

## Лабораторная работа № 61

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДОМ СТОКСА

#### Теоретическое введение

Вязкость (внутреннее трение) – это свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости (газа) относительно другой. Между движущимися друг относительно друга слоями жидкости или газа возникают силы внутреннего трения, направленные по касательной к поверхности слоев. Действие этих сил проявляется в том, что со стороны слоя, движущегося быстрее, на слой, движущийся медленнее, действует ускоряющая сила. И наоборот, слой, движущийся быстрее, замедляет свое движение под действием сил внутреннего трения. Сила внутреннего трения  $F$  тем больше, чем больше рассматриваемая площадь поверхности слоя  $S$  (рисунок 1), и зависит от того, насколько быстро меняется скорость течения жидкости при переходе от слоя к слою.

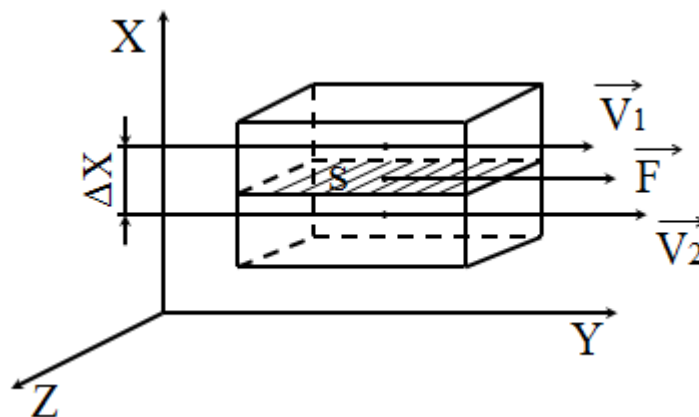


Рис. 1.

На рис. 1 представлены два слоя, отстоящие друг от друга на расстояние  $\Delta x$  и движущиеся со скоростями  $\vec{V}_1$  и  $\vec{V}_2$ . Показана сила  $\vec{F}$ , действующая на менее быстрый верхний слой. Разность скоростей слоев  $\vec{V}_2 - \vec{V}_1 = \Delta \vec{V}$ . Направление, в котором отсчитывается расстояние между слоями, перпендикулярно скорости течения слоев. Величина  $\frac{\Delta V}{\Delta x}$  показывает как быстро меняется скорость при переходе от слоя к слою в направлении  $x$ , перпендикулярном направлению движения слоев, и называется градиентом скорости. Таким образом, модуль силы внутреннего трения

$$F = \eta \left| \frac{\Delta V}{\Delta x} \right| S,$$

где коэффициент пропорциональности  $\eta$ , зависящий от природы жидкости и газа, называется динамической вязкостью (или просто вязкостью).

Существует два режима течения жидкостей. Течение называется ламинарным (слоистым). Если каждый выделенный тонкий слой скользит относительно соседних, не перемешиваясь с ними, и турбулентным (вихревым), если вдоль потока происходит интенсивное вихреобразование и перемешивание жидкости (газа). В системе СГС вязкость измеряется в  $\text{г/см} \cdot \text{с}$ . Эта единица называется пуазом (Пз). В системе СИ единица вязкости - Паскаль-секунда ( $\text{Па} \cdot \text{с}$ ). Коэффициент вязкости зависит от температуры, причем, характер этой зависимости для жидкостей и газов различен (для жидкостей  $\eta$  с увеличением температуры уменьшается, а у газов, наоборот, увеличивается), что указывает на различие в них механизмов внутреннего трения. Внутреннее трение в газах, согласно представлениям молекулярно-кинетической теории, вызвано переносом импульса (количества движения) от молекул быстро движущегося слоя к молекулам более медленного слоя вследствие теплового хаотического движения. В результате происходит торможение одного слоя и ускорение другого.

### Содержание работы

В работе производится измерение вязкости жидкости по измерению скорости установившегося равномерного движения маленьких твердых шариков при их падении в исследуемой жидкости.

Для тел шарообразной формы сила сопротивления движению в жидкости определяется по формуле Стокса (1):

$$F_{\text{тр}} = -6\pi\eta r v. \quad (1)$$

При падении шарика в жидкости на него, кроме силы сопротивления (1), действует сила Архимеда:

$$F = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_1 g$$

и сила тяжести

$$mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g,$$

где  $\rho_1$  и  $\rho$  — плотности жидкости и шарика,

$r$  — радиус шарика.

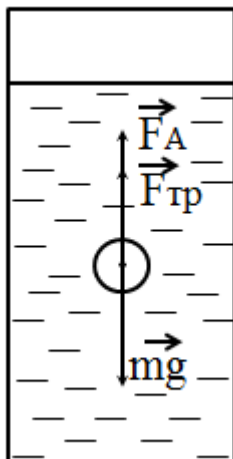


Рис. 2.

Все три силы направлены по вертикали (рис. 2) и уравнение движения шарика имеет вид:

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \rho_1) g - 6 \pi \eta r v, \quad (2)$$

Скорость установившегося равномерного движения можно определить непосредственно из (2). Движение с постоянной скоростью начинается с момента, когда сила сопротивления уравнивается разностью силы тяжести и подъемной силы. Полагая в (2)  $\frac{dv}{dt} = 0$ , получим

$$v_0 = \frac{2}{9} \frac{r^3 (\rho - \rho_1) g}{\eta}. \quad (3)$$

Решая (3) относительно  $\eta$ , будем иметь:

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^3 (\rho - \rho_1) g}{v_0}. \quad (4)$$

Зная величины, входящие в правую часть равенства (4), можно определить коэффициент внутреннего трения жидкости.

### Порядок выполнения

- Принадлежности:** 1. Стекланный цилиндр с исследуемой жидкостью.  
2. Секундомер. 3. Шарики из стали. 4. Измерительный микроскоп.  
5. Масштабная линейка.

**Задание 1.** Измерение радиуса шарика.

На предметное стекло микроскопа уложить 10 шариков. Перемещая тубус микроскопа, привести микроскоп на резкость и по шкале окулярного микрометра измерить в определенной последовательности диаметр шариков.

Цена деления окулярного микрометра зависит от длины тубуса и указана в паспорте установки.

Значения радиусов шариков, занумерованные в порядке измерения, занести в протокол измерений (таблица 1).

Таблица 1

№ измерения	$r$ , см	$t$ , с	$v_0$ , см/с	$\eta$ , г/см·с
1.				
2.				
3.				
10.				

**Задание 2.** Измерение скорости установившегося движения шариков.

Осторожно опуская шарики в цилиндр с жидкостью по возможности ближе к его оси, измерить секундомером время движения шарика между метками, нанесенными на цилиндре.

Измерения произвести для десяти шариков в той же последовательности, что и в задании 1. Для каждого шарика вычислить скорость установившегося движения. Результаты измерений и вычислений занести в протокол измерений (табл. 1).

**Задание 3.** Расчет коэффициента вязкости, относительной и абсолютной погрешности измерения.

Для каждого измерения по формуле (4) вычислить коэффициент вязкости жидкости. Плотность материала шариков и плотность жидкости заданы в паспорте установки.

Найти среднее значение коэффициента вязкости.

Определить максимальную относительную погрешность в измерении вязкости жидкости по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{2\Delta r}{r} + \frac{\Delta\rho}{\rho-\rho_1} + \frac{\Delta\rho_1}{\rho-\rho_1} + \frac{\Delta\ell}{\ell} + \frac{\Delta t}{t}.$$

Погрешность измерения радиуса  $\Delta r$  равна цене деления шкалы окулярного микрометра, погрешность в измерении высоты  $\Delta\ell$  равна цене деления линейки.

Найти абсолютную погрешность  $\Delta\eta = \varepsilon \cdot \eta$  и результат записать в виде:

$$\eta = < \eta > \pm \Delta\eta.$$

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется коэффициентом вязкости жидкости и газа?
2. Дайте определение единицы вязкости в системах СГС И СИ.
3. Объясните механизм явлений переноса в газах на основании представлений молекулярно-кинетической теории.
4. Объясните распределение скоростей в потоке жидкости или газа в цилиндрической трубке и дайте вывод формулы (4).