

Pomiar lepkości - zasady opracowywania wyników.

Michał Urbański

Należy przeprowadzić dwie serie pomiarów:

- 1) zależność drogi od czasu: zmierzyć czas, co 10cm (20cm dla oleju).
- 2) czasu ruchu kulek (kilkanaście serii dla różnych kulek) na drodze 1m.

1. Pomiar zależności drogi od czasu

Na odcinku o długości 100cm co 10 cm w glicerynie i co 20cm w oleju wykonać pomiary zależności położenia od czasu. Wykreślić zależność drogi od czasu i sprawdzić czy zaobserwujemy odchylenie od prostej. Wyliczyć stałą czasową τ na podstawie prędkości granicznej v_{gr} i przyspieszenia grawitacyjnego g . Wyliczyć na jakiej drodze prędkość osiągnie wartość różniącą się o 1/10 od wartości prędkości granicznej.

W opracowaniu wyprowadzić wzór opisujący zależność prędkości $v(t)$ ruchu kulki w ośrodku lepkim (oznaczenia jak w instrukcji):

$$v(t) = v_{gr} + (v(0) - v_{gr}) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad \text{gdzie} \quad \tau = \frac{m}{K} = \frac{v_{gr}}{g} \left(\frac{\rho}{\rho - \rho_c} \right) \quad (1)$$

Wyprowadzić wzór na położenie od czasu $x(t)$ całkując $v(t)$ ze wzoru (1).

Pokazać, że stała czasowa τ jest na tyle mała, że wykonywane pomiary położenia od czasu nie mogą być podstawą wyznaczania stałej czasowej τ . Przedyskutować założenia przy których równanie (1) zostało wyprowadzone.

2. Pomiary czasu opadania kulki i wyznaczanie lepkości.

2.1. Dla każdej kulki należy zmierzyć: masę, średnicę czas spadania, dla drogi ok 1m (podać położenie początkowe i końcowe obserwacji). Wykonać dwie serie dla kulek o różnych średnicach (małe, średnie, duże) po 10 -12 pomiarów dla kulek jednego rodzaju. Każda seria powinna być wykonana dla kulek o takiej samej średnicy (można powtarzać dla tej samej kulki).

2.2. Dla każdego zmierzonoego czasu spadania wyliczyć lepkość η_i w i-tym pomiarze ze wzoru z instrukcji (wstawiono $v=L/t$):

$$\eta_i = \frac{\left(m_i - \frac{4}{3} \pi r_i^3 \rho \right) g t_i}{6 \pi r_i L_i \left(1 + 2,4 \frac{r_i}{R} \right)} \quad (2)$$

gdzie L_i - droga przebyta przez kulkę o promieniu r_i w czasie t_i .

2.3. Wyliczyć wartości średnie lepkości (wyliczonej dla każdego pomiaru ze wzoru (2)) dla każdej serii pomiarowej (osobno dla kulek o każdej średnicy):

$$\bar{\eta} = \frac{1}{N} \sum_i \eta_i \quad (3)$$

Wyliczyć odchylenie standardowe średniej $s(\bar{\eta})$. Estymator odchylenia standardowego dla wartości średniej z próby wynosi:

$$s(\bar{\eta}) = \sqrt{\frac{\sum (\eta_i - \bar{\eta})^2}{N(N-1)}}$$

Wyjaśnić zaobserwowaną różnicę wartości średnich i odchyłeń standardowych.

2.4. Wyliczyć niepewność złożona (całkowita):

$$u(x) = \sqrt{u_s(\eta) + s^2(\bar{\eta})} \quad (4)$$

gdzie $u_s(\eta)$ - niepewność składowej systematycznej wyznaczona na podstawie niepewności granicznych:

$$u_s^2(\eta) = \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial \eta}{\partial x_j} \right)^2 u_s^2(x_j), \quad (5)$$

gdzie: $u_s(x_j)$ - niepewność składowych x_j ,

$$u_s(x_i) = \frac{\Delta x_i}{\sqrt{3}}, \quad \text{gdzie} \quad \Delta x_i \text{ błędy graniczne poszczególnych składników od}$$

których zależy wyliczona lepkość: czas, długość, promień, masa, gęstość, itd.

Należy wyliczyć poszczególne składowe $\frac{\partial \eta}{\partial x_i} u_s(x_i)$ równania (5) i wypisać je przed wstawieniem do wzoru (5) i (4), aby przedyskutować, który człon ma największy wpływ na dokładność. Błędy graniczne należy wyznaczyć na podstawie danych przyrządów pomiarowych. Jeśli brak danych założyć, że:

$\Delta t = 0.2s$ - składowa systematyczna refleksu (można przyjąć inną wartość jeśli się to zbada indywidualnie)

$\Delta m = 0.1mg$ (lub $1mg$) zależy od użytej wagi - ale to należy sprawdzić.

$\Delta L = 0.01m = 10mm$ (niepewność graniczna pomiaru długości drogi)

$\Delta D = 0.02mm$ (niepewność graniczna średnicy mierzonej mikrometrem).

Dla gęstości i przyspieszenia grawitacyjnego przyjąć niepewność graniczną względną 0,1%.

2.5. Wyliczyć niepewność rozszerzoną dla $p=0.95$ ze wzoru $U_p(\eta) = K_p u(\eta)$,
przyjąć: $K_p u = 2$.

Pytania (przykłady):

1. Wyprowadź wzór (1),
2. Podaj definicję lepkości (wzór), zrób rysunek i zapisz warunki definicji.
3. Co to jest przepływ laminarny i burzliwy. Jak zmienia się siła lepkości z prędkością i jak zależy od rodzaju przepływu?
4. Czas lotu kulki w oleju na drodze $L=1m$ wynosi $t=25s$, oszacuj stałą czasową τ , mając wartość przyspieszenia grawitacyjnego i gęstość oleju ok $800kg/m^3$.