

## MC 9.1. Wyznaczanie współczynnika lepkości dynamicznej metodą Stokes'a

### INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

#### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko lepkości
2. Siły tarcia wewnętrzznego, wzór Newtona
3. Przepływ laminarny i turbulentny
4. Współczynnik lepkości dynamicznej
5. Prawo Stokes'a
6. Ruch kulki opadającej w cieczy: analiza sił działających na kulkę i rodzajów ruchu

#### Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Mechanika, termodynamika i fizyka cząsteczkowa*, M. Bobyk, H. Goebel, W. Gustaw, red. E. Śpiewła, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, PWN, Warszawa 2003, tom I i II.
3. Cz. Bobrowski, *Fizyka- krótki kurs*, PWN, Warszawa 1999.

#### Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Gęstość materiału kulek:

- kulki szklane:  $\rho_k = 2497 \text{ kg/m}^3$

- pozostałe kulki - gęstość należy wyznaczyć doświadczalnie

Gęstość oleju:  $\rho_c = 881,2 \text{ kg/m}^3$  dla  $23^\circ\text{C}$

Gęstość gliceryny:  $\rho_c = 1260 \text{ kg/m}^3$  dla  $20^\circ\text{C}$

#### **UWAGA**

- w zespołach 2-osobowych każdy student wykonuje pomiary dla jednej cieczy (innej niż kolega) i jednego rodzaju kulek. Liczba pomiarów - 10.
- wszelkie operacje z kulkami należy przeprowadzać nad podstawką, gdyż bardzo łatwo można je zgubić
- dla pomiarów własności gliceryny należy użyć kulki białe lub szklane
- dla pomiarów własności oleju należy użyć kulki żółte lub pomarańczowe

#### Wykonanie zadania:

##### a) Wyznaczanie gęstości materiału kulek $\rho_k$

1. Wybrać losowo  $N = 100$  kulek i zważyć je za pomocą wagi elektronicznej.
2. Średni promień kulki  $r$  wyznaczyć na podstawie pomiarów z pkt. 7 zamieszczonych w tabeli.
3. Gęstość materiału kulek wyliczyć ze wzoru:

$$\rho_k = \frac{m}{N \cdot \frac{4}{3} \pi r^3} \quad \text{gdzie: } m - \text{masa } N \text{ kulek, } r - \text{średni promień kulki}$$

##### b) Wyznaczanie współczynnika lepkości

4. Używając przymiaru milimetrowego, na cylindrze z cieczą zmierzyć odległość  $s$  między punktami początkowym i końcowym pomiaru czasu. Jest to długość drogi w ruchu jednostajnym (rys.1). Punkty zaznaczone są taśmą na cylindrze.

- Za pomocą suwmiarki kilkakrotnie zmierzyć średnicę wewnętrzną cylindra  $D$  a następnie wyznaczyć średnią wartość promienia cylindra  $R$ . Uwaga: do pomiaru średnicy wewnętrznej wykorzystujemy odpowiednie szczęki suwmiarki.
- Z pojemnika z kulkami wybrać losowo jedną kulkę.
- Za pomocą śruby mikrometrycznej zmierzyć średnicę kulki  $d$  z dokładnością do  $0,01\text{ mm}$ , a następnie wyliczyć promień kulki  $r$ . Każdej wrzuconej kulce musi być przypisana średnica i promień.
- Przez otwór w przykrywce cylindra z badaną cieczą wrzucić wybraną kulkę. Za pomocą stopera zmierzyć czas opadania kulki  $t$  pomiędzy znacznikami na cylindrze (czas ruchu jednostajnego).
- Wyniki pomiarów wpisać do tabeli przygotowanej według poniższego wzoru:

L.p	rodzaj cieczy	s [m]	D [m]	R [m]	d [m]	r [m]	t [s]	$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_c$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\eta_i$ [Pa·s]	$\eta$ [Pa·s]
1											
2											
..											
N											

- Czynności z punktów 6–9 powtórzyć kilkakrotnie (według wskazań prowadzącego).
- Współczynnik lepkości dynamicznej  $\eta_i$  obliczyć ze wzoru:

$$\eta_i = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_c) \cdot t}{9 \cdot s \cdot \left(1 + 2,4 \frac{r}{R}\right)} \quad (1)$$

gdzie:

- $r$  [m] - promień kulki
- $\rho_k, \rho_c$  [kg/m<sup>3</sup>] - gęstość materiału kulek i gęstość cieczy,
- $t$  [s] - czas ruchu jednostajnego,
- $s$  [m] - droga w ruchu jednostajnym,
- $R$  [m] - promień wewnętrzny cylindra (średni),
- $g$  [m/s<sup>2</sup>] - przyspieszenie ziemskie.

- Wyliczyć średnią wartość współczynnika lepkości  $\eta$ .



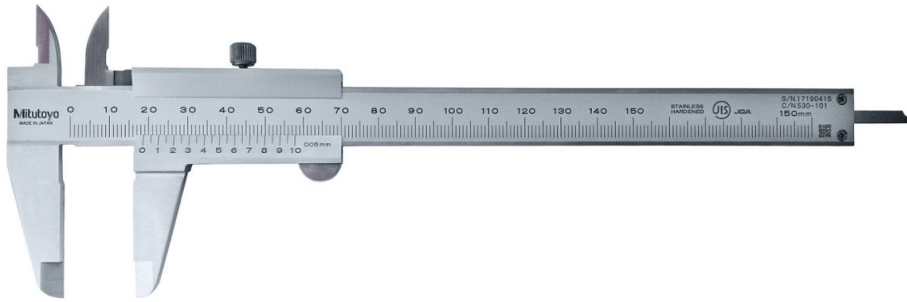
- Niepewność wyznaczenia współczynnika lepkości  $\eta$  wyliczyć metodą Gaussa przyjmując że  $\eta$  jest wielkością o rozkładzie statystycznym, lub metodą różniczkowania wzoru (1), przyjmując, że  $\eta = f(r, R, t, s)$ .

Rys. 1. Fotografia stanowiska pomiarowego

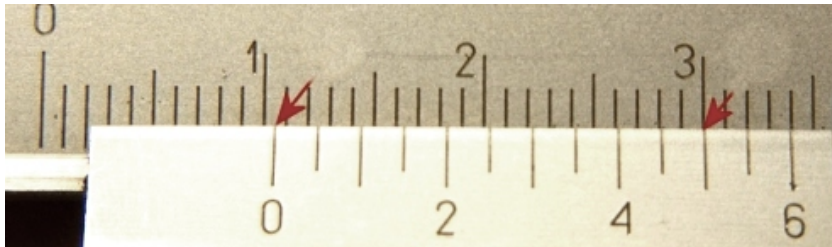
Autor instrukcji:

# INSTRUKCJA TECHNICZNA

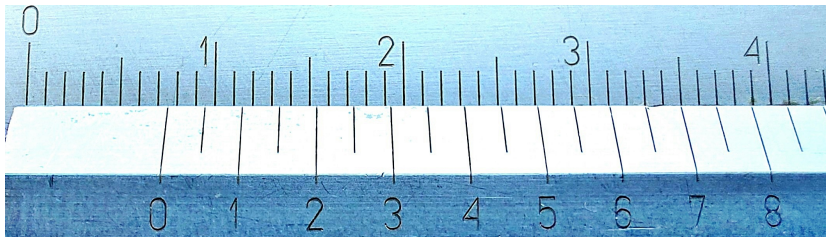
## Pomiary przy pomocy suwmiarki:



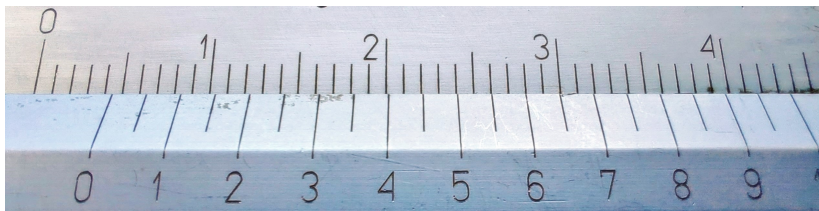
Przedstawiona suwmiarka pozwala mierzyć rozmiary przedmiotów z dokładnością do 0,05 mm. Odczyt następuje ze skali głównej i noniusza (mała skala). Całe milimetry odczytujemy ze skali głównej naprzeciwko zera noniusza. Następnie poszukujemy kreski z obu skal które leżą dokładnie naprzeciwko siebie. Numer kreski noniusza określa dziesiąte i setne części milimetra. Nie jest istotny numer kreski skali głównej. Przykłady poniżej.



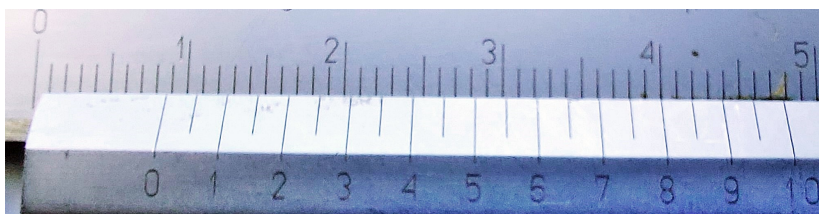
**10,5 mm**



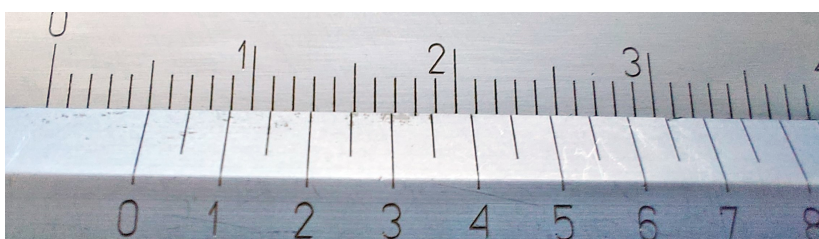
**7,6 mm**



**4,55 mm**



**8,8 mm**



**5,05 mm**

# INSTRUKCJA TECHNICZNA

## Pomiary przy pomocy śruby mikrometrycznej



Skok śruby wynosi 0,5 mm, więc 1 obrót śruby powoduje zmianę szczeliny pomiarowej o 0,5 mm. Bęben śruby podzielony jest na 50 działek, zatem obrót bębna o 1 działkę powoduje jej przesuw o 0,01 mm.

### Pomiar:

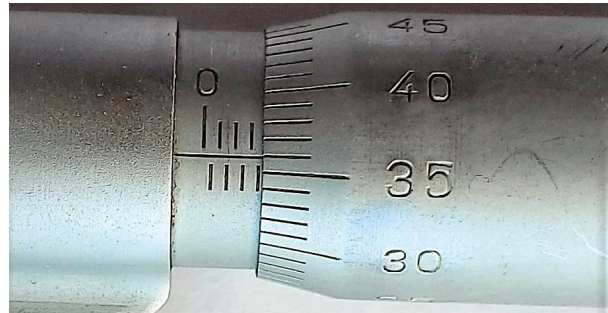
- Umieścić badany przedmiot w szczeliny pomiarowej i dokręcić śrubę za pomocą sprzęgiełka znajdującego się na końcu śruby. Nie dokręcać śruby "na siłę".
- Odczytać zmierzoną wartość.

Całe milimetry odczytujemy z górnej części skali głównej, gdzie kreski zaznaczone są co milimetr. Ponieważ 1 obrót śruby to tylko 0,5 mm, więc w dolnej części skali naniesiono kreski dokładnie w połowie między kreskami górnymi. Z bębna odczytujemy setne części milimetra. Ostateczny wynik pomiaru zależy jednak od tego, czy przekroczyliśmy połowę milimetra (czy widać dolną kreskę). Jeśli tak, to do odczytu z bębna należy dodać 0,50 mm.

### Przykłady:



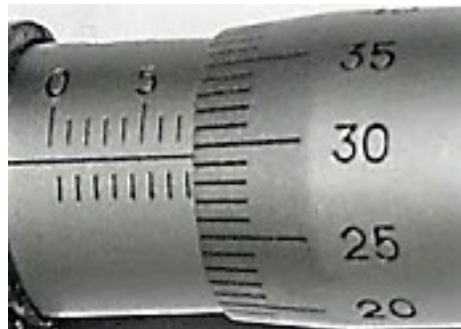
**3,36 mm**



**3,86 mm**



**3,59 mm**



**7,80 mm**