

Группа Р3110

К работе
допущен

Студент Романов Артём Максимович

Работа
выполнена

Преподаватель Коробков М.П.

Отчет принят

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 2.04

Определение коэффициента вязкости жидкости

1. Цель работы.

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

2. Объект исследования.

Коэффициент внутреннего трения, полученный методом Стокса.

3. Метод экспериментального исследования.

1. Многократные прямые измерения
2. Косвенные измерения

4. Рабочие формулы и исходные данные.

$F = \eta \frac{dv}{dx} \Delta S$ – определение коэффициента вязкости η

$F = 6\pi\eta vr$ – закон Стокса (на шарик, движущийся в безграничной жидкости с малой скоростью v , действует сила сопротивления среды

$k = \frac{1}{1 + \frac{2,4r}{R}}$ – (k – поправочный коэффициент) с учётом влияния стенок цилиндра на движение шарика

$mg = \rho Vg$ – сила тяжести

$F_A = \rho_0 Vg$ – сила Архимеда

$6\pi\eta vr/k = Vg(\rho - \rho_0) \quad V = 4/3(\pi r^3)$

$v = l/t$ – скорость падения шарика

$r = \alpha d/2$ – средний радиус шарика

$\frac{\Delta v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2}$ – относительная погрешность скорости шарика

$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta d}{d}$ – относительная погрешность среднего радиуса шарика

Таким образом, формула коэффициента вязкости η сводится к измерению скорости v падения шарика в жидкости и его радиуса r :

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2(\rho - \rho_0)}{v} gk$$

5. Параметры установки

$(R \pm \Delta R) \text{ см}$	$2,95 \pm 0,05$
$(\rho \pm \Delta \rho) \text{ кг/м}^3$	$7,8 \pm 0,1$
$(\rho_0 \pm \Delta \rho_0) \text{ кг/м}^3$	$0,96 \pm 0,04$
$(\alpha \pm \Delta \alpha) \text{ мм/дел}$	$0,266 \pm 0,0001$
$(l \pm \Delta l) \text{ см}$	$10,02 \pm 0,05$

6. Схема установки

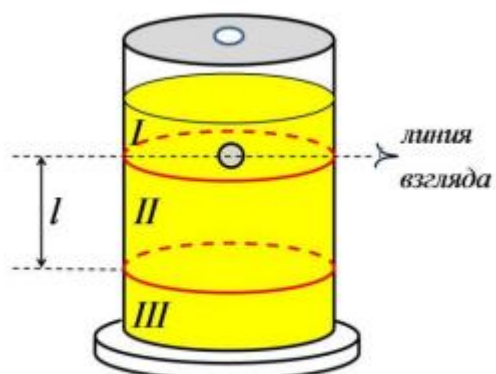


Рис. 3. Схема установки

начальное положение перекрестия



шкала микроскопа



7. Результаты прямых измерений и их обработки

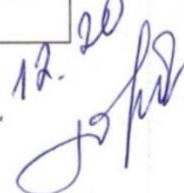
РОМАНОВ АРТЕМ МАКСИМОВИЧ РЗ110

$(R \pm \Delta R)$ см	$2,95 \pm 0,05$
$(\rho \pm \Delta \rho)$ кг / м ³	$7,8 \pm 0,1$
$(\rho_0 \pm \Delta \rho_0)$ кг / м ³	$0,96 \pm 0,04$
$(\alpha \pm \Delta \alpha)$ мм / дел	$0,266 \pm 0,001$
$(l \pm \Delta l)$ см	$10,02 \pm 0,05$

Первый шарик	БОЛЬШОЙ				
N опыта	1	2	3	4	5
x_2 дел	7,62	7,45	7,51	7,44	7,63
x_1 дел	0,17	0,02	0,03	0,04	0,19
d дел	7,45	7,43	7,48	7,4	7,44
$(\bar{d} \pm \Delta \bar{d})$ дел	$7,44 \pm 0,04$				
$(r \pm \Delta r)$ мм	$0,98 \pm 0,004$				
$(t \pm \Delta t)$ с	$7,5 \pm 0,005$				
$(v \pm \Delta v)$ м / с	$0,013 \pm 0,0006$				
$(\eta \pm \Delta \eta)$ Па · с	$1,01 \pm 0,05$				

Первый шарик	СРЕДНИЙ				
N опыта	1	2	3	4	5
x_2 дел	6,69	6,76	6,7	6,71	6,69
x_1 дел	0,79	0,89	0,76	0,82	0,7
d дел	5,9	5,87	5,94	5,89	5,89
$(\bar{d} \pm \Delta \bar{d})$ дел	$5,898 \pm 0,03$				
$(r \pm \Delta r)$ мм	$0,784 \pm 0,04$				
$(t \pm \Delta t)$ с	$11,69 \pm 0,005$				
$(v \pm \Delta v)$ м / с	$0,008 \pm 0,0004$				
$(\eta \pm \Delta \eta)$ Па · с	$1,007 \pm 0,05$				

Первый шарик	МАЛЕНЬКИЙ				
N опыта	1	2	3	4	5
x_2 дел	5,56	5,61	5,64	5,56	5,64
x_1 дел	2,01	2,92	2,01	1,86	2
d дел	3,55	2,69	3,63	3,7	3,64
$(\bar{d} \pm \Delta \bar{d})$ дел	$3,442 \pm 0,04$				
$(r \pm \Delta r)$ мм	$0,454 \pm 0,07$				
$(t \pm \Delta t)$ с	$29,47 \pm 0,005$				
$(v \pm \Delta v)$ м / с	$0,003 \pm 0,0001$				
$(\eta \pm \Delta \eta)$ Па · с	$0,88 \pm 0,27$				

15.12.20


8. Расчет результатов косвенных измерений

Ниже приведены вычисления для первой таблицы (большого шарика)

- 1) Найдём значения диаметра для каждого шарика в делениях шкалы микроскопа $d = x_2 - x_1$

$$d = x_2 - x_1 = 7,62 - 0,17 = 7,45 \text{ и усредним их для каждого шарика}$$

- 2) По среднему значению диаметра вычислим средний радиус шарика

$$r = \frac{\alpha d}{2} = \frac{0,226 * 7,44}{2} = 0,98$$

- 3) Вычисляем скорость падения шариков по формуле $v = l/t$

$$v = \frac{l}{t} = \frac{10,02}{7,5} = 0,013$$

- 4) Вычислим по формуле $\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2(\rho - \rho_0)}{v} g k$ значение коэффициента вязкости и его погрешность

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2(\rho - \rho_0)}{v} g k = \frac{2}{9} \frac{0,98^2(7800 - 960)}{0,013} * 9,8 * 0,93 = 1,01$$
$$k = \frac{1}{1 + \frac{2,4r}{R}} = \frac{1}{1 + \frac{2,4 * 0,98}{2,95}} = 0,93$$

Аналогично с шариком среднего и маленького размеров.

Полученные данные приведены в таблицах выше.

9. Расчет погрешностей измерений

Относительная погрешность среднего радиуса шарика верна по формуле $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta d}{d}$

Найдём Δd

$$\Delta d = K_s \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{N(N-1)}} = 2,78 \sqrt{\frac{(7,45 - 7,44)^2 + \dots + (7,44 - 7,44)^2}{5(5-1)}} = 0,036 \text{ дел}$$

Найдём относительную погрешность измерения скорости для каждого шарика по формуле $\frac{\Delta v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2}$

$$\frac{\Delta v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,05}{10,02}\right)^2 + \left(\frac{0,005}{7,5}\right)^2} = 0,05$$

Найдём относительную погрешность измерения коэффициента вязкости по формуле

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \left[\left(2 \frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2 + \frac{(\Delta \rho)^2 + (\Delta \rho_0)^2}{(\rho - \rho_0)^2} \right]^{\frac{1}{2}} = 0,0533 - \text{ для большого шарика}$$

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \left[\left(2 \frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2 + \frac{(\Delta \rho)^2 + (\Delta \rho_0)^2}{(\rho - \rho_0)^2} \right]^{\frac{1}{2}} = 0,0535 - \text{ для среднего шарика}$$

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \left[\left(2 \frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2 + \frac{(\Delta \rho)^2 + (\Delta \rho_0)^2}{(\rho - \rho_0)^2} \right]^{\frac{1}{2}} = 0,03106 - \text{ для маленького шарика}$$

10. Окончательные результаты

Значения коэффициентов вязкости, полученные для каждого шарика и их погрешности:

$$\text{большой шарик} \quad \eta = (1,01 \pm 0,05) \text{ Па} * \text{с} \quad \varepsilon_{\eta} = 5,33\%$$

$$\text{средний шарик} \quad \eta = (1,007 \pm 0,05) \text{ Па} * \text{с} \quad \varepsilon_{\eta} = 5,35\%$$

$$\text{маленький шарик} \quad \eta = (0,88 \pm 0,27) \text{ Па} * \text{с} \quad \varepsilon_{\eta} = 3,11\%$$

11. Выводы и анализ результатов работы.

В данной лабораторной работе я определял коэффициент внутреннего трения касторового масла методом Стокса и проверял справедливость формулы для шариков разного диаметра. Из полученных значений можно сделать вывод, что размер шарика влияет на результат, но незначительно.