

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Московский энергетический институт
(технический университет)
Волжский филиал**

Кафедра общетехнических дисциплин

В.П.Мельников, С.В.Кулешина

Лабораторная работа № 10.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО
ТРЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПО МЕТОДУ СТОКСА**

**Методические указания к выполнению
лабораторной работы № 10 по курсу “Физика”**

УДК 532

Л 125

Рецензент:

Петухов И.М., кандидат технических наук, доцент кафедры СД

В. П. Мельников, С. В. Кулешина,

Лабораторная работа № 10. Определение внутреннего трения жидкости по методу Стокса. Методические указания.

При выполнении лабораторной работы студенты экспериментально определяют коэффициент трения жидкости по методу Стокса, заполняют таблицу результатов измерений.

Предназначена для студентов I курса всех специальностей дневной и вечерней форм обучения.

УДК 532

Л 125

© В.П.Мельников
С.В.Кулешина

Определение коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса

1. Цель работы.

Экспериментальное определение коэффициента трения жидкости по методу Стокса

2. Теоретические основы работы

Внутреннее трение (вязкость) – свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление при перемещении одной их части относительно другой. Рассмотрим схему вязкого ламинарного (слоистого) течения слоя жидкости, заключённого между двумя параллельными пластинами (рис. 2.1). Пусть нижняя пластина неподвижна; верхняя движется горизонтально вправо со скоростью \vec{v}_0 . Тогда в жидкости возникает течение со скоростью $v=v(z)$. Закон вязкого трения был установлен Ньютоном. Он имеет вид:

$$F = \eta dv/dz S, \quad [2.1]$$

Где F - касательная сила, вызывающая сдвиг слоёв жидкости относительно друг друга; S - площадь слоя, по которому происходит сдвиг; dv/dz – градиент скорости течения жидкости (быстрота изменения скорости от слоя к слою).

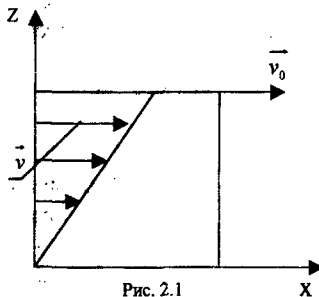


Рис. 2.1

В результате внутреннего трения происходит ускорение медленно движущихся и замедление быстро движущихся соседних слоёв жидкости.

Коэффициент пропорциональности η - коэффициент внутреннего трения жидкости; его называют вязкостью жидкости. В СИ размерность $[\eta] = \text{Па}\cdot\text{с}$.

В условиях установившегося ламинарного течения при постоянной температуре T коэффициент внутреннего трения жидкости η практически не зависит от градиента скорости.

Вязкость жидкостей (в отличие от вязкости газов) обусловлена в основном межмолекулярным взаимодействием, ограничивающим подвижность молекул.

В настоящее время ещё не существует адекватной теории вязкости жидкости, поэтому коэффициенты внутреннего трения определяются экспериментально.

Одним из методов экспериментального определения коэффициента внутреннего трения является метод Стокса. При движении тела в жидкости на тело действует сила сопротивления.

Стокс вывел формулу для силы сопротивления, действующей на шар, движущийся в жидкости поступательно и с постоянной скоростью (вывод этих формул требует знаний специальных функций, поэтому мы его здесь не приводим). Формула Стокса имеет вид:

$$F = 3\pi\eta d v \quad [2.2]$$

Здесь F – сила сопротивления жидкости при движении шара; η – коэффициент внутреннего трения; d – диаметр шара; v – скорость поступательного движения шара. Отметим, что формула Стокса справедлива лишь при условии, что при движении шара не возникает турбулентность (завихрение) жидкости. Движение прилегающих к шару слоёв жидкости должно быть ламинарным. Это условие выполняется при:

$$Re = \rho v d / \eta < 1 \quad [2.3]$$

Здесь Re – число Рейнольдса – один из так называемых критериев подобия; ρ – плотность жидкости. Отметим, что критерии подобия дают возможность подбирать оптимальные условия эксперимента; они широко используются в гидродинамике, условиях переноса, теории теплопередачи и др. Критерии подобия дают правила пересчёта с модели на натуральную конструкцию для явлений, в которых необходимо учитывать большое количество факторов.

3. Описание установки. Вывод расчётных формул

Экспериментальная установка, используемая для определения коэффициента внутреннего трения по методу Стокса, показана на рис. 3.1. Это функциональный модуль, на передней панели которого находится крепёжный винт 1, табличка 2 с названием работы, цилиндрические стеклянные колбы 3 с пробками 4, расположенные симметрично относительно измерительной линейки 6, два ползунка (верхний и нижний) с планками 5, осветитель.

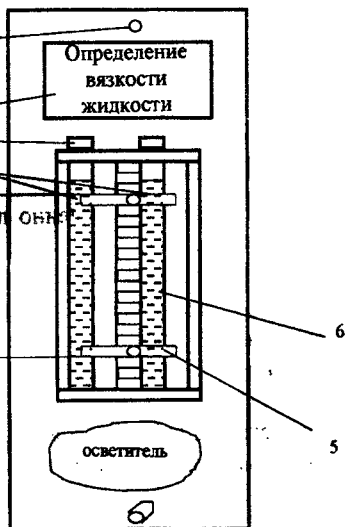


Рис. 3.1

Цилиндрические сосуды заполнены вязкими жидкостями. Для каждой жидкости проводят серию опытов: в сосуд через отверстие в пробке 4 пускают поочередно пять небольших шариков, плотность которых ρ_1 больше плотности жидкости ρ_2 .

Расстояние между поверхностью жидкости и верхней планкой подбирают так, чтобы при движении на этом участке скорость шарика стабилизировалась; тогда на участке L между планками скорость шарика будет постоянной.

На движущийся со скоростью v_0 шарик в вязкой жидкости действуют следующие силы: сила тяжести $F_1 = \rho_1 g V_1$ (V_1 -объём шарика), направленная вниз, сила Архимеда $F_2 = \rho_2 g V_1$ и сила Стокса $F_3 = 3\pi d v_0 \eta$, направленные вверх. Так как скорость движения шарика v_0 постоянна, то уравнение второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось можно записать:

$$F_1 - F_2 - F_3 = 0 \quad [3.1]$$

Подставляя в (3.1) выражения для сил F_1, F_2, F_3 , а также учитывая, что объём шара равен:

$$V_1 = \frac{1}{6} \pi d^3 \quad [3.2]$$

где d - диаметр шара, получается выражение для коэффициента внутреннего трения жидкости:

$$\eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot d^2}{v_0} \quad [3.3]$$

Установившаяся скорость движения шара на участке L находится по формуле

$$v_0 = \frac{L}{\tau} \quad [3.4]$$

τ -время движения шарика между планками. Из (3.3) и (3.4) получается формула для определения коэффициента внутреннего трения жидкости

$$\eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot \tau \cdot d^2}{L} \quad [3.5]$$

В опыте измеряется диаметр шариков, расстояние между планками и время движения каждого шарика на этом участке.

4. Порядок выполнения работы

1. Записать данные экспериментальной установки

2. Подключить с помощью сетевого шнура функциональный модуль к блоку питания. Подключить блок питания к сети.
3. Определить температуру воздуха T в помещении, считая её равной температуре жидкости.
4. Измерить диаметр d шарика с помощью штангенциркуля. Результат измерений занести в таблицу.
5. Включить подсветку жидкости тумблером на модуле.
6. Через пробку опустить шарик в левый сосуд. Секундомером измерить время τ прохождения шариком расстояние между планками.
7. Результат измерения внести в таблицу.
8. Пункты 4-6 повторить для пяти шариков.
9. Пункты 4-8 повторить, опуская шарики в правый сосуд.

5. Данные установки и таблица результатов измерений

Плотность материала шариков $\rho_1=7800 \text{ кг/м}^3$
 Плотность жидкости (глицерина) $\rho_2=1260 \text{ кг/м}^3$
 Плотность жидкости (касторового масла) $\rho_3=960 \text{ кг/м}^3$
 Ускорение силы тяжести $g=9,81 \text{ м/с}^2$
 Расстояние между планками $L=\dots \text{ мм}$
 Температура жидкости $T=\dots \text{ }^\circ\text{C}$

Таблица 5.1

Исследуемая жидкость	№ опыта	$d, \text{мм}$	$T, \text{с}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$
Глицерин				
		среднее значение		
Касторовое масло				
		среднее значение		

6. Обработка результатов измерений

1. Рассчитать коэффициент внутреннего трения жидкости η для каждого опыта.

$$\eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot \tau \cdot d^2}{L}$$

2. Определить среднее (из пяти опытов) значение коэффициента внутреннего трения.
3. Погрешность косвенного измерения рассчитать по приближённой формуле:

$$\delta\eta \approx 3 \cdot \delta d = 3 \cdot \frac{\Delta d}{d}$$

$$\Delta\eta = \eta \cdot \delta\eta$$

4. Записать результат с учётом погрешности измерения.

Контрольные вопросы

1. Что такое вязкость (внутреннее трение)?
2. Закон Ньютона для вязкого трения?
3. Что такое коэффициент внутреннего трения? Единицы измерения?
4. Что выражает формула Стокса?
5. Какие силы действуют на шар, опущенный в жидкость?
6. Какое движение называется ламинарным, турбулентным?
7. Зависит ли коэффициент внутреннего трения от температуры, почему? -.

Литература

1. *Савельев И.В.* Общий курс физики. Т. 1. Механика и молекулярная физика. М.: Наука, 1986. с. 395-397. 403-404.
2. *Детлаф А.А.* Курс физики. Т. 1. Высшая школа. 1974. С. 95,233-234,305-306,347-357.
3. *Канасков Д.Р., Вентцель Л.И., Федорова И.П.* Механика и молекулярная физика. М. Московский энергетический институт. 1976. С. 196.

Содержание.

Цель работы. Теоретические основы работы	2
Описание установки. Вывод расчетных формул	3
Порядок выполнения работы	4
Данные установки и таблица результатов измерений	5
Обработка результатов измерений	6
Контрольные вопросы	6
Литература	6

18

18
18

18
18

18
18

Лабораторная работа № 10
Определение коэффициента внутреннего трения
жидкости по методу Стокса

Методические указания

В.П.Мельников, С.В.Кулешина

Редактор Г.П.Халдеева
Компьютерная верстка Т.К.Вдовенко

Подписано в печать 05.06.00 Формат 60x90 $\frac{1}{8}$.
Усл. печ. л. 0,4 Тираж 50 экз. Заказ 4.

Издатель: ВФ МЭИ, 404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69
Отпечатано: ВФ МЭИ, 404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69