

Лабораторная работа № 207  
ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ В ЖИДКОСТЯХ  
(пробный вариант)

Цель работы: определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом падающего шарика.

**Общие указания**

Если в жидкостях (или газах) скорости течения в разных местах различны, то в них будут происходить процессы, стремящиеся выровнять эти скорости. Эти процессы обусловлены внутренним трением или вязкостью среды. При внутреннем трении благодаря тепловому движению молекул происходит передача импульса от более быстрых участков потока к менее быстрым. Вследствие этого быстрые слои тормозятся, а медленные начинают двигаться быстрее. Сила, которую нужно приложить к сдвигаемому слою, пропорциональна площади его соприкосновения с соседними слоями  $S$  и скорости  $v$  относительного сдвига, то есть градиенту модуля скорости в перпендикулярном к течению жидкости направлении  $\frac{dv}{dz}$

$$f = \eta \frac{dv}{dz} S. \quad (1)$$

Коэффициент  $\eta$  называется *коэффициентом внутреннего трения* или *динамической вязкостью*. Он численно равен касательной силе, которую нужно приложить к единице площади сдвигаемого слоя, при скорости относительного сдвига, равной единице. В системе СИ единица вязкости равна  $1 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2 = 1 \text{ Па}\cdot\text{с}$  и называется *паскаль-секундой*.

Вязкость жидкости обусловлена силами сцепления между молекулами и характером течения жидкости, степенью его ламинарности (*ламинарным* называется упорядоченное течение без перемешивания соседних слоев потока). Неупорядоченное течение, когда элементы потока движутся по изменяющимся траекториям, называется *турбулентным*. Степень ламинарности тем больше, чем больше вязкость  $\eta$  и меньше плотность жидкости  $\rho$ , и определяется кинематической вязкостью  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ .

Коэффициент вязкости зависит от температуры. У жидкостей вязкость, как правило, уменьшается с повышением температуры, в то время как у газов коэффициент вязкости с повышением температуры растет ( $\eta \propto \sqrt{T}$ ).

При движении тел в вязкой жидкости за счет увлечения телом тонкого прилегающего к телу слоя жидкости возникает сила сопротивления  $F_{\text{сопр}}$ . Можно показать, что при достаточно малых скоростях, когда движение жидкости ламинарно, эта сила пропорциональна скорости:  $F_{\text{сопр}} \propto \eta v$  и рассчитывается по формуле Стокса. Коэффициент пропорциональности зависит от размера и формы тела. Для шара радиуса  $r$ , как показал Стокс, этот коэффициент равен  $6\pi r \eta$ .

В данной работе рассматривается движение шарика в цилиндрическом сосуде, наполненном вязкой жидкостью, под действием силы тяжести.

### Описание установки

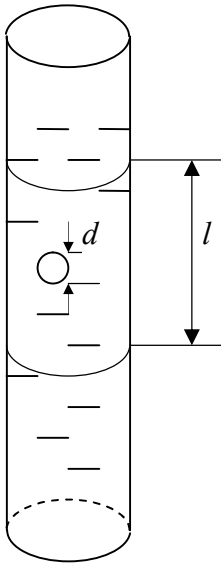


Рис.1.

Для измерений используется укрепленный на стене стеклянный цилиндрический сосуд, наполненный техническим маслом (рис.1). На стенках сосуда нанесены две горизонтальные метки. Шарик диаметра  $d$  необходимо опускать по центральной оси сосуда. Верхняя метка должна располагаться ниже уровня жидкости с таким расчетом, чтобы скорость шарика к моменту прохождения этой метки успевала установиться. Измеряя расстояние  $l$  между метками с помощью линейки, а время  $t$  падения шарика между метками – с помощью секундомера, определяют скорость равномерного падения шарика.

На падающий шарик действуют следующие силы:

- сила тяжести

$$F_{тяж} = mg = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_1 g, \quad (2)$$

где  $\rho_1$  - плотность шарика;  $g$  - ускорение свободного падения;

- выталкивающая сила (по закону Архимеда)

$$F_{арх} = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_{ж} g, \quad (3)$$

где  $\rho_{ж}$  - плотность жидкости;

- сила сопротивления движению, обусловленная силами внутреннего трения между слоями жидкости (по закону Стокса)

$$F_{сопр} = 6\pi\eta r v, \quad (4)$$

где  $v$  - скорость движения прилегающих к шару слоев жидкости, равная скорости падения шарика;  $r$  - радиус шарика.

Вначале шарик движется ускоренно, но, так как сила сопротивления растет со скоростью движения, с некоторого момента движение шарика становится равномерным с некоторой скоростью  $v$ , при этом

$$F_{тяж} = F_{арх} + F_{сопр} \quad (5)$$

Подставляя в формулу (5) соответствующие значения из формул (2), (3), (4), можем выразить коэффициент внутреннего трения:

$$\eta = \frac{gd^2(\rho_1 - \rho_{ж})}{18v} \quad (6)$$

Для проведения опытов используют несколько маленьких шариков известной плотности, диаметры которых необходимо измерить микрометром. Плотность жидкости указана на установке. Если выразить скорость движения шарика через пройденный путь и время, получим окончательное выражения для коэффициента внутреннего трения

$$\eta = \frac{gtd^2(\rho_1 - \rho_{ж})}{18l} \quad (7)$$

### ***Порядок выполнения работы***

1. Измерить диаметры  $d$  трех различных шариков с помощью микрометра и записать значения в таблицу.
2. Измерить расстояние  $l$  между метками на сосуде с жидкостью.
3. Опустить первый шарик в сосуд и зафиксировать время  $t$  прохождения между двумя метками. Для повышения точности измерений глаз наблюдателя должен находиться на одном уровне с меткой.
4. Повторить опыт с остальными шариками.
5. По формуле (7) рассчитать значения коэффициента внутреннего трения  $\eta$  для каждого шарика.
6. Найти среднее значение коэффициента вязкости и, используя правила обработки прямых измерений, рассчитать абсолютную и относительную погрешности.

### ***Таблица измерений***

	m, кг	d, м	t, с	$\eta$ , Па·с	$\eta_{cp}$ , Па·с	$\Delta\eta$ , Па·с
1						
2						
3						