



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Практикум

Лабораторная работа №26 «Определение
динамической вязкости жидкости методом
Стокса»
по дисциплине

«Физика»

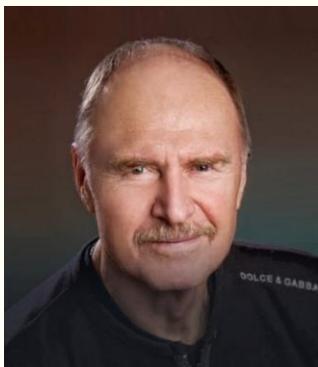
Авторы
Снежков В. И.,
Бугаян И. Ф.

Ростов-на-Дону, 2020

Аннотация

Лабораторный практикум предназначен для студентов очной и заочной форм обучения высших технических учебных заведений, изучающих дисциплину «Физика», для выполнения лабораторной работы по программе курса «Физика».

Авторы



д.ф.-м.н., профессор
кафедры «Физика»
Снежков В.И.



к.т.н., доцент кафедры
«Физика» Бугаян И.Ф.



Оглавление

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №26 «Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса»	4
Краткая теория и описание установки	4
Описание экспериментальной установки и методика измерения	7
Порядок выполнения работы	7
Контрольные вопросы и тесты	8
Правила безопасности при проведении лабораторной работы	11
Список литературы	12

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №26 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА»

Цель работы: ознакомиться с явлением внутреннего трения в жидкостях, изучить метод экспериментального определения динамической вязкости жидкости.

Приборы и принадлежности: цилиндрический сосуд с исследуемой жидкостью, металлические шарики, микрометр, масштабная линейка, секундомер.

Краткая теория и описание установки

Внутреннее трение или вязкость характеризует свойство жидкости оказывать сопротивление относительному перемещению её слоев. Действие внутреннего трения проявляется в том, что со стороны слоя, движущегося быстрее, на слой, движущийся медленнее, действует по касательной к поверхности соприкосновения слоев ускоряющая сила. Со стороны же слоя, движущегося медленнее, на слой, движущийся быстрее, будет действовать в противоположном направлении тормозящая сила. Эти силы называют силами внутреннего трения.

Пусть в потоке жидкости величина скорости течения меняется на ΔV на расстоянии ΔX вдоль оси Ox , перпендикулярной направлению движения потока, а площадь соприкосновения слоёв S . Тогда по формуле Ньютона сила внутреннего трения

$$F = -\eta \cdot \left| \frac{\Delta V}{\Delta x} \right| \cdot S, \quad (1)$$

Величина $\left| \frac{\Delta V}{\Delta x} \right|$ называется модулем градиента скорости течения жидкости в слоях. Она показывает, как быстро меняется скорость течения в направлении, перпендикулярном движению слоёв.

Коэффициент пропорциональности η , зависящий от природы жидкости и её температуры, называется динамической вязкостью. Из формулы (1) следует, что динамическая вязкость – это физическая величина, численно равная силе внутреннего трения, действующей на единицу площади поверхности слоя при градиенте скорости, равном единице.

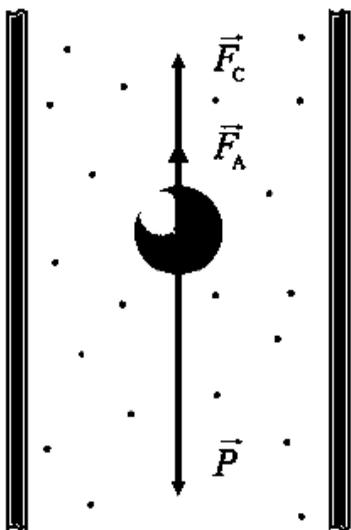
Внутреннее трение является причиной того, что на тело, движущееся в неподвижной жидкости, действует сила сопротивления, направленная противоположно движению.

Движущееся тело увлекает за собой тонкий слой жидкости, «прилипающий» к его поверхности и имеющий одинаковую с ним скорость. С удалением от поверхности тела скорость слоёв жидкости постепенно спадает и, таким образом, устанавливается градиент скорости, обусловленный силами внутреннего трения. Отсюда следует, что сила сопротивления есть ничто иное, как сила внутреннего трения между двумя ближайшими к телу слоями жидкости. Как показал Стокс, для тела сферической формы (шарика) радиуса r , движущегося в жидкости со скоростью V , сила сопротивления F_C , действующая на шарик: $F_C = 6\pi\eta rV$.

Это выражение справедливо при выполнении двух условий. Во-первых, радиус шарика должен быть много меньше поперечного размера сосуда, в котором находится жидкость, и тогда слои жидкости, близкие к стенкам, не будут вовлечены в движение, а, значит, шарик не будет испытывать дополнительного торможения. Во-вторых, скорость падения шарика должна быть достаточно малой, чтобы слои жидкости, обтекающие шарик, двигались относительно него только поступательно, что характерно для ламинарного течения, и за шариком не образовывались завихрения, когда отдельные микрообъёмы жидкости начинают вращаться вокруг некоторой мгновенной оси, что происходит при турбулентном течении.

Таким образом, если измерить величины r и V , то по известной величине силы F_C , то можно рассчитать динамическую вязкость жидкости η . В этом состоит сущность метода определения коэффициента вязкости η , предложенного Стоксом.

Рассмотрим свободное падение сферического тела (шарика) в неподвижной жидкости (рисунок 1). На шарик действуют три силы:



– сила тяжести

$$P = mg = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_1 \cdot g$$

(2), где ρ_1 – плотность материала шарика;

– выталкивающая сила Архимеда

$$F_A = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_2 \cdot g \quad (3),$$

где ρ_2 – плотность жидкости;

– сила сопротивления

$$F_C = 6\pi\eta rV \quad (4),$$

где V – скорость прилегающего к шарiku слоя жидкости, равная скорости падения шарика.

Рис.1

Как видно из выражений (2) – (4), модули силы тяжести и выталкивающей силы постоянны, а модуль силы сопротивления пропорционален скорости падения шарика. Поэтому в начале своего падения в жидкости шарик движется ускоренно, так как сумма сил Архимеда и Стокса меньше силы тяжести, а затем наступает момент, когда силы уравниваются друг друга. Это означает, что $P - F_A - F_C = 0$. Отсюда $F_C = P - F_A$ (5).

Подставляя в уравнение (5) выражения (2), (3) и (4), получим формулу для определения динамической вязкости:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{v} \cdot g \cdot r^2 \quad (6)$$

Скорость шарика можно определить, измерив время t его падения в жидкости и расстояние l , которое он проходит в ней. Радиус шарика можно найти, измерив диаметр шарика d . Таким образом, формула (6) для определения динамической вязкости примет вид:

$$\eta = \frac{g(\rho_1 - \rho_2)d^2t}{18l} \quad (7)$$

Описание экспериментальной установки и методика измерения

Прибор Стокса для измерения динамической вязкости жидкости состоит из цилиндрического стеклянного сосуда, в который налита исследуемая жидкость. На цилиндре находятся две подвижные кольцевые метки, расстояние между которыми равно l . Верхняя метка располагается на 5 – 8 см ниже уровня жидкости с таким расчётом, чтобы шарик, проходя мимо этой метки, уже имел установившуюся скорость. В качестве исследуемой жидкости используется либо глицерин, либо касторовое масло. Время падения шарика измеряется электронным секундомером с разрешением $\pm 0,01$ с. Снаружи цилиндра располагается отвес, по которому проверяется вертикальность установки цилиндра. В верхнее отверстие цилиндра вставлена воронка для того, чтобы падение шарика проходило по направлению, близкому к оси цилиндра.

Порядок выполнения работы

1. Проверьте по отвесу вертикальность установки цилиндра и в случае необходимости используйте для корректировки этого положения регулировочные винты.
2. Убедитесь, что верхняя кольцевая метка на цилиндре располагается на 5 – 8 см ниже уровня жидкости.
3. Измерьте микрометром диаметры нескольких шариков. Подберите серию из пяти шариков, диаметры которых отличаются друг от друга на величину, не превышающую погрешности микрометра ($\pm 0,01$ мм). Запишите значение диаметра одного из шариков в таблицу 1.
4. Измерьте расстояние l между кольцевыми метками на цилиндре с помощью линейки. Примите за абсолютную погрешность измерения l половину цены наименьшего

Физика

- деления линейки. Например, если была использована линейка с сантиметровыми делениями, то $\Delta l = 0,5$ см.
- Измерьте время t падения каждого из пяти шариков между метками и занесите результаты измерений в таблицу. Определите среднее время падения $\langle t \rangle$.
 - По данным измерений l и $\langle t \rangle$ вычислите по формуле (7) среднее значение динамической вязкости. Необходимые для расчёта значения плотностей ρ_1 и ρ_2 возьмите из справочника.

Таблица 1

№ опыта	t_i , с	$\langle t \rangle$, с	d , мм	l , см	$\langle \eta \rangle$, Па·с	$\delta \eta$, %	$\Delta \eta$, Па·с
1							
2							
3							
4							
5							

- Вычислите относительную $\delta \eta$ и абсолютную $\Delta \eta$ погрешности динамической вязкости:

$$\delta \eta = \sqrt{(\delta t)^2 + (\delta l)^2},$$

$$\text{где } \delta t = \frac{\Delta t}{\langle t \rangle}, \Delta t = \frac{1}{5} \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\langle t \rangle - t_i)^2}, \delta l =$$

$$\frac{\Delta l}{l}; \Delta \eta = \langle \eta \rangle \cdot \delta \eta.$$

Результаты вычислений занесите в таблицу.

- Запишите окончательный результат работы в виде:

$$\eta = \langle \eta \rangle \pm \Delta \eta$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ТЕСТЫ

- Как возникает внутреннее трение в жидкости?
- Какие силы действуют на шарик, падающий в жидкости?
- При каких условиях выполняется формула Стокса?

4. Почему верхняя кольцевая метка устанавливается ниже уровня жидкости в цилиндре?
5. Что такое динамическая вязкость?
6. Выведите формулу для определения динамической вязкости методом Стокса.
7. Физический смысл градиента скорости.
8. Ламинарное и турбулентное течение жидкости.
9. При каких условиях справедлива формула Стокса?
10. Для тестов, приведенных далее, выберите правильный вариант ответа:

Задание №1

Внутреннее трение является следствием переноса между слоями жидкости...

Варианты ответов:

- 1) массы;
- 2) энергии;
- 3) механического импульса молекул;
- 4) электрического заряда молекул.

Задание №2

Силы внутреннего трения, возникающие при относительном движении смежных слоёв жидкости, направлены...

Варианты ответов:

- 1) перпендикулярно слоям вверх;
- 2) перпендикулярно слоям вниз;
- 3) под углом к поверхности слоёв;
- 4) по касательной к поверхности слоёв.

Задание №3

Динамическая вязкость численно равна...

Варианты ответов:

- 1) силе, действующей на единицу площади поверхности смежных слоёв;
- 2) силе, действующей на единицу площади поверхности смежных слоев при разности скоростей слоёв равной единице;
- 3) силе, действующей на единицу площади, нормальной к силе сопротивления;
- 4) силе, действующей на единицу площади при единичном градиенте скорости.

Задание №4

Динамическая вязкость в системе единиц СИ измеряется в...

Варианты ответов:

- 1) Па·с; 2) Па/с ; 3) Н·м/с; 4) кг·м/с.

Задание №5

При определении динамической вязкости методом Стокса движение шарика в жидкости должно быть...

Варианты ответов:

- 1) равноускоренным;
- 2) свободным падением;
- 3) равномерным;
- 4) равнозамедленным.

Задание №6

Почему верхняя метка на цилиндре находится не у поверхности жидкости?

Варианты ответов:

- 1) Чтобы уменьшить расстояние, которое проходит шарик в жидкости;
- 2) Чтобы повысить точность измерения расстояния, пройденного шариком;
- 3) Потому что вязкость жидкости неодинакова по высоте цилиндра;
- 4) Для достижения постоянства скорости падения.

Задание №7

Имеется два шарика из одного и того же металла, но разного диаметра. У какого из них скорость падения в жидкости будет больше?

Варианты ответов:

- 1) У шарика большего диаметра;
- 2) У шарика меньшего диаметра;
- 3) Скорость падения будет одинакова.

Задание №8

Как влияет на рассчитанную величину динамической вязкости тот факт, что при движении шарика не учитывается влияние стенок цилиндра?

Варианты ответов:

- 1) завышает результат измерения динамической вязкости;
- 2) занижает результат измерения динамической вязкости;
- 3) не влияет на результат.

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Внимание! Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к проведению лабораторной работы не допускаются.

1. Запрещается:

- 1.1. Прилагать к стеклянному цилиндру значительные механические усилия и подвергать его ударам;
- 1.2. при измерении расстояния между метками на цилиндре использовать металлическую линейку;
2. В процессе измерения расстояния между метками одним из студентов, другой в это время должен придерживать цилиндр, чтобы предотвратить его падение.
3. По окончании лабораторной работы необходимо перенести прибор Стокса в место его хранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова Т.И. Курс физики.- М.: Академия, 2017.
2. Савельев И.В. Курс физики. Т.1. СПб.: Лань. 2007.
3. Физика. Раздел: Молекулярная физика и термодинамика. Лабораторный практикум. М.: МИСиС. «Учеба». 2008.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. М.: Физматлит. 2005.