

Opis układu doświadczalnego do ćwiczenia nr

## LEPKOŚĆ CIECZY – METODA STOKESA

Układ pomiarowy pozwala na obserwację i pomiary prędkości spadku kulistych ciężarków w cieczy wypełniającej cylindryczną rurę nazywaną wiskozymetrem Stokesa. Ujawniają się w nim skutki oporów ruchu obiektów w płynach określane jako lepkość. Podstawowy model opisu zagadnienia (opracowany przez G. G. Stokesa) wiąże siłę oporów ruchu z własnościami samego płynu (lepkość) i wielkością spadającego obiektu. Przy praktycznym wykorzystaniu wiskozymetrów Stokesa, w określonych warunkach, istotny wpływ na wyniki pomiarów ma również wielkość przekroju poprzecznego cylindra. W zestawie przyrządów wykorzystywanych w ćwiczeniu przygotowano więc wiskozymetry o różnych średnicach. Oprócz wyznaczenia współczynnika lepkości badanej cieczy, możliwa jest również weryfikacja skuteczności metod uwzględniania dodatkowych oporów ruchu pochodzących od ścianek cylindra.

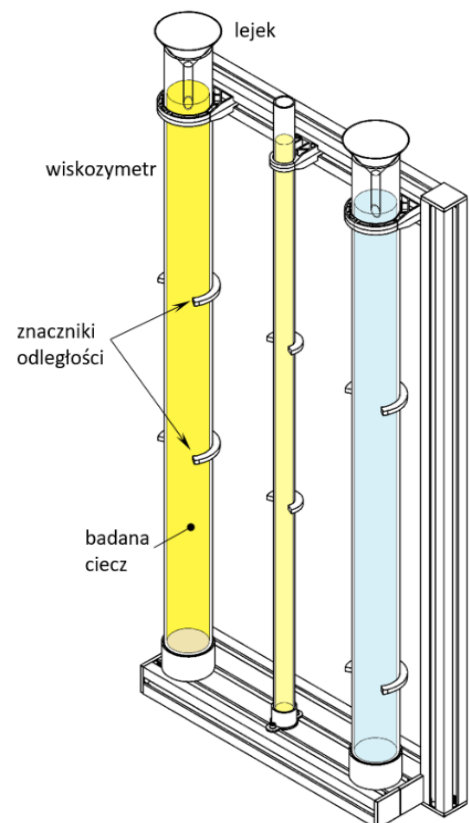
### Istotne zagadnienia teoretyczne i techniczne

- pojęcie lepkości - mechanizm i wielkości wykorzystywane przy opisie
- zależność lepkości od temperatury dla różnych rodzajów płynów
- prawa Archimedesesa i Bernoulliego
- rozkłady ciśnienia i prędkości w cieczy otaczającej kulkę
- prawo Stokesa
- budowa i zakres stosowalności wiskozymetrów (Stokesa, Höpplera, rotacyjnego i kapilarnego)
- budowa piknometru i sposób wyznaczania gęstości przy jego pomocy

### Opis układu

W układzie doświadczalnym, którego schemat przedstawia rys.1, na statywie zawieszonym na ścianie zamocowano pionowo cylindryczne rury szklane, które wypełnia się badanymi cieczami. Bezpośrednim pomiarom podlegają czasy w jakich kuliste ciężarki o określonej wielkości i masie pokonują ustalony dystans przy opadaniu w cieczy pod wpływem sił: ciężkości, wyporu i oporów ruchu. Aby ułatwić ustalenie tego dystansu na cylindry zakłada się przesuwne znaczniki odległości. Pozwalają one na dokładniejsze pomiary drogi i czasu ruchu.

Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów czasu opadania kulek w cieczy konieczne jest prawidłowe wybranie położenia znaczników. Górny powinien znaleźć się na wysokości zapewniającej spełnienie



Rys. 1. Schemat układu z wiskozymetrami Stokesa o różnych średnicach cylindrów.

podstawowych warunków metody Stokesa. Położenie dolnego natomiast, powinno umożliwiać pomiary czasu z możliwie jak najmniejszą niepewnością względną, jednak bez nadmiernego przedłużania procedur pomiarowych.

Cylindry o różnych średnicach, po napełnieniu tą samą cieczą pozwalają na weryfikację metod uwzględniania dodatkowych oporów ruchu w warunkach kiedy duża lepkość cieczy powoduje istotny przyczynek związany z bliskim sąsiedztwem ściany cylindra. Metody te opierają się na kontrolowanych zmianach parametrów geometrycznych związanych z wielkością poruszającej się kulki i objętością otaczającego ją płynu, która jest wprowadzana w ruch razem z nią na skutek lepkości. Najprostszą z nich – obok różnych średnic cylindrów – jest użycie kulek o różnych średnicach.

Wspomniane powyżej metody, jako jedno z założeń upraszczających opis wykorzystują symetrię otoczenia kulki. Jeżeli kulka porusza się zbyt daleko od osi cylindra, czyli zbyt blisko ściany z którejkolwiek strony, warunki te nie są spełnione. W takich sytuacjach należy odstąpić od pomiaru czasu i użyć następnej kulki. W celu ograniczenia liczby kulek niewykorzystanych w pomiarach stosowane są lejki powodujące, że kulki wpadają do cieczy blisko osi cylindrów. Mimo to, niektóre z nich w początkowej fazie ruchu i tak mogą poruszać się po zakrzywionym torze i znaleźć się zbyt blisko ściany. Jeżeli pomiar czasu zostanie wykonany w takich okolicznościach, jego wynik należy oznaczyć i poddać dodatkowemu rozpatrzeniu na etapie analizy danych pomiarowych (np. testowi Chauveneta pozwalającego na eliminację skutków tzw. błędów nadmiernych).

Niezbędne przyrządy pomiarowe: taśma miernicza ze skalą milimetrową, stoper, suwmiarka, waga precyzyjna, piknometr do wyznaczenia gęstości cieczy.

## Literatura

T. Dryński, „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki”, wyd. VI, PWN, Warszawa 1977 (lub inne wydanie)

R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, „Feynmana wykłady z fizyki”, tom 1, wyd. VI, PWN, Warszawa 2011 (lub inne wydanie)

D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, „Podstawy fizyki”, PWN, Warszawa 2007

H. Szydłowski, „Pracownia fizyczna”, wyd. IX, PWN, Warszawa 1997 (lub inne wydanie)

### Wybrane parametry geometryczne istotne w analizie danych pomiarowych

W ćwiczeniu wykorzystywane są precyzyjnie wykonane kulki stalowe o następujących wymiarach (podanych z tolerancjami, tj. maksymalnymi odchyleniami od wartości nominalnej):

średnica mniejszych kulek:  $1,5770 \pm 0,0011$  mm

średnica większych kulek:  $2,0278 \pm 0,0013$  mm

Piknometr do wyznaczenia gęstości badanych cieczy ma pojemność 10 ml (w temperaturze 20°C)