

# WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA LEPKOŚCI CIECZY METODĄ STOKESA.

## Cel ćwiczenia:

Wyznaczenie lepkości cieczy.

## Spis przyrządów:

Śruba mikrometryczna, waga analityczna, stoper, cylinder z cieczą.

## Pytania i zagadnienia:

1. Określenie współczynnika lepkości (definicja, równanie, jednostki).
2. Od czego zależy współczynnik lepkości danej cieczy?
3. Jakie siły działają na kulkę metalową opadającą w cieczy?. Wykonać odpowiedni rysunek; zaznaczyć wektory.  
Każdą z tych sił określić odpowiednim wzorem (napisać wzór).
4. Technika ważenia za pomocą wagi analitycznej.
5. Przebieg ćwiczenia i sposób opracowania wyników.

## Literatura:

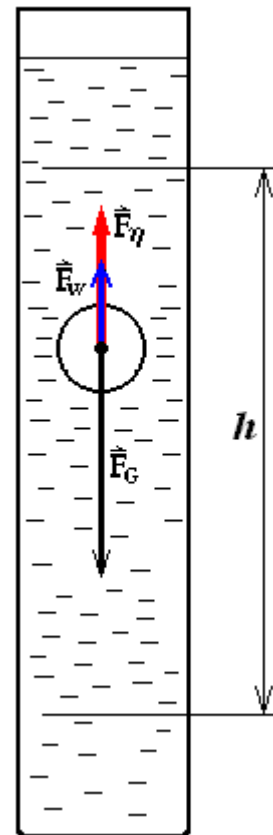
1. M. Skorko, *Fizyka*, PWN, Warszawa, 1973. .
2. Zawadzki, H. Hofmokl, *Laboratorium fizyczne*. PWN, W-wa, 1964.
3. T. Dryński, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*. PWN, W-wa 1978.
4. H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna*. PWN, W-wa 1989.
5. *I Pracownia Fizyczna*. pod red. Cz. Kajtocha, Wydawnictwo Naukowe AP, Kraków 2007

# WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA LEPKOŚCI CIECZY METODĄ STOKESA.

## Tok postępowania podczas wykonania ćwiczenia:

1. Zmierzyć średnicę 10 kulek za pomocą śruby mikrometrycznej. Obliczyć promień  $r$  kulki oraz średni promień  $\bar{r}$  10 kulek .
2. Wyznaczyć masę 10 kulek. Obliczyć średnią masę  $\bar{m}$  jednej kulki.
3. Wyznaczyć wysokość słupa cieczy  $h$  w cylindrze, na której opadanie kulki odbywa się ruchem jednostajnym.
4. Zmierzyć, za pomocą stopera, czas przebycia wysokości  $h$  dla każdej z 10 kulek. Obliczyć średni czas  $\bar{t}$  przebycia wysokości  $h$ .
5. Odczytać temperaturę pomiaru, gęstość cieczy  $\rho_p$  i średnicę cylindra.
6. Obliczyć współczynnik lepkości wykorzystując wzór:

$$\eta = \frac{\left( \bar{m} - \frac{4}{3} \pi \bar{r}^3 \rho_p \right) g \bar{t}}{6 \pi \bar{r} h \left( 1 + 2,4 \frac{\bar{r}}{R} \right)}$$



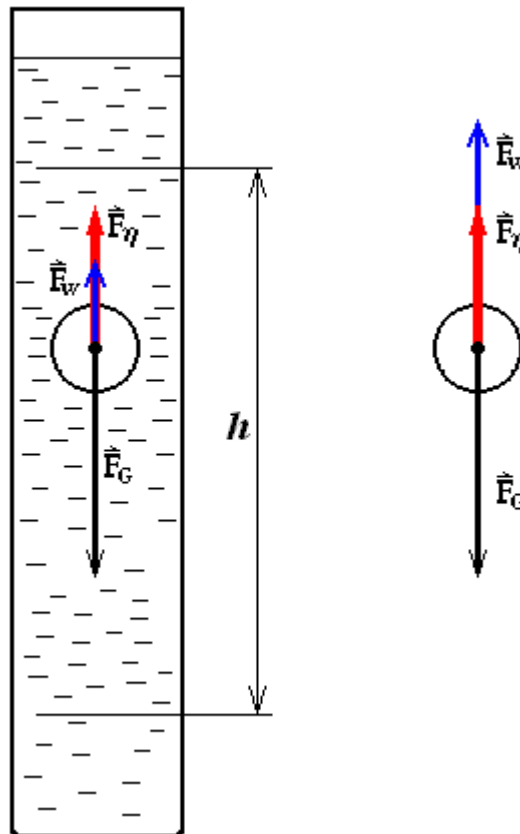
7. Pomiary wykonać dla cieczy i kulek wskazanych przez prowadzącego.
8. Przeprowadzić rachunek niepewności pomiarowych i dyskusję otrzymanych wyników.

# WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA LEPKOŚCI CIECZY METODĄ STOKESA

## Wstęp teoretyczny

Lepkość ciecży występuje zarówno przy ruchu ciecży względem nieruchomych ścianek jak również przy ruchu ciała względem nieruchomej ciecży. Ten drugi przypadek występowania lepkości jest przedmiotem omawianego ćwiczenia.

Ciecz zwilżająca pokrywa cienką warstwą ciała w niej zanurzone. W przypadku gdy kulka jest w ruchu, tarcie występuje wewnątrz samego płynu, pomiędzy jego warstwami między kulką i płynem. Kulka pociąga za sobą warstwę przylegającego płynu, a ten na skutek zjawiska tarcia wewnętrznego wprawia w ruch następne warstwy.



Rys. 1. Siły działające na kulkę spadającą w ośrodku lepkim.

Siła oporu jaki płyn stawia poruszającej się kulce, jest proporcjonalna do: promienia kulki  $r$ , jej prędkości  $v$ , oraz współczynnika lepkości płynu  $\eta$

$$F_\eta = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (1)$$

Na kulkę działa siła ciężkości. Jeżeli kulka wykonana jest z materiału o gęstości  $\rho$ , większej od gęstości płynu  $\rho_p$ , to ruch następuje na skutek działania siły ciężkości:

$$F_G = m \cdot g \quad (2)$$

Ponieważ kulka spada w ośrodku płynnym działa na nią również siła wyporu, która zgodnie z prawem Archimedesesa wyraża się wzorem:

$$F_W = V\rho_p \cdot g = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho_p \cdot g \quad (3)$$

Początkowo siła ciężkości jest większa od sumy sił pozostałych i kulka spada ruchem przyspieszonym ze wzrastającą prędkością  $v$ . W miarę wzrostu prędkości kulki, siła oporu lepkości coraz bardziej rośnie i w pewnej chwili wartość siły ciężkości staje się równa sumie wartości pozostałych sił. Od tego momentu dalszy spadek kuli odbywa się ruchem jednostajnym.

Z warunku równowagi sił, a zarazem warunku ruchu jednostajnego wynika że:

$$F_G = F_\eta + F_W$$

czyli

$$mg = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v + \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rho_p \cdot g \quad (4)$$

Znając prędkość  $v$ , promień kulki  $r$ , jej masę  $m$ , oraz gęstość płynu  $\rho_p$  można, korzystając z powyższego wzoru wyznaczyć współczynnik lepkości  $\eta$

$$\eta = \frac{\left(m - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_p\right)g}{6\pi r v} \quad (5)$$

Powyższe równanie jest słuszne jedynie w zastosowaniu do cieczy nieskończenie rozciągliwych, tzn. znajdujących się w bardzo szerokich naczyniach. Jeżeli kulka spada w rurze cylindrycznej o promieniu  $R$ , występujące wówczas wpływy ścianek zmniejszają prędkość spadania i należy wprowadzić czynnik korekcyjny zależny od stosunku  $\frac{r}{R}$ .

Otrzymujemy wówczas skorygowany wzór:

$$\eta = \frac{\left(m - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_p\right)g}{6\pi r v \left(1 + 2,4 \frac{r}{R}\right)} \quad (6)$$

W wykonywanym ćwiczeniu prędkość  $v = \frac{h}{t}$

gdzie:  $h$  - droga przebyta ruchem jednostajnym,

$t$  - czas, w którym została ona przebyta.

Ostateczny wzór ma postać:

$$\eta = \frac{\left(\bar{m} - \frac{4}{3}\pi \bar{r}^3 \rho_p\right)g \bar{t}}{6\pi \bar{r} h \left(1 + 2,4 \frac{\bar{r}}{R}\right)} \quad (7)$$

**Dane:**

Średnica cylindra z gliceryną  $2R = 46,4 \text{ mm}$

Średnica cylindra z olejem parafinowym  $2R = 45,8 \text{ mm}$

Średnica cylindra z glikolem propylenowym  $2R = 50,2 \text{ mm}$

Przyspieszenie ziemskie w Krakowie  $- 9,81045 \text{ m/s}^2$

**Wartości tablicowe**

	<b>GĘSTOŚĆ</b>	<b>LEPKOŚĆ</b>
	$1 \text{ kg/m}^3$	<i>paskalosekunda</i> , $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$
	$1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$ ; $1 \text{ g/dm}^3 = 1 \text{ kg/m}^3$	<i>puaz</i> $1 \text{ P} = 0.1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
gliceryna	$\rho_p = 1,23 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1,23 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1230 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$12100 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \text{ (} 0^0\text{C)}$
		$3950 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \text{ (} 10^0\text{C)}$
		$1499 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \text{ (} 20^0\text{C)}$
		$945 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \text{ (} 25^0\text{C)}$
		$629 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \text{ (} 30^0\text{C)}$
		$180 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \text{ (} 50^0\text{C)}$
olej parafinowy	$\rho_p = 0,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,85 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$110 \div 230 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
glikol propylenowy	$\rho_p = 1,05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1,05 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$52,7 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$