

# Praktikum ....1...

Úloha č. 19

Název: Volný pád koule ve viskózní kapalině

Pracoval: Jiří Kratochvíl  
10.3..2010

stud.sk.: 15

dne:

Odevzdal dne: .....

## Pracovní úkol:

1. Změřte dynamickou viskozitu parafinového oleje Stokesovou metodou.
2. Změřte dynamickou viskozitu ricinového oleje Stokesovou metodou.
3. Ověřte, zda jsou pro dané experimentální uspořádání splněny podmínky platnosti Stokesova vzorce pro odpor prostředí při pohybu koule.
4. Hustotu skleněných kuliček určete pyknometrickou metodou.

	možný počet bodů	udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	5
Teoretická část	0 - 1	1
Výsledky měření	0 - 8	6
Diskuse výsledků	0 - 4	3
Závěr	0 - 1	1
Seznam použité literatury	0 - 1	1
<b>Celkem</b>	max. 20	17

Posuzoval:  .....

dne: 3.4.10 .....

## Teorie

Viskozitu spočítáme na základě rovnosti sil, síly gravitační, síly vztlakové a síly odporu prostředí

$$F_g = F_{vz} + F_o$$

$F_g$  – gravitační síla  $F_g = mg$   $F_{vz}$  – vztlaková síla  $F_{vz} = V \rho g$   $F_o$  – odporová síla  $F_o = 6 \pi \eta r v$

Výraz (1) dostaneme po uvážení korekce na konečný poloměr nádoby

Výraz č.(4) je výraz pro měření pyknometrickou metodou

$$(1) \eta = \frac{2r^2(\rho_T - \rho)g}{9v(1 - \frac{2r}{R})} \quad (2) R_E = \frac{2rv\rho}{\eta} \quad (3) v = \frac{s}{t} \quad (4) \rho_T = \frac{(m_2 - m_1)\rho_s}{m_4 - m_3 - m_1 + m_2}$$

$\eta$  – dynamická viskozita

$r$  – poloměr kuličky

$\rho_T$  – hustota kuličky

$\rho$  – hustota prostředí

$g$  – gravitační zrychlení

$R$  – poloměr válce

$R_E$  – Reynoldsovo číslo

$v$  – rychlost

$s$  – dráha

$t$  – čas

$\rho_s$  – hustota srovnávací kapaliny

$m_1$  – hmotnost pyknometru

$m_2$  – hmotnost pyknometru a kuliček

$m_3$  – hmotnost pyknometru s vodou

$m_4$  – hmotnost pyknometru s vodou a kuličkami

Pomůcky: Dílenský mikroskop, pyknometr, větší a menší kuličky, 2 válce naplněné parafinovým olejem a ricinovým olejem, destilovaná voda, digitální šuplera, stopky, metr, pinzeta, 2 gumičky jako značky na válce

Postup:

1. Nejdříve jsem musel zjistit, jak velké kuličky jsou vhodné na měření viskozity olejů.
  - a) změřil jsem průměr 2 malých a 2 velkých kuliček dílenským mikroskopem
  - b) nastavil jsem si značky na válcích, které značily měřenou vzdálenost
  - c) pustil jsem postupně kuličky do válců s olejem a změřil jsem dobu pádu
  - d) dle Reynoldsova čísla jsem zjistil, jaké kuličky jsou vhodné
2. Pro každou kapalinu jsem provedl 10 následujících měření
  - a) změřil průměr kuličky, jednou na šířku, poté na výšku
  - b) změřil jsem dobu pádu této kuličky od rysky k rysce
3. Změřil jsem poloměr válce digitální šuplerou
4. Změřil jsem hustotu kuliček pyknometrem

## Výsledky měření

### Tabulky 1,2:

Červené hodnoty jsou naměřené, černé jsou vypočítané ?

č – číslo měření, x1, x2, y, y2 - naměřené hodnoty mikroskopem, t – čas, dx – rozdíl x1 a x2, dy – rozdíl y1, y2, d – průměr kuličky (průměrná hodnota z dx, dy), r – poloměr kuličky, viskozita (počítána dle vztahu (1)), Re – Reynoldsovo číslo

#### 1. Parafinový olej

č.	x1[mm]	x2[mm]	dx	y1[mm]	y2[mm]	dy	t[s]	d[mm]	s[mm]	r[mm]	s[mm]	v[m/s]	s[m/s]	$\eta$ [Pa*s]	s	Re
1	12,98	11,33	1,65	13,94	12,31	1,63	3,61	1,64	0,01	0,82	0,01	0,0554	0,0046	0,0459	0,0037	1,68
2	11,78	10,19	1,59	13,1	11,53	1,57	3,85	1,58	0,01	0,79	0,01	0,0519	0,0041	0,0454	0,0035	1,54
3	10,55	12,18	1,63	10,42	8,86	1,56	3,85	1,6	0,04	0,8	0,02	0,0519	0,0041	0,0463	0,0040	1,52
4	12,54	10,95	1,59	10,8	9,21	1,59	3,92	1,59	0,01	0,8	0,01	0,0510	0,0039	0,0468	0,0035	1,47
5	9,95	11,52	1,57	12,55	10,92	1,63	3,94	1,6	0,03	0,8	0,02	0,0508	0,0039	0,0476	0,0039	1,45
6	11,89	13,47	1,58	12,06	10,45	1,61	3,77	1,6	0,02	0,8	0,01	0,0531	0,0042	0,0453	0,0036	1,59
7	12,23	10,67	1,56	12,16	10,57	1,59	3,79	1,58	0,02	0,79	0,01	0,0528	0,0042	0,0444	0,0035	1,59
8	10,18	11,8	1,62	12,16	10,56	1,6	3,71	1,61	0,01	0,81	0,01	0,0539	0,0044	0,0454	0,0036	1,62
9	10,79	12,36	1,57	11,79	10,23	1,56	3,93	1,57	0,01	0,78	0,01	0,0509	0,0039	0,0454	0,0034	1,49
10	10,49	12,07	1,58	12,51	10,93	1,58	3,86	1,58	0,01	0,79	0,01	0,0518	0,0040	0,0455	0,0034	1,53
														0,0457	0,0036	

#### 2. Ricinový olej

č.	x1[mm]	x2[mm]	dx	y1[mm]	y2[mm]	dy	t[s]	d[mm]	s[mm]	r[mm]	s[mm]	v[m/s]	s[m/s]	$\eta$ [Pa*s]	s	Re
1	11,71	9,1	2,61	13,61	11,06	2,55	33,03	2,58	0,03	1,29	0,02	0,0061	0,000063	1,022	0,025	0,013
2	9,27	11,9	2,63	11,19	13,77	2,58	32,73	2,61	0,03	1,3	0,01	0,0061	0,000064	1,034	0,022	0,013
3	12,24	9,69	2,55	13,94	11,37	2,57	32,95	2,56	0,01	1,28	0,01	0,0061	0,000063	1,003	0,014	0,013
4	10,81	13,35	2,54	10,17	12,75	2,58	33,09	2,56	0,02	1,28	0,01	0,0060	0,000063	1,008	0,019	0,013
5	11,34	13,87	2,53	9,45	12	2,55	33,25	2,54	0,01	1,27	0,01	0,0060	0,000062	0,996	0,014	0,013
6	11,31	14,4	3,09	12,26	9,66	2,6	32,23	2,85	0,25	1,42	0,12	0,0062	0,000066	1,224	0,193	0,012
7	11,26	13,84	2,58	9,99	12,54	2,55	33,57	2,57	0,02	1,28	0,01	0,0060	0,000061	1,027	0,016	0,013
8	11,73	14,37	2,64	11,26	13,86	2,6	32,04	2,62	0,02	1,31	0,01	0,0062	0,000066	1,024	0,019	0,014
9	12,36	9,81	2,55	14,32	11,73	2,59	32,99	2,57	0,02	1,29	0,01	0,0061	0,000063	1,013	0,019	0,013
10	11,77	14,38	2,61	9,81	12,41	2,6	33,19	2,61	0,01	1,3	0,01	0,0060	0,000062	1,048	0,013	0,013
														1,019	0,017	

Tabulka č. 3: d – vzdálenost mezi značkami, kul M – hustota malých kuliček, kul V – hustota velkých kuliček, paraf – hustota parafinu, ricin – hustota ricinového oleje, R – průměr válce, H2O – hustota vody, g – gravitační zrychlení

Tabulka č.4: tabulka měření pyknometrem, m1 – hmotnost pyknometru, m2 – hmotnost pyknometru a kuliček, m3 – hmotnost pyknometru s vodou, m4 – hmotnost pyknometru s vodou a kuličkami, velke - velké kuličky, malé – malé kuličky

#### 3. konstanty

d[m]	s[m]
0,200	0,001
kul M[kg/m3]	s[kg/m3]
2497,95	10
kul V[kg/m3]	s[kg/m3]
2520,82	10
paraf[kg/m3]	s[kg/m3]
850	1
ricin[kg/m3]	s[kg/m3]
950	1
R[mm]	s[mm]
77,9	1
H2O[kg/m3]	s[kg/m3]
998	1
g[m/s^2]	s[m/s^2]
9,81	1

#### Tabulka č.5: x12y12 – chyba mikroskopu, t – chyba času

4. pyknometr	m1	m2 kul	m3 H2O	m4 H2O+kul	kulic[kg/m3]
typ kulicek					
male	6,52	11,17	11,51	14,31	2497,95
velke	6,51	11,58	11,54	14,61	2520,82

#### Tabulka č.6: Podmínky pokusu

##### podm. pokusu

Teplota [°C]	23,4
Tlak [Hpa]	996,8
Vlhk.vzd.[%]	24,9

##### 5. odchylky mereni

velicina	s
x12,y12[mm]	0,01
t[s]	0,3

Odchyly měření jsou počítány metodou přenosu chyb  $s = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 (\sigma_i)^2}$

Chyba aritmetického průměru a chyba měřidla sečtena ve čtverci.

Pro měření parafinového oleje jsem zvolil menší kuličky, pro měření ricinového oleje kuličky větší. Volbu jsem odhadl na základě tabelovaných hodnot a podmínek platnosti Stokesova zákona.

**Dynamická viskozita parafinového oleje:**

$(4,58 \pm 0,36) \cdot 10^{-2}$  Pa.s

**Dynamická viskozita ricinového oleje:**

$(1,02 \pm 0,17)$  Pa.s.

## Diskuse

Viskozita parafinového oleje  $(4,58 \pm 0,36) \cdot 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  není směrodatná, i když se řádově shoduje s tabelovanou hodnotou  $0,102 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , protože proudění v kapalině nebylo laminární. Viskozita ricinového oleje vyšla  $(1,02 \pm 0,17) \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . Což se v rámci odchylky shoduje s tabelovanou hodnotou, která je rovna  $0,986 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . Viskozita parafinového oleje vyšla takto rozdílně, neboť 1. proudění bylo spíše turbulentní než laminární, viskozita v tabulkách je pravděpodobně udána při jiné teplotě (Viskozita je při různých teplotách velmi odlišná). Svoji roli sehrálo i to, že mnou měřený parafinový olej se neshodoval s olejem tabelovaným.

Reynoldsovo číslo ricinového oleje značí laminární proudění, proto mi vyšla viskozita oleje velmi přesně. Zatímco u parafinového oleje je Reynoldsovo číslo větší než 1, což znamená, že proudění bylo spíše turbulentní než laminární, znamená to, že tato viskozita je naměřená velmi nepřesně.

Přesněji bych viskozitu měřil tak, že bych měřil v 1. širších kádích, abych nemusel korigovat viskozitu vztahem (1) a mohl použít Stokesův vzorec, 2. v delších kádích, aby chyby času byla menší, 3. vzal bych kuličky, které mají jen o málo vyšší hustotu než sledované oleje tzn. asi  $1200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a tím bych snížil Reynoldsovo číslo.

## Závěr

Změřil jsem dynamickou viskozitu parafinového a ricinového oleje při  $24^\circ \text{ C}$ . Hodnoty vyšly pro parafinový olej  $(4,58 \pm 0,36) \cdot 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , ricinový olej  $(1,02 \pm 0,17) \text{ Pa}\cdot\text{s}$ .

Ověřil jsem platnost Stokesova zákona pomocí Reynoldsova čísla, v prvním případě se platnost Stokesova zákona nepotvrdila, jelikož  $Re$  má velikost kolem 1,5. U ricinového oleje byla platnost potvrzena, jelikož  $Re$  vyšlo kolem 0,013.

Změřil jsem hustotu kuliček pyknometrickou metodou.

## Použitá literatura

1. **Studijní materiál ze stránek praktik matematicko-fyzikální fakulty**  
<http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>
2. **Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce** J.Mikulčák a kol., Prometheus, 2003
3. **Základy fyzikálních měření I**, Brož, J. a kol., SPN, Praha 1983

KULIORY  
VBLKŠ

MAZŠ

17.3.2010

PARAŠINAMŲ  
20cm

190,62	7,00	8,93	7,3
118,37	11,81	13,77	12,15
2			
2			
2			
2			
2			
2			
2			
2			

M 3,62

V 1,8

$$n = \frac{1}{2}$$

$$z = \frac{1,63}{z} \cdot 850 \cdot \frac{0,02}{3,62}$$

107,8

VIŠKOŲITA  
PARAŠINAMŲ  
0. 107,8  
10<sup>3</sup>

VIŠKINAMŲ G 986  
10<sup>3</sup>

27,71

Re<sub>M</sub> = 0,0756

$$z = \frac{2,62}{z} \cdot 850 \cdot \frac{0,02}{1,8}$$

107,8

Rev 0,24

20cm - 33,35 V

10cm - 42,09 M

Rev 3,7 · 10<sup>-3</sup>

Rev 1,5 · 10<sup>-3</sup>

17-03-2010

Melioracija (su 20cm ir 10cm)  
Fysikalni praktikumi 4

17.3/2010

Bodys: 5

0.74/n.



VALZE 1

VALZE	$x_1$	$x_2$	$y_1$	$y_2$	$L$
1					
2	11,71	9,1	13,61	11,06	33,03
3	9,27	11,9	11,19	15,74	32,73
4	11,21	9,69	13,94	11,37	32,95
5	10,81	13,35	10,77	12,73	33,09
6	11,34	13,87	9,55	12,00	33,25
7	11,51	14,2	12,26	9,66	32,23
8	11,28	13,8	9,99	12,54	33,77
9	11,73	14,37	12,26	13,80	34,09

VALZE  
 $R = 77,92$  mm  
 $R = 77,97$  mm  
 $R = 77,80$  mm  
 $S = 950$   
 $M = 0,986$

S = 200mm

11	12,98	11,33	13,94	12,37	3,67
12	11,78	10,11	13,10	11,53	3,85
13	10,55	12,18	10,92	8,80	3,85
14	12,51	10,95	10,80	9,21	3,92
15	9,95	11,52	12,55	10,92	3,94
16	10,09	13,57	12,08	10,45	3,77
17	12,23	10,67	12,16	10,57	3,79
18	10,18	11,80	12,16	10,56	3,71
19	10,71	12,36	11,76	10,23	3,93
20	10,54	12,07	12,31	10,93	3,86

R = 78,09 mm  
 $R = 77,90$  mm  
 $R = 77,98$  mm  
 $S = 850$   
 $M = 1,078$

ARRAIA

	$x_1$	$x_2$	$y_1$	$y_2$	T
7	12,36	9,87	14,32	11,73	32,99
10	11,77	14,38	9,87	12,51	33,19

23,4 °C  
 24,9 % VCH 120ST  
 $V = 0,0120$  V  
 $M = 996,8$  APa  
 0,5  
 $\pm 2$  mm  
 0,01 mm

MC	KVL	VOL	MC + KVL
$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
6,520	11,173	11,515	24,308

---

6,505	11,582	11,542	24,609
-------	--------	--------	--------

---

17-03-2010

Matematiko-fysikální fakulta  
Fyzikální praktikum

17.3/2010

Boys: 5

O. Týčil