

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики, электротехники и автоматики

Лабораторная работа № 18

ИЗУЧЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

Методические указания
к лабораторным работам по физике
для студентов всех направлений подготовки

Казань

2020

УДК 535
ББК 22.34
С 36

Методические указания к лабораторным работам по физике для студентов всех специальностей. Лабораторная работа №18 «ИЗУЧЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА»/ Сост.: В.И.Сундуков, Казань: КГАСУ, 2017 г.- 7 с.

Данные методические указания являются составной частью методического обеспечения аудиторной и самостоятельной работы студентов всех специальностей.

В работе рассмотрены вопросы, связанные с вязкостью жидкости. Для ламинарного течения жидкости выводится формула для определения динамической вязкости жидкости. Приведено описание лабораторной установки и изложена методика проведения эксперимента.

Стр.7, рис. 3.

Рецензент
доцент кафедры теплоэнергетики В.Н. Енюшин

УДК 535
ББК 22.34

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2020 г.
© Сундуков В.И , 2020 г.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Вязкость (внутреннее трение) — это свойство жидкостей (газов) оказывать сопротивление взаимному перемещению частей жидкости. При движении слоёв жидкости между ними возникают силы внутреннего трения, направленные по касательной к поверхности слоёв. Эти силы тормозят более быстрый слой и ускоряют слой, движущийся более медленно.

Существует два вида течения жидкости — ламинарное и турбулентное. В случае ламинарного течения слои жидкости перемещаются, не перемешиваясь с другими слоями. При турбулентном течении происходит интенсивное вихреобразование и перемешивание различных слоёв жидкости.

Для ламинарного течения Ньютон установил следующий закон для силы внутреннего трения:

$$F = \eta \frac{dv}{dx} S, \quad (1)$$

где F — сила внутреннего трения, S — площадь соприкасающихся слоёв, $\frac{dv}{dx}$ — градиент скорости, характеризующий быстроту изменения скорости при переходе от слоя к слою в направлении x , перпендикулярном к направлению движения слоёв, η — коэффициент динамической вязкости, зависящий от природы жидкости (газа).

Динамическая вязкость измеряется в паскаль – секундах (Па·с): 1 Па·с равен динамической вязкости жидкости, в которой при ламинарном течении и градиенте скорости 1 м/с на 1 м, возникает сила внутреннего трения в 1 Н на 1 м² поверхности касания слоёв (1 Па·с = 1 Н·с/м²).

О. Рейнольдс показал, что характер течения жидкости (газа) зависит от безразмерной величины, называемой числом *Рейнольдса*

$$Re = \rho_{ж} v_{cp} l / \eta, \quad (2)$$

где $\rho_{ж}$ — плотность жидкости, v_{cp} — средняя по сечению трубы скорость жидкости, l — характерный для поперечного сечения линейный размер, например, сторона квадрата при квадратном сечении потока, радиус или диаметр при круглом сечении и т.д.

При малых значениях числа Рейнольдса ($Re < 1000$) наблюдается ламинарное течение в трубе радиуса r (в этом случае $l = r$), переход от ламинарного течения к турбулентному происходит в интервале $1000 \leq Re \leq 2000$, а при $Re > 2000$ — течение турбулентное. Если число Рейнольдса одинаково, то режим течения различных жидкостей (газов) в трубах разных сечений одинаков.

При движении твёрдого тела в жидкости (газе) возникают силы сопротивления, препятствующие движению. Эти силы зависят от размеров и формы тела, от скорости его движения и свойств жидкости (газа).

При движении тела с небольшой скоростью на него действует сила трения, пропорциональная вязкости среды, линейным размерам и скорости тела:

$$T = B\eta v l, \quad (3)$$

где B — безразмерный коэффициент, v — скорость тела, l — характерный размер тела. Например, для тел шарообразной формы характерный размер равен его диаметру, а коэффициент $B = 3\pi$.

ВЫВОД РАБОЧЕЙ ФОРМУЛЫ

На шарик, падающий в жидкости, действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$ (m — масса шарика), направленная вертикально вниз, сила Архимеда F_A , направленная вертикально вверх, и сила сопротивления T , направленная в сторону противоположную движению, т.е. вертикально вверх (рис. 1).



Рис. 1. Распределение сил, приложенных к шарика падающего в вязкой жидкости.

Применим к движению шарика второй закон Ньютона:

$$mg - F_A - T = ma, \quad (4)$$

где a — ускорение, с которым шарик будет двигаться на начальном участке пути. Силы $m\vec{g}$ и \vec{F}_A постоянные, а сила сопротивления \vec{T} возрастает с увеличением скорости падения шарика (см. формулу (3)). Это приводит к уменьшению его ускорения. Наконец, наступает такой момент, когда сила Архимеда F_A и сила сопротивления T_0 в сумме уравновесят силу тяжести mg , после чего шарик будет двигаться равномерно ($a = 0$) с некоторой скоростью v_0 . В этом случае уравнение (4) запишется в виде

$$mg - F_A - T_0 = 0. \quad (5)$$

Согласно закону Архимеда, на тело, погружённое в жидкость (газ), действует выталкивающая сила, равная весу жидкости (газа), вытесненной телом, т.е. $F_A =$

$\rho_{ж}gV$, где $\rho_{ж}$ — плотность жидкости, V — объём погружённой части тела, равный в данном случае объёму шарика, g — ускорение свободного падения.

Объём шарика равен $V = \frac{1}{6}\pi d^3$, где d — диаметр шарика. Поэтому

$$F_A = \frac{1}{6}\pi\rho_{ж}gd^3. \quad (6)$$

Сила тяжести шарика равна

$$mg = \rho Vg = \frac{1}{6}\pi\rho gd^3, \quad (7)$$

где ρ — плотность шарика. Так как скорость v_0 равномерного падения мала, то силу сопротивления находим по формуле

$$T_0 = 3\pi\eta v_0 d. \quad (8)$$

Подставляя выражение (6), (7) и (8) в (5), находим коэффициент динамической вязкости

$$\eta = \frac{g}{18} \cdot \frac{\rho - \rho_{ж}}{v_0} \cdot d^2. \quad (9)$$

Скорость равномерного движения v_0 можно определить по измерению времени t , необходимого для прохождения шариком определённого пути L , т.е.

$v_0 = \frac{L}{t}$. Тогда формула (9) принимает вид

$$\eta = \frac{g}{18} \cdot \frac{\rho - \rho_{ж}}{L} \cdot d^2 t. \quad (10)$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Установка представляет собой стеклянный цилиндрический сосуд (рис.2), наполненный исследуемой жидкостью (глицерином).



Рис.2. Мерный цилиндр для измерения вязкости.

На сосуд надеты два кольца - метки, расположенные друг от друга на расстоянии L . Определения коэффициента динамической вязкости производится по формуле (10)

В формуле $g=9.81\text{м/с}^2$ (ускорение свободного падения), d – диаметр падающего шарика, t - прохождения шарика между двумя кольцевыми метками, L - расстояние между метками.

$\rho_{\text{ж}}=1.26\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ (плотность глицерина) $\rho=11.3\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ (плотность свинца),
 $\rho=7.8\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ плотность стали.

В работе изучается движение металлического шарика в мерном цилиндре с глицерином.

Порядок выполнения работы со стальными шариками

1. Измерьте линейкой расстояние между метками мерного цилиндра и запишите результат в тетрадь.
2. Возьмите стальной шарик с медным покрытием (желто-красного цвета). Диаметр стального шарика равен 4.5 мм.
3. Приготовьте секундомер на Вашем смартфоне. Отпустите шарик в мерный цилиндр, чтобы он падал. Включите секундомер в момент прохождения шариком первой метки-кольца и выключите в момент прохождения второй метки. Записать время t_1 .
4. Повторите пункты 3 и 4 для других двух шариков.
5. Выполните расчёты динамической вязкости по формуле (10), подставив в формулу среднее арифметическое время падения шарика. Результат округлите до двух значащих цифр.

Порядок выполнения работы со свинцовыми шариками.

- 1.Свинцовые шарики немного отличаются друг от друга диаметром. Отберите 3 свинцовых шариков для эксперимента
- 2.Измерьте штангенциркулем диаметр первого шарика, запишите d_1 .
- 3.Отпустите шарик, чтобы он падал, включить секундомер в момент прохождения шариком первой метки-кольца и выключите в момент прохождения второго кольца. Запишите время t_1 .
- 4.Повторить пункты 2 и 3 для других двух шариков.
- 5.Выполните расчёты динамической вязкости по формуле (10) для каждого шарика, потом найдите среднее арифметическое. Результат округлите до двух значащих цифр.
- 6.Оформите результаты работы и покажите преподавателю.

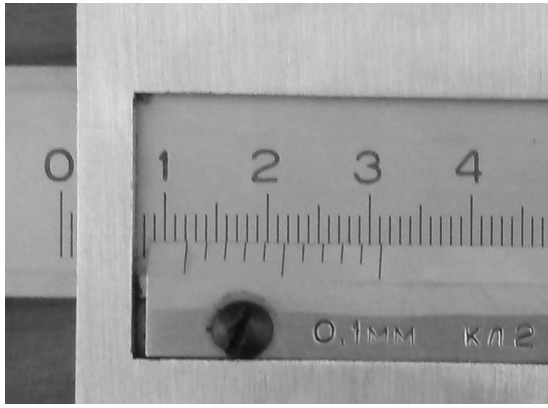


Рис. 3. Измерение диаметра свинцового шарика штангенциркулем

Штангенциркуль представляет собой устройство с миллиметровой шкалой, по которой движется обойма, с дополнительной шкалой, называемой «нониусом». Целое число делений основной шкалы определяется по левому краю нониусной шкалы. Десятые доли миллиметра определяют по нониусу. Смотрят, какое деление нониусной шкалы совпадает с любым делением основной шкалы (точно совпадает только одно деление). Допустим, это совпадает «к» -ое деление нониуса. К целому числу делений основной шкалы нужно добавить «к» десятых миллиметра. Например, на рис. 2 крайнее левое деление нониуса (нижней шкалы) находится немного правее 12 мм основной шкалы и у нониусной шкалы 2-ое деление совпадает с каким-то делением основной шкалы. В этом случае, значение длины, измеренное штангенциркулем равно 12,2 мм.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется вязкостью жидкости (газа)?
2. Каковы виды течения жидкости?
3. Сформулируйте закон Ньютона для внутреннего трения.
4. Что такое число Рейнольдса и что оно характеризует?
5. Как вычисляется сила сопротивления, действующая на тела, движущиеся в жидкости (газе)?