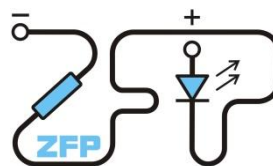


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum I



Úloha č. XIX

Název úlohy: Volný pád koule ve viskózní kapalině

Jméno: Ondřej Skácel

Obor: FOF

Datum měření: 9.3.2015

Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:

Pracovní úkoly

- 1) Ověřte, zda jsou pro dané experimentální uspořádání splněny podmínky platnosti Stokesova vzorce pro odpor prostředí při pohybu koule, určete Reynoldsovo číslo.
- 2) Změřte dynamickou viskozitu olivového a ricinového oleje Stokesovou metodou.
- 3) Pro jednu kapalinu proveďte měření s více kuličkami. Výsledky porovnejte.
- 4) Hustotu skleněných kuliček určete pyknometrickou metodou.

Teoretická část

Odporovou sílu viskózní kapaliny působící na kuličku lze vyjádřit vztahem

$$F_o = 6\pi\eta r v$$

kde η je dynamická viskozita kapaliny, r poloměr kuličky a v její rychlost. Tento vztah platí pokud rychlost kuličky je taková, aby Reynoldsovo číslo, tj.výraz

$$Re = \frac{2rv\rho}{\eta}$$

kde ρ je hustota kapaliny, bylo řádově menší než 1.

Stokesova metoda měření viskozity[1] spočívá v měření rychlosti kuliček padajících rovnoměrnou rychlostí v dané kapalině. Z rovnosti gravitační, vztlakové a odporové síly potom plyne

$$\eta = \frac{2r^2(\rho_k - \rho)g}{9v(1 - 2,4\frac{r}{R})}$$

kde ρ_k je hustota kuliček, R poloměr válcové nádoby v níž padají a g gravitační zrychlení.

Rychlost v zjistíme změřením času t během kterého kulička spadne o vzdálenost d dvou značek na válci, které jsou umístěny tak, aby již mezi nimi kulička nezrychlovala.

Hustotu ρ_k kuliček změříme pyknometrickou metodou[2], tj. zvážením prázdného pyknometru(m_1), pyknometru obsahujícího měřené kuličky(m_2), pyknometru, který obsahuje stejné množství kuliček jako v předchozím případě, ale je dolit destilovanou vodou(m_3) a pyknometru pouze s destilovanou vodou (m_4). Hustotu pak určíme ze vztahu

$$\rho_k = \rho_v \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3 + m_2 - m_1}$$

kde ρ_v je hustota destilované vody.

Výsledky měření

Všechna měření probíhala za teploty $(24,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$. Všechny chyby jsou vztaženy na pravděpodobnost 1σ .

Chyby měření

hmotnosti

$$u_m = 0,003g$$

času (prováděno ručními stopkami)

$$u_t = 0,2s$$

poloměru kuliček (prováděno dílenským mikroskopem)

$$u_r = 0,01mm$$

Měření hustoty kuliček

Při teplotě $24,0^\circ\text{C}$ je tabulková hustota vody $\rho_v = 997,3 \frac{kg}{m^3}$ [3].

Tabulka 1 - Naměřené hmotnosti

	Malé kuličky	Střední kuličky	Velké kuličky
m_1 [g]	6,310	6,181	6,229
m_2 [g]	9,416	8,627	10,194
m_3 [g]	13,158	12,754	13,626
m_4 [g]	11,278	11,211	11,285

Chyba měření je odhadnuta jako [4]

$$u_{\rho_k} = \rho_v u_m \frac{\sqrt{2(m_2 - m_1)^2 + 2(m_4 - m_3)^2}}{(m_4 - m_3 + m_2 - m_1)^2}$$

Tabulka 2 - Výsledné hustoty

	ρ_k [kg · m ⁻³]
Malé kuličky	2527±10
Střední kuličky	2702±15
Velké kuličky	2434±7

Měření dynamické viskozity olivového oleje

Měření probíhalo s nejmenšími dostupnými kuličkami, pro něž $Re \approx 0,5$. Rychlosti kuliček byly přibližně rovnoměrné, což bylo zjištěno změřením doby pádu testovací kuličky první třetinou sledované oblasti a porovnáním s dobou pádu v poslední třetině sledované oblasti.

Vzdálenost značek na válci

$$d = (18,0 \pm 0,2)cm$$

Poloměr válce

$$R = (2,9 \pm 0,1)cm$$

Hustota olivového oleje

$$\rho = (913 \pm 2)kg \cdot m^{-3}$$

Tabulka 3 - Naměřené hodnoty pro olivový olej

r[mm]	0,79	0,80	0,79	0,82	0,81	0,81	0,79	0,80	0,80	0,80
t[s]	6,75	6,59	6,72	6,56	6,82	6,78	6,85	6,72	6,59	6,63
$\eta \cdot 10^{-3}$ [Pa · s]	88,1	88,3	87,7	91,4	92,6	92,0	89,4	90,1	88,3	88,8

Systematická část chyby měření je[4]

$$u_{\eta} = \bar{\eta} \sqrt{\left(\frac{u_d}{d}\right)^2 + \frac{u_{\rho_k}^2 + u_{\rho}^2}{(\rho_k - \rho)^2} + \left(\frac{2,4\bar{r}}{R - 2,4\bar{r}} \frac{u_R}{R}\right)^2 + \frac{1}{n-1} \sum_i \left(\frac{u_{t_i}}{t_i}\right)^2 + \left(\frac{2}{r_i} + \frac{2,4}{R - 2,4r_i}\right)^2 u_r^2}$$

Výsledná dynamická viskozita

$$\eta = (89,7 \pm 4,0)10^{-3} Pa \cdot s$$

Měření dynamické viskozity ricinového oleje

Měření probíhalo s velkými a středními kuličkami, pro něž $Re \approx 0,02$ respektive $Re \approx 0,01$. Rychlosti kuliček byly přibližně rovnoměrné, což bylo zjištěno stejným způsobem, jako u olivového oleje.

Vzdálenost značek na válci

$$d = (20,5 \pm 0,2)cm$$

Poloměr válce

$$R = (3,0 \pm 0,1)cm$$

Hustota ricinového oleje

$$\rho = (962 \pm 2)kg \cdot m^{-3}$$

Tabulka 4 - Naměřené hodnoty pro střední kuličky v ricinovém oleji

r[mm]	1,08	1,09	1,07	1,06	1,08	1,07	1,06	1,08	1,06	1,09
t[s]	48,87	48,28	48,03	48,03	48,06	47,97	47,82	47,82	47,82	47,72
η [Pa · s]	1,14	1,16	1,11	1,08	1,12	1,10	1,08	1,12	1,08	1,15

Tabulka 5 - Naměřené hodnoty pro velké kuličky v ricinovém oleji

r[mm]	1,48	1,53	1,45	1,52	1,51	1,56	1,54	1,49	1,36	1,54
t[s]	28,44	27,94	27,66	29,06	28,72	28,13	28,28	29,00	31,78	27,94
η [Pa · s]	1,10	1,17	1,03	1,19	1,17	1,22	1,20	1,14	1,03	1,18

Pro systematickou část chyby měření platí stejný vzorec jako v případě olivového oleje.

Výsledné dynamické viskozity

střední kuličky

$$\eta = (1,114 \pm 0,030)Pa \cdot s$$

velké kuličky

$$\eta = (1,143 \pm 0,031)Pa \cdot s$$

Diskuze výsledků

Na velikosti systematických chyb má největší vliv chyba měření času ručními stopkami a chyba měření průměru kuliček dílenským mikroskopem.

Pro měření viskozity olivového oleje nebyla ani s nejmenšími kuličkami splněna podmínka malosti Reynoldsova čísla. Naměřená viskozita ale není příliš daleko od tabulkové viskozity pro 20°C, která je $84 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$ [3]. Skutečná hodnota je ale nejspíš ještě nižší, protože viskozita klesá s teplotou.

Při měření viskozity ricinového oleje byly splněny všechny předpoklady Stokesovy metody. Naměřené hodnoty s použitím středních a velkých kuliček se shodují v rámci

uvedené chyby měření, výrazně se však liší od tabulkové viskozity ricinového oleje pro 20°C $987 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$ [3] a skutečná viskozita bude nejspíš ještě nižší, protože měření probíhalo při 24°C. Tento rozdíl mohl být způsoben nedokonale tvarovanými kuličkami.

Závěr

Naměřená dynamická viskozita olivového oleje

$$\eta = (89,7 \pm 4,0)10^{-3} Pa \cdot s$$

Naměřené dynamické viskozity ricinového oleje

za použití středních kuliček
za použití velkých kuliček

$$\eta = (1,114 \pm 0,030) Pa \cdot s$$

$$\eta = (1,143 \pm 0,031) Pa \cdot s$$

Seznam použité literatury

[1] studijní text dostupný na

http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_119.pdf

[2] studijní text dostupný na

http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_119_pyknometr.pdf

[3] Mikulčák a kolektiv. Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy. Praha: SPN Praha, 1988

[4] Jiří English: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006