości). Powtórzyć kroki 2–5 dla nowej cieczy.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego - waga Jolly'ego.

3. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

I) Waga Mohra

- 1) Na podstawie pomiarów wykonanych z użyciem obciążników (koników), ich rozmieszczenia i typów (1A, 0.1A, 0.01A), obliczyć **masę wypartej cieczy** przez zanurzonego nurka, która jest równa sumie mas zastępczych wszystkich koników użytych do zrównoważenia wagi, zgodnie ze wzorem:

$$M = \sum_i m_i n_i$$

gdzie:

- M – masa wypartej cieczy (w jednostkach umownych A),
 m_i – masa umowna konika danego typu (1A, 0.1A, 0.01A),
 n_i – pozycja na ramieniu wagi (haczyk), na której zawieszono dany konik.

Jeśli użyto koników trzech typów, wzór przyjmuje postać:

$$M = 1A \cdot a + 0,1A \cdot b + 0,01A \cdot c$$

gdzie:

- a – suma pozycji haczyków, na których zawieszono koniki typu 1A,
 b – suma pozycji dla koników 0,1A,
 c – suma pozycji dla koników 0,01A.

- 2) Na podstawie prawa Archimidesa wyznaczyć **gęstość względną** $d_{b/w} = \frac{d_b}{d_w}$ badanej cieczy względem cieczy wzorcowej.

II) Waga Jolly'ego

Zadanie 1. Wyznaczanie stałej sprężystości (Prawo Hooke'a)

- 1) Na podstawie pomiarów wyznaczyć średnie położenie sprężyny (h_i) dla poszczególnych obciążeń jako średnia arytmetyczna wartości otrzymanych przy rosnącej i malejącej masie odważników.
- 2) Obliczyć wydłużenie: $\Delta h = h_i - h_0$ dla każdego obciążenia.
- 3) Sporządzić wykres zależności wydłużenia sprężyny od ciężaru $\Delta h = f(Q)$ i wyznaczyć stałą sprężystości k oraz jej niepewność (ONP rozdział 4.1.1).

Zadanie 2. Wyznaczenie gęstości ciał stałych

- 1) Wyprowadzić zależność gęstości od mierzonych wysokości.
- 2) Obliczyć **gęstość względną** wszystkich badanych ciał względem:
 - wody $d_{c/w} = \frac{d_c}{d_w}$
 - alkoholu $d_{c/a} = \frac{d_c}{d_a}$.
- 3) Odczytać z tablic fizycznych gęstość wody dla temperatury T_w oraz gęstość alkoholu dla temperatury T_a . Następnie obliczyć **gęstość bezwzględną** $d_{c_{bez}}$ wszystkich badanych ciał (w jednostkach $\frac{g}{cm^3}$ lub $\frac{kg}{m^3}$). Porównać je z wartościami tablicowymi.
- 4) Obliczyć **niepewności gęstości względnych** $u(d_{c/w})$ i $u(d_{c/a})$ opierając się na niepewności maksymalnej (ONP wzór 18).
- 5) Przyjmując, że gęstość wody i alkoholu odczytana z tablic fizycznych dla danej temperatury jest wartością dokładną (stałą), **niepewność gęstości bezwzględnej** $u(d_{c_{bez}})$ należy obliczyć, korzystając z przeskalowania **niepewności gęstości względnych**.

4. LITERATURA

- P. G. Hewitt, Fizyka wokół nas, PWN Warszawa 2001
- S. Szczeniowski, Fizyka Doświadczalna, tom II, PWN Warszawa 1976
- S. Przystalski, Fizyka z elementami biofizyki i agrofizyki PWN Warszawa 1987
- H. D. Young, R. A. Freedman, University Physics, Pearson, International Edition.
- OpenStax: <https://openstax.org/details/books/fizyka-dla-szkół-wyższych-tom-2>
- D. Halliday, R. Resnick, Fizyka, tom I, PWN, Warszawa 1994.