

Группа *P3112*

Студент *Сенина Мария Михайловна*

Преподаватель *Сорокина Е К*

К работе допущен

Работа выполнена

Рабочий протокол и отчёт по лабораторной работе 2-04

Определение вязкости жидкости

1 Цель работы

Определить коэффициент вязкости масла.

2 Задачи, решаемые при выполнении работы

1. Определить коэффициент внутреннего трения касторового масла методом Стокса.
2. Проверка справедливости формулы Стокса для шариков разного диаметра.

3 Объект исследования

Масло в сосуде.

4 Метод экспериментального исследования

В жидкостях и некоторых газах величина силы внутреннего трения между слоями, возникающего при движении одних слоёв относительно других пропорциональна площади слоёв ΔS и градиенту их скорости $\frac{dv}{dx}$. Коэффициент этой пропорциональности - η . Т.е. $F = \eta \frac{dv}{dx} \Delta S$. η - коэффициент вязкости жидкости и зависит от физических свойств данной жидкости и её температуры.

Этот коэффициент можно определить исходя из закона Стокса - если шарик движется в жидкости с постоянной скоростью сила трения в жидкости будет равна $F = 6\pi\eta vr$. Сделав поправку на то, что мы будем ронять дробинки не в бесконечной жидкости, а в цилиндрическом сосуде можно получить следующую зависимость: $F = \frac{6\pi\eta vr}{k}$, где k - та сама поправка, $k = \frac{1}{1 + \frac{2.4r}{R}}$, где r радиус шарика, а R - радиус сосуда.

Т.к. скорость шарика постоянна на него действует нулевое ускорение. Значит $F_{mp} + F_a = mg$, откуда можно выразить коэффициент вязкости $\eta = \frac{9}{2} \frac{r^2(\rho_{ш} - \rho_{жс})}{v} kg$.

Таким образом мы можем посчитать значение η , измерив радиус шарика на микроскопе, радиус цилиндра, расстояние, которое шарик проходит с неизменной скоростью и засекая время, за которое он это делает.

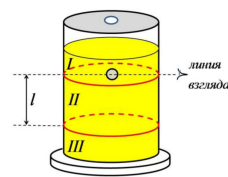
5 Рабочие формулы

1. Среднее значение $\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$
2. Закон Стокса: зависимость силы трения от скорости $F = \frac{6\pi\eta vr}{k}$
3. $k = \frac{1}{1 + \frac{2.4r}{R}}$ - поправка для закона Стокса, для шарика движущегося в цилиндрическом сосуде
4. Коэффициент вязкости $\eta = \frac{9}{2} \frac{r^2(\rho_{ш} - \rho_{жс})}{v} kg$.
5. Погрешность коэффициента вязкости $\Delta\eta = \eta \sqrt{(2\frac{\Delta r}{r})^2 + (\frac{\Delta v}{v})^2 + (\frac{\Delta g}{g})^2 + \frac{(\Delta\rho_{ш})^2 - (\Delta\rho_{жс})^2}{(\rho_{ш} - \rho_{жс})^2}}$
6. Диаметр дробинки $d = \bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{2i} - x_{1i})}{N}$
7. Радиус дробинки $r = \frac{d\alpha}{2}$, где α - погрешность микроскопа
8. Погрешность радиуса дробинки $\Delta r = (\frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta \alpha}{\alpha})r$
9. Скорость $v = \frac{l}{t}$
10. Погрешность скорости $\Delta v = \sqrt{(\frac{\Delta l}{l})^2 + (\frac{\Delta t}{t})^2}$
11. Погрешность измерений через коэффициент Стьюдента $\Delta x = t_{a_{довер}, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$,
где $t_{a_{довер}, N}$ - коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности $a_{довер}$ и количества измерений N .

6 Измерительные приборы

Погрешности измерительных приборов

№	Наименование	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Микроскоп	$(0.9 - 1.9)10^{-3}$ мм	110^{-3} мм
2	Секундомер	6.32 - 26.5 с	0,01 с



а) колба с маслом



б) вид шкалы в микроскопе

Рис. 1: Стенд

7 Схема установки

Параметры стенда

№	Наименование	Значение	Погрешность
1	Радиус колбы R	2.95 см	0.05 см
2	Плотность шарика $\rho_{ш}$	$7.8 \frac{г}{см^3}$	$0.1 \frac{г}{см^3}$
3	Плотность масла $\rho_{м}$	$0.96 \frac{г}{см^3}$	$0.04 \frac{г}{см^3}$
4	Цена деления микроскопа α	$0.266 \frac{мм}{дел}$	$0.001 \frac{мм}{дел}$
5	Расстояние, которое проходит шарик l	10 см	0.5 см

8 Результаты прямых измерений

См. в приложении 1

9 Расчёт результатов косвенных измерений

Для каждой таблицы по формулам $d = \bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{2i} - x_{1i})}{N}$ (6) и $\Delta r = (\frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta \alpha}{\alpha})r$ (11) я вычислила диаметр каждой дробинки. Оказалось, что две из трёх дробинки, которые мне дали оказались одного размера с точностью до погрешности, а третья дробинка была в два раза меньше первых двух:

$$1. d_1 = 3.57 \text{ дел} \text{ и } \Delta d_1 = 0.04 \text{ дел}$$

$$2. d_2 = 7.43 \text{ дел} \text{ и } \Delta d_2 = 0.06 \text{ дел}$$

$$3. d_3 = 7.47 \text{ дел} \text{ и } \Delta d_3 = 0.05 \text{ дел}$$

Далее по формулам $r = \frac{d\alpha}{2}$ и $\Delta r = (\frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta \alpha}{\alpha})r$ я посчитала значения радиусов дробинки:

$$1. r_1 = \frac{3.57 \text{ дел} \cdot 266 \cdot 10^{-3} \text{ м/дел}}{2} = 475 \cdot 10^{-6} \text{ м} \text{ и } \Delta r_1 = (\frac{0.04 \text{ дел}}{3.57 \text{ дел}} + \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ м/дел}}{266 \cdot 10^{-3} \text{ м/дел}}) \cdot 475 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$2. r_1 = \frac{7.43 \text{ дел} \cdot 266 \cdot 10^{-3} \text{ м/дел}}{2} = 988 \cdot 10^{-6} \text{ м} \text{ и } \Delta r_1 = (\frac{0.06 \text{ дел}}{7.43 \text{ дел}} + \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ м/дел}}{266 \cdot 10^{-3} \text{ м/дел}}) \cdot 988 \cdot 10^{-6} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$3. r_1 = \frac{7.47 \text{ дел} \cdot 266 \cdot 10^{-3} \text{ м/дел}}{2} = 994 \cdot 10^{-6} \text{ м} \text{ и } \Delta r_1 = (\frac{0.05 \text{ дел}}{7.47 \text{ дел}} + \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ м/дел}}{266 \cdot 10^{-3} \text{ м/дел}}) \cdot 994 \cdot 10^{-6} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Зная, время, за которое каждый шарик прошёл расстояние $l = 10$ см, по формулам $v = \frac{l}{t}$ и $\Delta v = \sqrt{(\frac{\Delta l}{l})^2 (\frac{\Delta t}{t})^2}$ я посчитала скорости шариков:

1. $v_1 = \frac{0.1 \text{ м}}{26.5 \text{ с}} = 38 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}, \Delta v = \sqrt{(\frac{0.005 \text{ м}}{0.1 \text{ м}})^2 (\frac{\Delta 0.01 \text{ с}}{26.5 \text{ с}})^2} = 2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}$
2. $v_1 = \frac{0.1 \text{ м}}{6.72 \text{ с}} = 149 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}, \Delta v = \sqrt{(\frac{0.005 \text{ м}}{0.1 \text{ м}})^2 (\frac{\Delta 0.01 \text{ с}}{6.72 \text{ с}})^2} = 7 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}$
3. $v_1 = \frac{0.1 \text{ м}}{6.32 \text{ с}} = 158 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}, \Delta v = \sqrt{(\frac{0.005 \text{ м}}{0.1 \text{ м}})^2 (\frac{\Delta 0.01 \text{ с}}{6.32 \text{ с}})^2} = 7 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

А по формулам $\eta = \frac{9}{2} \frac{r^2(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{жс}})}{v} kg$, где $k = \frac{1}{1 + \frac{2.4r}{R}}$ и $\Delta \eta = \eta \sqrt{(2 \frac{\Delta r}{r})^2 + (\frac{\Delta v}{v})^2 + (\frac{\Delta g}{g})^2 + \frac{(\Delta \rho_{\text{ш}})^2 - (\Delta \rho_{\text{жс}})^2}{(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{жс}})^2}}$ я посчитала η и его погрешность:

1. $\eta_1 = \frac{9}{2} \frac{(475 \cdot 10^{-6} \text{ м})^2 (7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 960 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})}{38 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2.4 \cdot 475 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{29.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}}} \cdot 9.82 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} =$
 $858 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
 $\Delta \eta_1 = 858 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} \sqrt{(2 \frac{5 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{475 \cdot 10^{-6} \text{ м}})^2 + (\frac{2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}}{38 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}})^2 + \frac{(100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})^2 - (40 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})^2}{(7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 960 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})^2}} =$
 $48 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
2. $\eta_2 = \frac{9}{2} \frac{(988 \cdot 10^{-6} \text{ м})^2 (7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 960 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})}{149 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2.4 \cdot 988 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{29.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}}} \cdot 9.82 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} =$
 $907 \text{ Па} \cdot \text{с}$
 $\Delta \eta_1 = 907 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} \sqrt{(2 \frac{9 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{988 \cdot 10^{-6} \text{ м}})^2 + (\frac{7 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}}{149 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}})^2 + \frac{(100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})^2 - (40 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})^2}{(7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 960 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})^2}} =$
 $50 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
3. $\eta_3 = \frac{9}{2} \frac{(994 \cdot 10^{-6} \text{ м})^2 (7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 960 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})}{158 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2.4 \cdot 994 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{29.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}}} \cdot 9.82 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} =$
 $862 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
 $\Delta \eta_1 = 862 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} \sqrt{(2 \frac{7 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{994 \cdot 10^{-6} \text{ м}})^2 + (\frac{7 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}}{158 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}})^2 + \frac{(100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})^2 - (40 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})^2}{(7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 960 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})^2}} =$
 $46 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$

Получается, что:

1. $\eta_1 = (858 \pm 48) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
2. $\eta_2 = (907 \pm 50) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
3. $\eta_3 = (862 \pm 46) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$

10 Окончательные результаты

$$\eta = (876 \pm 81) 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\delta \eta = 0.09$$

11 Выводы

Я нашла коэффициент внутреннего трения касторового масла методом Стокса с точностью до 9%. Проведя это эксперимент я выяснила, что размер шарика не влияет на результат эксперимента. Хотя два из трёх моих шариков были одинакового размера, так что результаты можно улучшить, проведя повторное исследование с другим размером шаров.

Приложение 1

Сенина Мария Михайловна Р3112

Таблица 1

$(R \pm \Delta R)$ см	$(2,95 \pm 0,05)$
$(\rho \pm \Delta \rho)$ кг/м ³	$(7,8 \pm 0,1)$ г/см ³
$(\rho_0 \pm \Delta \rho_0)$ кг/м ³	$(0,96 \pm 0,04)$ г/см ³
$(\alpha \pm \Delta \alpha)$ мм/дел	$(0,266 \pm 0,001)$
$(l \pm \Delta l)$ см	$(10 \pm 0,5)$ см

ршар.
Ржиди.
уена деления мкр.

Таблица 2 маленький

Первый шарик					
N опыта	1	2	3	4	5
x_1 дел	1,05	3,04	2,06	1,15	2,54
x_2 дел	4,67	6,61	5,61	4,69	6,11
d дел	3,62	3,57	3,55	3,54	3,57
$(\bar{d} \pm \Delta \bar{d})$ дел	$3,57 \pm 0,04$				
$(r \pm \Delta r)$ мм	$(475 \pm 5) \cdot 10^{-6}$				
$(t \pm \Delta t)$ с	$26,50 \pm 0,01$				
$(v \pm \Delta v)$ м/с	$(38 \pm 2) \cdot 10^{-4}$				
$(\eta \pm \Delta \eta)$ Па*с	$(643 \pm 36) \cdot 10^{-3}$				

Таблица 3 средний

Первый шарик					
N опыта	1	2	3	4	5
x_1 дел	1,11	1,11	1,20	1,10	1,09
x_2 дел	8,60	8,59	8,57	8,52	8,49
d дел	7,49	7,48	7,37	7,42	7,40
$(\bar{d} \pm \Delta \bar{d})$ дел	$7,43 \pm 0,06$				
$(r \pm \Delta r)$ мм	$(988 \pm 9) \cdot 10^{-6}$				
$(t \pm \Delta t)$ с	$6,72 \pm 0,01$				
$(v \pm \Delta v)$ м/с	$(38 \pm 2) \cdot 10^{-4}$				
$(\eta \pm \Delta \eta)$ Па*с	$(543 \pm 28) \cdot 10^{-3}$				

Таблица 4 большой

Первый шарик					
N опыта	1	2	3	4	5
x_1 дел	0,18	1,26	1,21	1,20	1,34
x_2 дел	7,70	8,69	8,64	8,68	8,85
d дел	7,52	7,43	7,43	7,48	7,51
$(\bar{d} \pm \Delta \bar{d})$ дел	$7,47 \pm 0,05$				
$(r \pm \Delta r)$ мм	$(994 \pm 7) \cdot 10^{-6}$				
$(t \pm \Delta t)$ с	$6,32 \pm 0,01$				
$(v \pm \Delta v)$ м/с	$(158 \pm 8) \cdot 10^{-4}$				
$(\eta \pm \Delta \eta)$ Па*с	$(515 \pm 28) \cdot 10^{-3}$				

30.11.20
Jofa