

## 1 Pracovní úkol

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 typy kuliček. Výsledky porovnejte.
4. Hustotu skleněných kuliček určete pyknometrickou metodou.

## 2 Teoretický úvod

Při pohybu tělesa v kapalině se odporová síla nejčastěji popisuje buď Stokesovým vztahem nebo Newtonovým zákonem odporu. Každý vztah platí pro různé rychlosti (resp. pro jiné hodnoty Reynoldsova čísla). My budeme vycházet ze Stokesova vztahu [1], který udává velikost odporové síly působící na kouli o poloměru  $r$  pohybující se v odporovém prostředí rychlostí  $v$

$$F_x = 6\pi\eta r v, \quad (1)$$

kde  $\eta$  je dynamická viskozita prostředí. Nutnou podmínkou platnosti tohoto vztahu však je laminární (ne turbulentní) proudění. Proudění můžeme považovat za laminární, pokud pro Reynoldsovo číslo  $Re$  platí [1]

$$Re \ll 1. \quad (2)$$

Reynoldsovo číslo je pro pohyb koule o poloměru  $r$  rychlostí  $v$  v neomezeném prostředí o hustotě  $\rho$  a dynamické viskozitě  $\eta$  definováno vztahem

$$Re = \frac{2r\rho v}{\eta}. \quad (3)$$

Uvážíme-li korekci Stokesova vztahu na pohyb kuličky středem konečné válcové nádoby o poloměru  $R$ , dostáváme [1]

$$F_x = 6\pi\eta r v \left(1 - 2,4\frac{r}{R}\right). \quad (4)$$

Při ustáleném pohybu na kuličku působí jen odporová ( $F_x$ ), vztaková ( $F_{vz} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$ , kde  $\rho$  je hustota kapaliny) a tíhová síla ( $F_t = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_T g$ , kde  $\rho_T$  je hustota kuličky). Až se rychlost ustálí, můžeme vyjít z rovnosti sil

$$F_x = F_t - F_{vz}, \quad (5)$$

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

$$\eta = \frac{2r^2(\rho_T - \rho)g}{9v \left(1 - 2,4\frac{r}{R}\right)}. \quad (7)$$

Rychlost kuličky  $v$  lze určit snadno, pokud je konstantní. Stačí změřit čas  $t$ , za který „propadla“ o vzdálenost  $l$

$$v = \frac{l}{t}. \quad (8)$$

Při měření rychlosti pádu kuličky v odměrném válci je však třeba dbát na to, aby vzdálenostní interval  $l$  začínal až v takové hloubce, kde pohyb lze považovat za ustálený. Na začátku pohybu totiž kulička postupně zrychluje, dokud nenabere terminální rychlost.

## 2.1 Použití pykometru

Pykometr je skleněná nádoba, která umožňuje naplnit přesný předem definovaný objem. To nám umožňuje změřit hustotu drobných tělísek pouze měřením hmotnosti. Nejprve zvážíme samotný prázdný pykometr (včetně zátky), získáme hmotnost  $m_1$ , posléze do pykometru nasypeme tělíška (v našem případě kuličky) a zaznamenáme celkovou hmotnost  $m_2$ . Pak pykometr dolijeme celý kapalinou o známé hustotě (destilovanou vodou) a dostaneme hmotnost  $m_3$ . Nakonec vyndáme měřené kuličky a změříme hmotnost  $m_4$  pykometru naplněného celého pouze kapalinou o hustotě  $\rho_v$ . Hustotu kuliček  $\rho_k$  pak lze určit podle vztahu [1]

$$\rho_k = \rho_v \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3 + m_2 - m_1}. \quad (9)$$

## 3 Měření

Byla měřena viskozita pro dvě různé kapaliny - ricinový olej a olivový olej. Jako padající tělesa byly použity tři různé druhy skleněných kuliček (podle velikosti sestupně žluté, modré a bílé (průhledné)), které budeme dále pro přehlednost označovat jejich barvami.

### 3.1 Orientační hodnota Re

Nejprve je potřeba se ujistit, že je splněna podmínka (2) pro laminární proudění. Proto bylo nejprve pouze orientačně změřeno Reynoldsovo číslo pro všechny kombinace kuliček i válců. Jako hustotu jednotlivých olejů bereme tabelované hodnoty, které u olejů byly uvedeny. Průměr kuliček byl změřen dílenským mikroskopem<sup>1</sup> ve dvou kolmých směrech, v tabulce (1) je uveden pouze průměr obou hodnot včetně směrodatné odchylky. Uvedená dynamická viskozita je také tabulková [2] pro teplotu 25°C, protože nám zatím jde jen o přibližný odhad. Hodnota dynamické viskozity totiž značně závisí na teplotě. Hodnotu dynamické viskozity budeme počítat až později.

Kuličky byly postupně vřazovány do středu odměrného válce a zkoumali jsme jejich pohyb. Pád v ricinovém oleji byl díky jeho vysoké dynamické viskozitě pomalý a z toho důvodu byla zvolena délka měřeného úseku na 10 cm. Úsek začínal přibližně 3 cm pod hladinou, což nechávalo vzhledem k vysoké viskozitě dostatečný prostor na vyrovnání rychlosti. Začátek i konec měřeného úseku byl označen gumičkou kolem válce. Gumička nebyla příliš přesná, proto je uvedena odchylka 1 mm, ačkoliv vzdálenost  $l$  byla měřena délkovým měřidlem s přesností 0,5 mm. Protože olivový olej má menší dynamickou viskozitu, kuličky se v něm pohybují rychleji a taky trvá delší dobu (resp. dráhu), než se rychlost kuličky ustálí, a proto byl zvolen délkový úsek dlouhý 15 cm a začínal přibližně 10 cm pod hladinou kapaliny (z několika prvotních pozorování bylo zřejmé, že v této hloubce jsou rychlosti kuliček téměř ustálené).

Reynoldsovo číslo bylo vypočteno podle vztahu (3) a (8). Jeho nejistota byla vypočtena pomocí Gaussovy věty o šíření nejistot<sup>2</sup>

Tabulka 1: Měření Reynoldsova čísla

		ricinový olej			olivový olej		
		žlutá	modrá	bílá	žlutá	modrá	bílá
hustota oleje	$\frac{\rho}{\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}}$		962 ± 2		913 ± 2		
průměr	$\frac{2r}{\text{mm}}$	2,89 ± 0,04	2,16 ± 0,02	1,64 ± 0,03	2,89 ± 0,04	2,16 ± 0,02	1,64 ± 0,03
dyn. viskozita	$\frac{\eta}{10^{-3}\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}}$		986,0 ± 0,5		84,0 ± 0,5		
délkový interval	$\frac{l}{\text{mm}}$		100 ± 1		150 ± 1		
čas	$\frac{t}{\text{s}}$	12,1 ± 0,3	22,0 ± 0,3	42,0 ± 0,3	1,8 ± 0,3	3,1 ± 0,3	5,4 ± 0,3
Reyn. číslo	$\text{Re} = \frac{2r\rho l}{\eta t}$	$(2,3 \pm 0,1) \cdot 10^{-2}$	$(9,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	$(3,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	2,6 ± 0,4	1,1 ± 0,1	0,50 ± 0,03

<sup>1</sup>Postup tohoto měření je popsán níže.

<sup>2</sup> $\sigma_{\text{Re}} = \text{Re} \sqrt{\left(\frac{\sigma_\rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{2r}}{2r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\eta}{\eta}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2}$

Vidíme, že pro ricinový olej splňují podmínky platnosti Stokesova vztahu všechny tři kuličky, ale pro olivový olej splňují podmínku pouze nejmenší, bílé kuličky.<sup>3</sup>

### 3.2 Měření poloměru kuliček

Na měření průměru byl použit dílenský mikroskop, který umožňoval nastavit směr referenčních čar a poté bylo posouváním kuličky možno změřit její průměr jako rozdíl jejich poloh. Nejprve bylo potřeba kuličku nastavit tak, aby v mikroskopu byla referenční čára vidět jako její tečka (zároveň tato čára musí být kolmá na směr pohybu) a poté byla kulička posunuta (ve směru kolmém na čáru) tak, že referenční příčka byla její tečnou z druhé strany. Z mikroskopu bylo možno odečítat polohu s přesností na 0,005 mm. Jelikož je však poloměr rozdílem těchto dvou poloh, nejistota poloměru je tedy 0,01 mm.

Pro další měření dynamické viskozity bylo použito pokaždé pět nebo deset kuliček a všem těmto kuličkám byl předtím změřen jejich průměr ve dvou navzájem kolmých směrech. Výsledky jsou uvedeny v tabulce (2). Všechny měřené hodnoty mají nejistotu 0,01 mm, ale kvůli přehlednosti není v tabulce (2) u každé hodnoty uvedena. V posledním řádku je uvedena průměrná hodnota včetně standardní výběrové směrodatné odchylky aritmetického průměru [3].

Tabulka 2: Měření průměrů tří druhů kuliček

žluté $\frac{2r_z}{\text{mm}}$	modré $\frac{2r_m}{\text{mm}}$	bílé $\frac{2r_b}{\text{mm}}$
3,11	2,10	1,64
2,92	2,18	1,59
3,11	2,15	1,66
3,05	2,09	1,58
3,09	2,15	1,62
2,99	2,15	1,61
3,08	2,15	1,59
3,05	2,17	1,59
2,95	2,16	1,67
2,94	2,14	1,64
		1,59
		1,61
		1,57
		1,59
		1,65
		1,64
		1,61
		1,60
		1,62
		1,63
$3,02 \pm 0,02$	$2,14 \pm 0,01$	$1,61 \pm 0,01$

Pro poloměry dostáváme tedy

$$r_z = (1,51 \pm 0,01) \text{ mm},$$

$$r_m = (1,070 \pm 0,005) \text{ mm},$$

$$r_b = (0,805 \pm 0,005) \text{ mm}.$$

<sup>3</sup>A to navíc splňují pouze nerovnost, nespĺňují to, že Reynoldsovo číslo by mělo být **řádově** menší, než 1. Avšak dále budeme uvažovat, že proudění je v tomto případě laminární.

### 3.3 Měření hustoty kuliček

Hustota kuliček byla měřena pyknometrickou metodou popsanou v teoretickém úvodu. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 3, hustota je spočítaná podle vztahu (9).

Před vážením byla změřena teplota destilované vody rtuťovým teploměrem  $t_v = (26,0 \pm 0,3)^\circ\text{C}$ . S dostatečnou přesností pak můžeme počítat s tabulkovou hodnotou [2] hustoty destilované vody  $\rho_v = (996,7 \pm 0,2) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Všechny hmotnosti byly měřeny laboratorními vahami s přesností 0,1 mg. Kvůli přehlednosti však není tato standardní nejistota uvedena v tabulce 3.

Standardní nejistota hustoty kuliček je vypočtena gaussovým zákonem šíření nejistot<sup>4</sup> Největší příspěvek do celkové nejistoty má nejistota hmotnosti destilované vody, protože laboratorní váhy měří hmotnost poměrně velmi přesně.

Tabulka 3: Pyknometrické měření hustoty kuliček

	žluté	modré	bílé
$m_1[\text{g}]$	24,7532	9,1598	9,2830
$m_2[\text{g}]$	30,5150	18,2363	16,2243
$m_3[\text{g}]$	53,1493	24,9281	23,5119
$m_4[\text{g}]$	49,6361	19,2948	19,3705
$\rho_k[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	$2553,9 \pm 0,6$	$2627,4 \pm 0,6$	$2470,9 \pm 0,5$

### 3.4 Průměr válce

Používáme-li Stokesův vztah i s korekcí na omezenost (konečnost) odporového prostředí, je potřeba změřit vnitřní průměr odměrného válce, ve kterém byly kuličky pouštěny. Průměr byl měřen pomocí digitálního posuvného měřidla<sup>5</sup>.

Tabulka 4: Měření vnitřního průměru válce

	ricinový $\frac{2R_r}{\text{mm}}$	olivový $\frac{2R_o}{\text{mm}}$
1. měření	$59.93 \pm 0.01$	$57.98 \pm 0.01$
2. měření	$59.95 \pm 0.01$	$57.91 \pm 0.01$
3. měření	$60.10 \pm 0.01$	$58.31 \pm 0.01$
průměr	$60.0 \pm 0.1$	$58.1 \pm 0.2$

Máme tedy poloměry

$$R_r = (30,00 \pm 0,05) \text{ mm} ,$$

$$R_o = (29,1 \pm 0,1) \text{ mm} .$$

### 3.5 Rychlosti kuliček

Pro pět, resp. deset kuliček od každé barvy byla naměřena jejich terminální rychlost v dané kapalině. Do olivového oleje bylo postupně vhozeno deset bílých kuliček (pro ostatní typy kuliček není proudění laminární) a změřena

<sup>4</sup> $\sigma_{\rho_k} = \sqrt{\left(\frac{\rho_k}{\rho_v} \sigma_{\rho_v}\right)^2 + 2 \left(\frac{\rho_v(m_2 - m_1)}{(m_4 - m_3 + m_2 - m_1)^2} \sigma_m\right)^2 + 2 \left(\frac{\rho_v(m_2 - m_1 + m_4 - m_3 + m_2 - m_1)}{(m_4 - m_3 + m_2 - m_1)^2} \sigma_m\right)^2}$ , kde  $\sigma_m$  je nejistota digitálních vah (ta je pro všechny hmotnosti stejná).

<sup>5</sup>Pozn. obvykle bývá v tomto praktiku používáno klasické posuvné měřidlo, ale to nebylo k dispozici, takže bylo použito digitální měřidlo z vedlejší úlohy.

jejich rychlost. Pro ricinový olej byly použity zbylé dva druhy kuliček po pěti. Vždy byly použity ty stejné kuličky, jejichž průměry byly měřeny (viz. tabulka 2).

Čas byl měřen pomocí stopek, uvažujeme tedy standardní nejistotu lidské reakce 0,3 s. V tabulce (5) jsou naměřené časy a ve spodním řádku je jejich průměr se standardní nejistotou vypočtenou složením nejistoty měřidla a směrodatné odchylky aritmetického průměru<sup>6</sup>

Tabulka 5: Měření rychlosti kuliček

ricinový olej		olivový olej
žluté kuličky	modré kuličky	bílé kuličky
$\frac{t_z}{s}$	$\frac{t_m}{s}$	$\frac{t_b}{s}$
11.6 ± 0.3	20.1 ± 0.3	5.4 ± 0.3
11.9 ± 0.3	20.8 ± 0.3	5.4 ± 0.3
12.2 ± 0.3	20.3 ± 0.3	5.4 ± 0.3
11.8 ± 0.3	20.5 ± 0.3	5.4 ± 0.3
12.0 ± 0.3	20.4 ± 0.3	5.3 ± 0.3
		5.4 ± 0.3
		5.4 ± 0.3
		5.4 ± 0.3
		5.5 ± 0.3
		5.4 ± 0.3
		5.4 ± 0.3
11.9 ± 0.4	20.4 ± 0.4	5.4 ± 0.3

Měřené vzdálenostní intervaly byly stejné jako při orientačním měření Reynoldsova čísla (viz. tabulka 1). Z toho tedy můžeme užitím vztahu (8) vypočítat rychlosti kuliček<sup>7</sup>

$$v_z = (8,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$v_m = (4,90 \pm 0,09) \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$v_b = (27,8 \pm 1,6) \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

### 3.6 Dynamická viskozita

Nyní už máme naměřeny všechny veličiny vystupující ve vztahu (7) a můžeme tedy spočítat dynamickou viskozitu  $\eta_o$  olivového oleje i  $\eta_r$  ricinového oleje. Dynamickou viskozitu ricinového oleje spočítáme dvěma způsoby, pomocí žlutých kuliček  $\eta_{rz}$  a modrých kuliček  $\eta_{rm}$ . Standardní nejistota byla vypočtena podle gaussova zákona šíření nejistot<sup>8</sup>

$$\eta_{rz} = (1,07 \pm 0,03) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$\eta_{rm} = (0,93 \pm 0,02) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$\eta_o = (0,085 \pm 0,005) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}.$$

<sup>6</sup>Samozřejmě přenásobené studentovým koeficientem pro 5 resp. 10 měření.

<sup>7</sup>Standardní nejistota je určena jako  $\sigma_v = v \sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2}$ .

<sup>8</sup>
$$\sigma_{\eta} = \sqrt{\left(\frac{4r(\rho_T - \rho)g \cdot 9v(1-2,4r/R) + 2,4 \cdot 2r(\rho_T - \rho)g}{81v^2(1-2,4r/R)^2} \sigma_r\right)^2 + \left(\frac{2r^2(\rho_T - \rho)}{9v(1-2,4r/R)} \sigma_g\right)^2 + \left(\frac{2r^2(\rho_T - \rho)g}{9(1-2,4r/R)} \sigma_v\right)^2 + \left(\frac{2r^2g}{9v(1-2,4r/R)} \sigma_{\rho_T}\right)^2 + \left(\frac{2r^2g}{9v(1-2,4r/R)} \sigma_{\rho}\right)^2 + \left(\frac{2r^2(\rho_T - \rho)g \cdot 2,4r/R^2}{81v^2(1-2,4r/R)^2} \sigma_R\right)^2}$$

### 3.7 Teplota

Jelikož dynamická viskozita je závislá na teplotě dané kapaliny, je potřeba změřit i tuto teplotu. Teplota byla změřena rtuťovým teploměrem s přesností na čtvrt stupně Celsia. Naměřená teplota pro ricinový olej  $T_r$  i pro olivový olej  $T_o$  se shodují (což pro naše výpočty však není podstatné)

$$T_r = (25,0 \pm 0,3)^\circ\text{C},$$

$$T_o = (25,0 \pm 0,3)^\circ\text{C}.$$

## 4 Diskuze výsledků

Před měřením dynamické viskozity jsme měřně odhadli hodnoty Reynoldsova čísla (viz. tabulka 1) a došli jsme k tomu, že pro žluté a modré kuličky probíhá v olivovém oleji turbulentní proudění. Pro ostatní kuličky lze proudění považovat za laminární.

Mikroskopem jsme naměřili průměry všech tří druhů kuliček

$$r_z = (1,51 \pm 0,01) \text{ mm},$$

$$r_m = (1,070 \pm 0,005) \text{ mm},$$

$$r_b = (0,805 \pm 0,005) \text{ mm}.$$

Hustota kuliček byla určena pyknometrickou metodou.

$$\rho_z = (2553,9 \pm 0,6) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3},$$

$$\rho_m = (2627,4 \pm 0,6) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3},$$

$$\rho_b = (2470,9 \pm 0,5) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Hustota byla určena poměrně přesně díky přesnosti laboratorních vah a proto by pro výpočet dynamické viskozity nemělo smysl dále zpřesňovat hustotu, protože nepřesnosti se vyskytují jinde.

Pak byl naměřen vnitřní poloměr odměrného válce a nakonec byla změřena průměrná ustálená rychlost pádu různých kuliček v kapalinách. Rychlost byla naměřena pro olivový olej pomocí deseti malých bílých kuliček a pro ricinový olej byla rychlost změřena pro žluté i modré kuličky (pomocí pěti žlutých a pomocí pěti modrých kuliček). Jelikož ricinový olej má vyšší viskozitu, byly zvoleny větší kuličky, aby nebyl experiment hodně časově náročný (kvůli pomalému pádu bílých kuliček). Další nepřesnost mohla do měření vnášet skutečnost, že kuličky nebyly vhažovány přesně doprostřed odměrného válce, nýbrž byl střed válce při vhažování kuliček odhadován pouze od oka.

Z těchto naměřených dat byla vypočítána dynamická viskozita olivového i ricinového oleje. Vypočtené hodnoty dynamické viskozity jsou

$$\eta_{rz} = (1,07 \pm 0,03) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$\eta_{rm} = (0,93 \pm 0,02) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$\eta_o = (0,085 \pm 0,005) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Vidíme, že viskozita olivového oleje poměrně dobře souhlasí s tabulkovou viskozitou (viz. tabulka 1). Hodnoty viskozity ricinového oleje změřené dvěma různými druhy kuliček se však trochu liší, ale průměrná hodnota dynamické viskozity

$$\eta_r = (1,00 \pm 0,07) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

se však od tabulkové hodnoty příliš neliší. Neshoda těchto dvou hodnot může být způsobena nějakou systematickou chybou, např. že kuličky byly vlhké, takže na nich mohla ulpět malá vrstvička vody po vhození do kapaliny<sup>9</sup>

<sup>9</sup>Občas se stávalo, že na padající kuličce byla zřetelně vidět ulpělá kapička vody. V tom případě bylo měření zahazeno a použita jiná kulička. Proto další použité kuličky byly před vhozením vysušeny ubrouskem.

Pokud bychom chtěli dynamickou viskozitu vypočítat přesněji bez dalšího měření navíc, mohli bychom postupně pro každou kuličku změřit její průměr, pak její rychlost v kapalině a z toho spočítat dynamickou viskozitu. Měli bychom potom několik hodnot pro viskozitu, které bychom zprůměrovali. To by byl přesnější přístup, než spočítat zvlášť průměrný průměr kuliček a průměrnou rychlost v kapalině, protože jednotlivé kuličky se mohou nepatrně lišit a jejich průměrná charakterizace nevypovídá přesně o charakterizaci samotné kuličky.

Jelikož jsme na začátku při zjišťování Reynoldsova čísla viskozitu odhadli tabulkovou hodnotou, mohli jsme se dopustit chyby ve stanovení zda je proudění turbulentní či laminární. Protože se ale skutečná naměřená dynamická viskozita příliš neliší od tabulkové hodnoty, můžeme usoudit, že naše původní hodnoty Reynoldsova čísla byly celkem přesné a proto jsme správně stanovili, které z kuliček budou obtékány laminárně.

## 5 Závěr

Bylo ověřeno, že pro měřené kombinace kuliček a kapalin platí Stokesův vztah (tedy, že  $Re \ll 1$ ). Laminární proudění nenastává pro žluté a modré kuličky v olivovém oleji.

Pomocí pyknometru byly poměrně přesně určeny hustoty všech tří druhů kuliček (viz. tabulka 3).

Pro ricinový olej byly použity dva druhy kuliček. Jednotlivé viskozity vyšly

$$\begin{aligned}\eta_{rz} &= (1,07 \pm 0,03)\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, \\ \eta_{rm} &= (0,93 \pm 0,02)\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}.\end{aligned}$$

Viskozita olivového oleje byla změřena pomocí nejmenších, bílých kuliček  $\eta_o = (0,085 \pm 0,005)\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 6 Seznam použité literatury

- [1] SLAVÍNSKÁ, D., I. STULÍKOVÁ a P. VOSTRÝ. *Fyzikální praktikum I - Mechanika a molekulová fyzika*. Praha: SPN, 1989.
- [2] J. MIKULČÁK, J. CHARVÁT, M. MACHÁČEK a F. ZEMÁNEK. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky & vzorce pro středná školy*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2003
- [3] B. VYBÍRAL. *Zpracování dat fyzikálních měření* Hradec Králové: MAFY, 2002
- [4] BROŽ, J. a KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 1. vyd. Praha: SPN, 1983, 669 s.