

Wyznaczanie gęstości materiałów litych

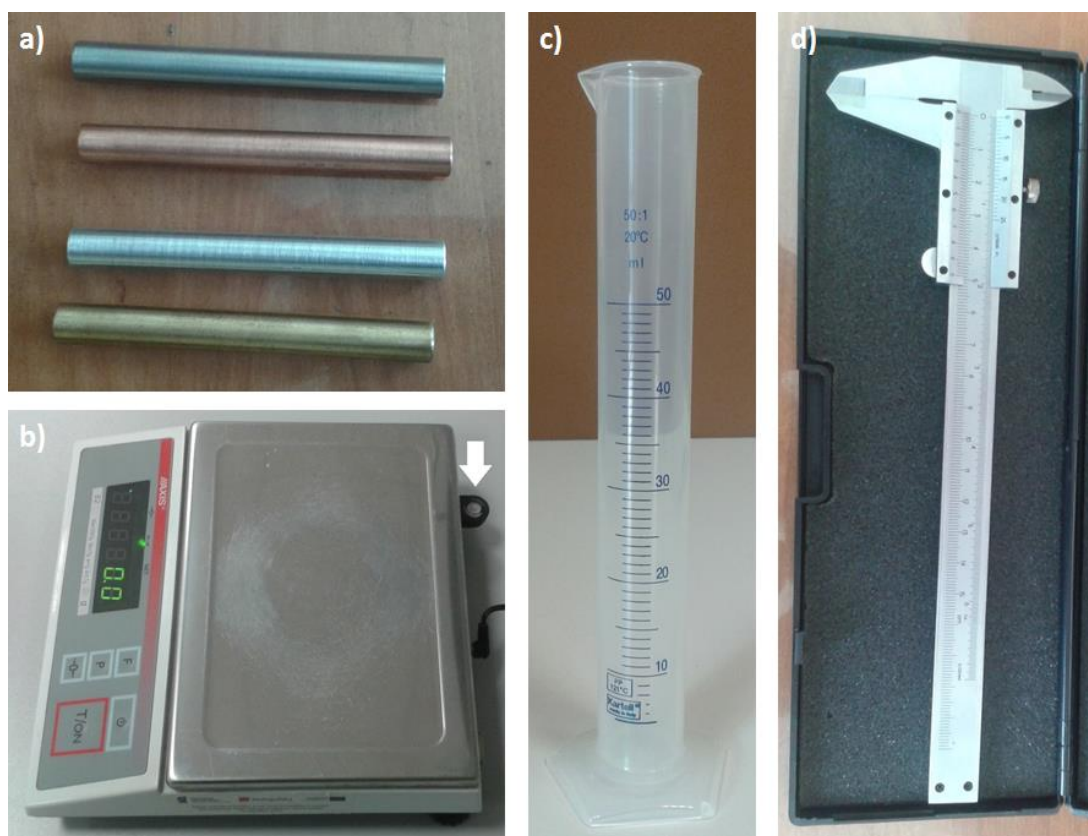
1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie gęstości prętów wykonanych z różnych substancji (Rys. 1a) na drodze pomiaru ich masy i objętości.

2. Przebieg ćwiczenia

Pomiaru masy m pręta dokonujemy za pomocą wagi elektronicznej (Rys. 1b). Przed włączeniem wagi należy sprawdzić, czy jest ona wypoziomowana (wskaźnik z tyłu urządzenia, zaznaczony strzałką na Rys. 1b).

Objętość pręta można wyznaczyć na dwa sposoby: I) z wykorzystaniem cylindra miarowego lub II) mierząc średnicę i długość pręta. To, który z wariantów ćwiczenia będzie realizowany, zostaje ustalone z prowadzącym na początku zajęć.



Rys. 1. Przykładowe pręty wykorzystywane w ćwiczeniu (a) oraz przyrządy pomiarowe: waga elektroniczna (b), cylinder miarowy (c) i suwmiarka (d).

Wariant I

W celu wyznaczenia objętości pręta należy nalać do cylindra miarowego (Rys. 1c) pewną ilość wody i odczytać ze skali na cylindrze dokładną objętość, następnie włożyć do cylindra badany pręt, tak aby został całkowicie zanurzony w wodzie, i ponownie odczytać objętość ze skali. Różnica objętości po i przed zanurzeniem pręta, V_{po} i V_{przed} , będzie równa objętości samego pręta. Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów konieczne jest sprawdzenie, jaką objętość wody należy wlać do cylindra, aby pręt po włożeniu został całkowicie zanurzony i aby jednocześnie poziom wody w cylindrze nie przekroczył skali.

Wariant II

Aby wyznaczyć objętość pręta, należy wykonać pomiar jego średnicy d oraz długości L z wykorzystaniem przyrządu pomiarowego, jakim jest suwmiarka (Rys. 1d). Zasada działania suwmiarki zostanie wyjaśniona przez prowadzącego ćwiczenie, lecz można znaleźć ją również na stronie I Pracowni Fizycznej UJ: <http://www.1pf.if.uj.edu.pl/materialy-do-cwiczen/programy-instrukcje-materialy-dodatkowe>.

Wyniki wykonanych pomiarów oraz ich niepewności należy wpisać do tabeli zamieszczonej w karcie pracy.

3. Opracowanie wyników

Gęstość pręta ρ jest równa jego masie m podzielonej przez objętość V :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (*)$$

Podczas obliczania niepewności wielkości złożonej, jaką jest wyznaczana w ćwiczeniu gęstość, należy uwzględnić niepewności wielkości mierzonych bezpośrednio.

Wariant I

Wartościami zmierzonymi bezpośrednio jest masa pręta m oraz objętości V_{po} i V_{przed} . Objętość pręta jest różnicą dwóch ostatnich wielkości:

$$V = V_{po} - V_{przed}$$

W przypadku, gdy wyznaczana wielkość jest różnicą lub sumą wyników pomiarów bezpośrednich, jej niepewność jest równa sumie niepewności wielkości zmierzonych bezpośrednio:

$$\Delta V = \Delta V_{po} + \Delta V_{przed}$$

Przykładowo, jeśli wykorzystywany w ćwiczeniu cylinder miarowy posiada skalę o podziałce co 1 ml, jako niepewności V_{po} i V_{przed} można także przyjąć 1 ml, przez co niepewność objętości pręta będzie równa $1 \text{ ml} + 1 \text{ ml} = 2 \text{ ml}$ (2 cm^3).

Gęstość pręta jest ilorazem m i V . Jeśli wielkość złożona jest ilorazem lub iloczynem dwóch wielkości, jej niepewność względna – stosunek niepewności bezwzględnej $\Delta\rho$ do samej wartości ρ , często wyrażany w procentach – jest równa sumie niepewności względnych tych wielkości, czyli:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V}$$

co po prostym przekształceniu daje wzór na niepewność bezwzględną:

$$\Delta\rho = \rho \left(\frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V} \right)$$

Wariant II

Objętość pręta w kształcie walca o długości L i średnicy podstawy d wyraża się wzorem:

$$V = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 L = \frac{\pi}{4} d^2 L$$

Po wstawieniu tego wzoru do równania (*) otrzymujemy wzór na gęstość pręta:

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 L}$$

Wyprowadzenie wzoru na niepewność wielkości złożonej $\Delta\rho$ przeprowadzane jest z wykorzystaniem rachunku różniczkowego. Wyjątkiem są sytuacje, w których wielkość złożona wyraża się stosunkowo prostym wzorem, np. jest różnicą lub ilorazem dwóch innych wielkości, co ma miejsce w I wariantcie ćwiczenia. Tutaj podajemy ostateczny wzór na niepewność względną gęstości pręta:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{2\Delta d}{d}$$

co po przekształceniu daje wzór na niepewność bezwzględną:

$$\Delta\rho = \rho \left(\frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{2\Delta d}{d} \right)$$

Warto porównać ostateczne wzory na $\Delta\rho$ z I oraz II wariantu ćwiczenia i zwrócić uwagę na to, że niepewność względna średnicy pręta d jest pomnożona przez dwa ze względu na to, że we wzorze na gęstość pojawia się w drugiej potęgze.

Po obliczeniu wartości ρ dla badanych prętów należy porównać wyniki z tablicowymi wartościami gęstości różnych materiałów zamieszczonymi w karcie pracy. Czy na podstawie wyznaczonych w doświadczeniu gęstości możemy jednoznacznie określić, z jakiego materiału wykonano badane pręty? Jakie inne właściwości można wykorzystać do identyfikacji materiału?