

Полное название университета

.....

.....

Название кафедры

.....

Лабораторная работа №

Название лабораторной работы

Номер установки 3

Выполнил: обучающийся

группы

Фамилия И.О. студента

Проверил:

(преподаватель или доцент)

кафедры

Фамилия И.О. преподавателя

Самара 2020

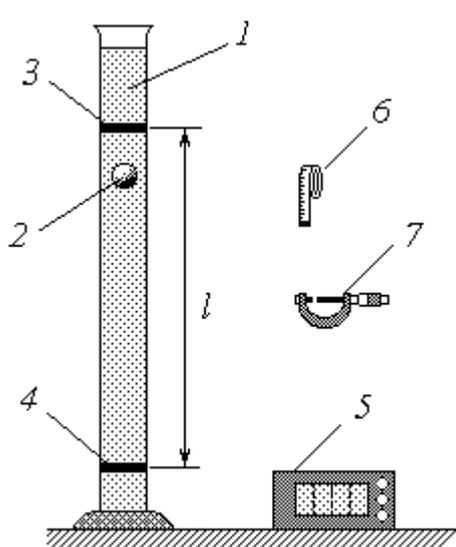
Лабораторная работа 1.2

Определение коэффициента вязкости жидкости по методу Стокса (Вариант 3)

Цель работы

- 1) изучение законов движения тела в вязкой среде;
- 2) экспериментальное определение коэффициента вязкости жидкости.

Схема экспериментальной установки

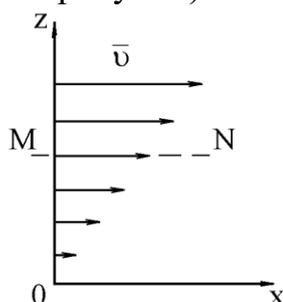


- 1 – цилиндрический сосуд с глицерином;
2 – свинцовый шарик;
3 – верхняя метка;
4 – нижняя метка;
5 – секундомер;
6 – сантиметровая лента;
7 – микрометр

Некоторые теоретические сведения

При течении жидкости между слоями возникают *силы внутреннего трения*, которые оказывают сопротивление относительно перемещению ее слоев. Это свойство называется *вязкостью*.

Для количественного описания вязкости рассмотрим течение жидкости, в которой скорость частиц меняется от слоя к слою. Выделим в жидкости некоторую плоскость MN , нормаль к которой перпендикулярна скорости течения v и совпадает с осью Oz (см. рисунок):

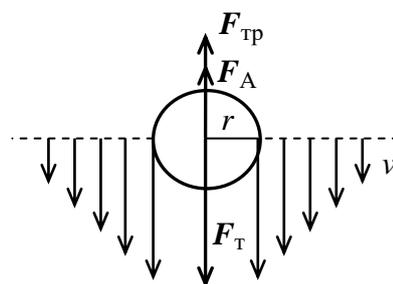


Модуль скорости v изменяется только в направлении оси Oz . Тогда изменение модуля скорости в этом направлении описывается производной dv/dz . Величина dv/dz показывает, как быстро изменяется модуль скорости в направлении оси z , перпендикулярном направлению движения ее слоев. Экспериментально найдено, что модуль силы:

$$F = \eta \left| \frac{dv}{dz} \right| S,$$

где η коэффициент пропорциональности, который называется *динамической вязкостью*, или просто *вязкостью* или *коэффициентом вязкости*, (единица измерения – Па·с); S – площадь поверхности соприкасающихся слоев жидкости, на которую действует сила F , м². Данная формула называется *законом Ньютона для внутреннего трения или вязкости*.

Силы внутреннего трения или вязкости возникают и при движении твердого тела в покоящейся жидкости. Жидкость, обладающая вязкостью, прилипает к поверхности тела, которое она обтекает. Следовательно, ближний к телу слой жидкости движется со скоростью тела, другой слой, находящийся на некотором расстоянии от тела, движется медленнее из-за наличия сил трения, и тормозит движение слоя, прилегающего к телу. Чем дальше от тела слой, тем медленнее он движется (см. рисунок). Расчет показывает, что при небольших скоростях и небольших размерах шарообразных тел сила сопротивления жидкости определяется формулой



$$F_{\text{тр}} = 6\pi\eta vr,$$

где r – радиус шара, м. Данная формула называется формулой Стокса.

Цель нашей работы – экспериментальное определение динамической вязкости η жидкости, с помощью изучения движения шарика в этой жидкости и использования формулы Стокса.

Порядок измерений и обработки результатов

1. Используя справочные материалы, записываем в тетрадь значения плотности материала шарика (свинец) $\rho_{ш}$ и жидкости (глицерин) $\rho_{ж}$.

$$\rho_{ш} = 11340 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{ж} = 1260 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

2. Измеряем сантиметровой лентой расстояние l между метками на сосуде, выражаем его значение в метрах и записываем в тетрадь.

$$l = 87.2 \text{ см} = 0.872 \text{ м}$$

3. Рассчитываем по формуле

$$C = \frac{g(\rho_{ш} - \rho_{ж})}{18l}$$

$$g = 9.8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$$

константу C :

$$C = 6294 \frac{\text{Н}}{\text{М}^4}.$$

Учимся пользоваться микрометром для измерения диаметра шарика. При этом обращаем внимание на следующие моменты:

- для фиксации шарика между рабочими плоскостями микрометра следует использовать крайнюю хвостовую часть его рукоятки; ее вращение продолжать до появления характерного звука трещотки;
- показание микрометра (диаметр шарика) определяется как

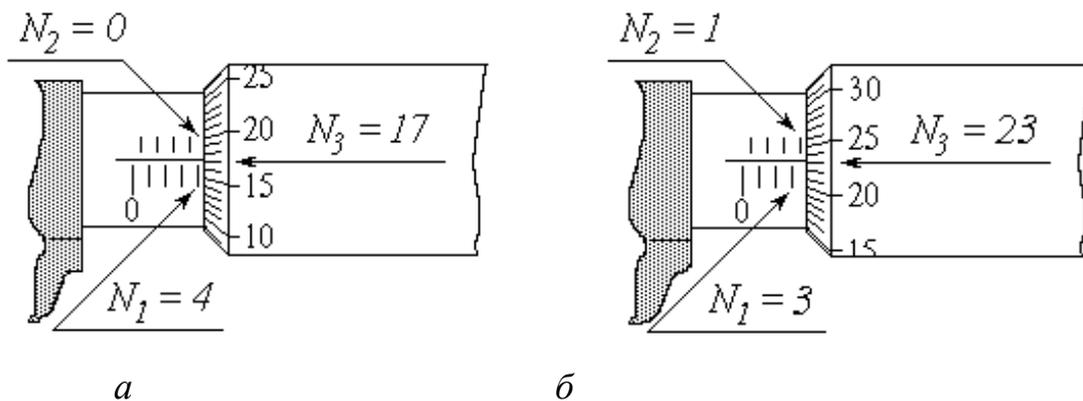
$$D = N_1 + 0,5N_2 + 0,01N_3 \text{ (мм)},$$

где N_1 – количество открытых делений нижней части линейной шкалы; N_2 – количество делений верхней части линейной шкалы между последним открытым делением нижней и срезом круговой шкалы (N_2 может быть равным только 0 или 1); N_3 – показания круговой шкалы.

В примерах на рисунке:

$$a) D = 4 + 0,5 \cdot 0 + 0,01 \cdot 17 = 4,17 \text{ (мм)};$$

$$б) D = 3 + 0,5 \cdot 1 + 0,01 \cdot 23 = 3,73 \text{ (мм)}.$$



4. Трижды измеряем микрометром диаметр одного из шариков в различных направлениях; результаты измерений заносим во второй столбец таблицы. Рассчитываем среднее из трех значений D и записываем его в тот же столбец таблицы.

Номер опыта	$D, \text{мм}$	$t, \text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\eta_i - \bar{\eta}, \text{Па}\cdot\text{с}$	$(\eta_i - \bar{\eta})^2, (\text{Па}\cdot\text{с})^2$
1	$D_1 = 3.76$ $D_2 = 3.85$ $D_3 = 3.83$ $\bar{D} = 3.81$	10.59	0.968	-0.026	$0.6760 \cdot 10^{-3}$
2	$D_1 = 2.81$ $D_2 = 2.78$ $D_3 = 2.85$ $\bar{D} = 2.81$	20.17	1.002	0.008	$0.0640 \cdot 10^{-3}$
3	$D_1 = 4.36$ $D_2 = 4.34$ $D_3 = 4.29$ $\bar{D} = 4.33$	8.17	0.964	-0.030	$0.9000 \cdot 10^{-3}$
4	$D_1 = 3.28$ $D_2 = 3.36$ $D_3 = 3.32$ $\bar{D} = 3.32$	14.38	0.998	0.004	$0.0160 \cdot 10^{-3}$
5	$D_1 = 2.33$ $D_2 = 2.38$ $D_3 = 2.31$ $\bar{D} = 2.34$	30.08	1.036	0.042	$1.7640 \cdot 10^{-3}$
			$\bar{\eta} = 0.994$		$\sum_{i=1}^5 (\eta_i - \bar{\eta})^2 = 3.42 \cdot 10^{-3}$

Приготовляем к работе секундомер. Аккуратно опускаем шарик в сосуд с глицерином; в момент прохождения им верхней метки включаем секундомер, в момент прохождения нижней метки – выключаем. Время движения между метками t заносим в третий столбец таблицы.

6. Повторяем пп. 4 и 5 еще четыре раза с новыми шариками (выбираем их произвольно).

7. Для каждого из пяти опытов вычисляем коэффициент вязкости η по формуле

$$\eta = C\bar{D}^2 t .$$

Результаты записываем в следующий столбец таблицы.

8. Найдите среднее значение коэффициента вязкости $\bar{\eta}$. Выполните все расчеты, необходимые для оценки случайной погрешности определения

величины η . Задаваясь доверительной вероятностью $\alpha = 0.95$, рассчитайте погрешность $\Delta_s \eta$.

$$\sigma_\eta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\eta_i - \bar{\eta})^2}{5 \cdot 4}} \approx 0.0131 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Доверительная вероятность $\alpha = 0.95$

Коэффициент Стьюдента при $n=5$ измерений есть

$$t_{n,\alpha} = 2.78$$

Случайная погрешность равна

$$\Delta_s \eta = t_{n,\alpha} \cdot \sigma_\eta = 2.78 \cdot 0.0131 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} = 0.0364 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

9. Определите абсолютные приборные ошибки прямых измерений расстояния между метками δl , диаметра шарика δD и времени его падения δt , а также относительные ошибки E_l , E_D и E_t .

Приборная погрешность измерения расстояния между метками равна

$$\delta l = 0.25 \text{ см} = 0.0025 \text{ м}$$

Приборная погрешность измерения времени равна

$$\delta t = 0.01 \text{ с}$$

Приборная погрешность измерения диаметра шарика равна

$$\delta D = 0.005 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Относительные приборные погрешности

$$E_l = \frac{\delta l}{l} = \frac{0.0025}{0.872} = 0.00287$$

$$E_t = \frac{\delta t}{t_{\min}} = \frac{0.01}{8.17} \approx 0.00122$$

$$E_D = \frac{\delta D}{D_{\min}} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{2.34 \cdot 10^{-3}} = 0.00214$$

10. Находим абсолютную приборную погрешность косвенного измерения коэффициента вязкости $\delta \eta$.

$$\delta \eta = \bar{\eta} \sqrt{(2E_D)^2 + E_t^2 + E_l^2}$$

$$\begin{aligned} \delta \eta &= 0.994 \sqrt{(2 \cdot 0.00214)^2 + 0.00122^2 + 0.00287^2} = \\ &= 0.994 \sqrt{(2 \cdot 0.00214)^2 + 0.00122^2 + 0.00287^2} = 0.00526 \text{ Па} \cdot \text{с} \end{aligned}$$

11. Находим полную погрешность:

$$\Delta\eta = \sqrt{\Delta_s\eta^2 + \delta\eta^2} = \sqrt{0.0364^2 + 0.0053^2} = 0.0368 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

12. Записываем ответ

$$\boxed{\eta = \bar{\eta} \pm \Delta\eta = 0.994 \pm 0.037 \text{ Па} \cdot \text{с}}$$