

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»
(КГУ)

Кафедра математики и физики

**Определение коэффициента вязкости жидкости
(по методу Стокса)**

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Курган 2024

Кафедра: «Математики и физики»

Дисциплина: «Физика»

Составили: доцент Т. В. Дензанова,
старший преподаватель, Л. Н. Никифорова,
старший преподаватель И. А. Пешкова.

Рекомендованы методическим советом университета «25» декабря 2023 г.

Утверждены на заседании кафедры «31» августа 2023 г.

Цель работы: определить вязкость глицерина методом Стокса.

Приборы и принадлежности: стеклянный сосуд, секундомер, железные шарики радиусом 1–2 мм, глицерин, микрометр, линейка.

Краткая теория

Вязкостью, или внутренним трением, в качественном смысле называется свойство всех веществ оказывать сопротивление деформации сдвига, пропорциональное градиенту скорости.

Возникновение сопротивления, обусловленного вязкостью жидкости, объясняется следующим образом.

Рассмотрим жидкость, движущуюся в направлении оси X (рисунок 1). Мысленно разобьем жидкость на тончайшие слои, движущиеся с разными скоростями. При движении жидкости между ее слоями возникают силы внутреннего трения, действующие таким образом, чтобы уравнивать скорости всех слоев.

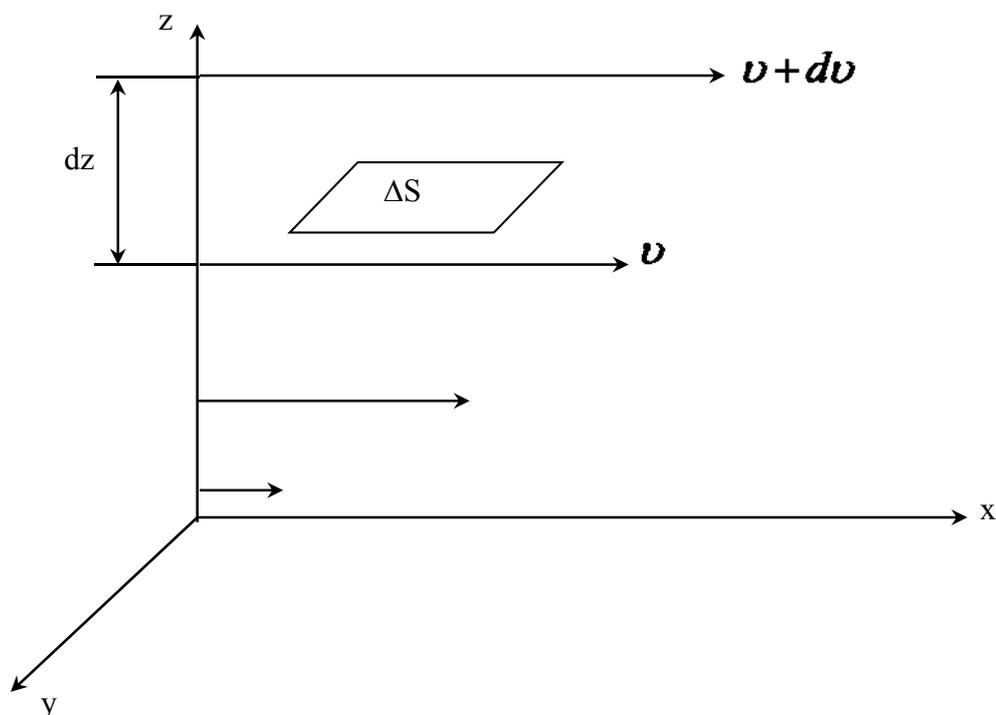


Рисунок 1 – Движение слоев жидкости

Природа этих сил заключается в том, что кроме движения вместе с жидкостью в целом (направленное движение) молекулы участвуют в тепловом (хаотическом) движении и переходят из одного слоя в другой. Молекулы, попавшие из быстрого слоя в медленный, обладают некоторым избытком импульса и ускоряют медленный слой. Наоборот, молекулы, пришедшие из медленно движущегося слоя в более быстрый, имеют недостаток импульса и, следовательно, будут тормозить быстро движущийся слой.

Чем больше меняется скорость жидкости при переходе от слоя к слою, тем больше величина вязкого сопротивления. Чтобы охарактеризовать величину изменения скорости, измерим разность скоростей $(v + dv) - v$ двух слоев жидкости и расстояние dz между этими слоями, отсчитываемое по нормали к направлению скорости. Изменение скорости потока, приходящееся на единицу длины в направлении, перпендикулярном скорости, называется *градиентом скорости* $\frac{dv}{dz}$.

Сила внутреннего трения, действующая между двумя слоями, пропорциональна площади соприкосновения слоев ΔS и градиенту скорости $\frac{dv}{dz}$:

$$F = \eta \frac{dv}{dz} \Delta S \text{ (формула Ньютона),} \quad (1)$$

где η – множитель пропорциональности, зависящий от природы жидкости, называемый коэффициентом внутреннего трения, или динамической вязкостью.

Из формулы (1) коэффициент внутреннего трения равен силе внутреннего трения, возникающей на каждой единице поверхности соприкосновения двух слоев, движущихся один относительно другого с градиентом скорости, равным единице.

В системе СИ единицей динамической вязкости является Н·с/м. Она зависит от температуры: резко уменьшается с повышением температуры.

Сопротивление среды движению тела возникает главным образом благодаря вязкости жидкости и (при малых скоростях движения) пропорционально первой степени скорости.

$$F = C_x * v,$$

где C_x зависит от вязкости жидкости, размеров и формы тела.

Ученый Стокс вычислил теоретически для случая движения сферического тела радиуса r в безграничной среде значение коэффициента сопротивления и получил:

$$C_x = 6\pi\eta r.$$

Значение силы в этом случае

$$F = 6\pi\eta r v.$$

Описание установки, метод измерения

Для измерения коэффициента внутреннего трения Стокс предложил использовать измерение скорости равномерно падающего в среде тела.

Пусть небольшой шарик падает в столбе жидкости. На шарик действуют силы (рисунок 2):

1) сила тяжести:

$$F_m = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g, \quad (2)$$

где r – радиус шарика, ρ – плотность шарика, g – ускорение свободного падения;

2) выталкивающая сила (по закону Архимеда):

$$F_a = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g, \quad (3)$$

где ρ_0 – плотность жидкости;

3) сила сопротивления движению, обусловленная силами внутреннего трения между слоями жидкости:

$$F = 6\pi\eta r v. \quad (4)$$

Здесь играет роль не трение шарика о жидкость, а трение отдельных слоев жидкости друг о друга, так как при соприкосновении твердого тела с жидкостью к поверхности тела тотчас же прилипают молекулы жидкости. Непосредственно прилегающий к телу слой жидкости движется вместе с телом со скоростью v . Этот слой увлекает в своем движении соседние слои жидкости, которые на некоторый период времени приходят в плавное безвихревое движение.

Равнодействующая всех сил, действующих на шарик, вычисляется по формуле:

$$R = F_m - (F_a + F).$$

Вначале скорость движения шарика будет возрастать, но так как по мере увеличения скорости шарика сила сопротивления будет также возрастать, то наступит такой момент, когда сила тяжести будет уравновешена суммой сил F_a и F . Равнодействующая сила станет равной нулю.

$$F_m = F_a + F. \quad (5)$$

С этого момента движение шарика становится равномерным с некоторой скоростью v .

Подставляя в формулу (5) соответствующие значения F_m , F_a и F , получим для коэффициента вязкости выражение

$$\eta = \frac{2}{9}(\rho - \rho_0) \frac{gr^2}{v}. \quad (6)$$

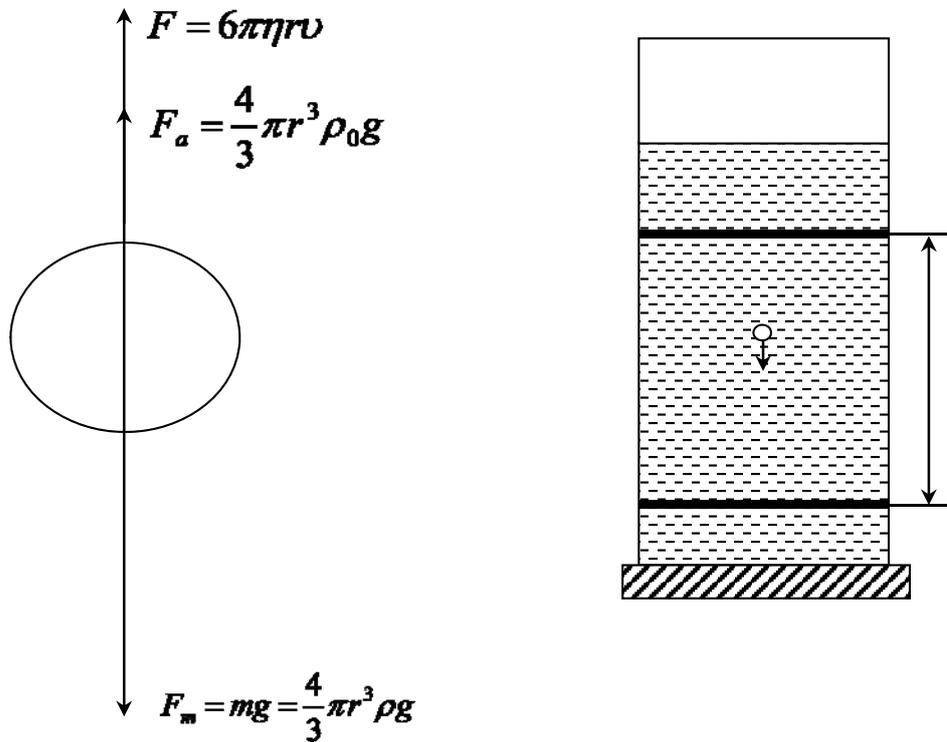


Рисунок 2 – Экспериментальная установка и направление сил, действующих на шарик внутри жидкости

Задание: определить коэффициент вязкости глицерина.

Экспериментальная установка состоит из стеклянного цилиндра, наполненного исследуемой жидкостью (рисунок 3). На цилиндре нанесены две горизонтальные метки, расположенные на расстоянии l .

- 1) измерить диаметр стального шарика микрометром (таких измерений диаметра шарика делают три, меняя ориентацию шарика относительно микрометра);
- 2) измерив диаметр шарика, опустить шарик в жидкость как можно ближе к оси цилиндра. В момент прохождения шариком верхней метки пустить в ход секундомер. В момент прохождения шариком нижней метки секундомер остановить. Отсчет по секундомеру дает время t прохождения шариком пути l ;
- 3) опыт повторить для трех–пяти шариков;
- 4) в расчетной формуле:

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{\rho - \rho_0}{l} gr^2 t = Cr^2 t \quad (7)$$

величина C имеет одно и то же значение для всей серии измерений в данной жидкости. Вычислить постоянную прибора C . Затем, пользуясь измерениями r и t , вычислить для каждого шарика коэффициент внутреннего трения исследуемой жидкости и найти его среднее значение;

- 5) результаты измерений занести в таблицу 1;
- 6) аналогичные измерения сделать для свинцовых шариков.

Таблица 1 – Определение коэффициента внутреннего трения

Наименование жидкости	d_{cp} , м	r_{cp} , м	t, c	$l, м$	C	η , $кгм^{-1}c^{-1}$	η_{cp} , $кгм^{-1}c^{-1}$

Контрольные вопросы

- 1 В чем состоит явление внутреннего трения и как оно объясняется на основе молекулярно-кинетической теории?
- 2 Каков физический смысл коэффициента вязкости?
- 3 В чем состоит метод Стокса – определения коэффициента вязкости жидкости?
- 4 Приведите примеры применения метода вискозиметра в биологии и медицине.

Список литературы

- 1 Лабораторные работы по физике с вопросами и заданиями : учебное пособие / О. М. Тарасов. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2011.
- 2 Физический практикум для классов с углубленным изучением физики для 10-11 классов /под ред. Ю. И. Дика, О. Ф. Кабардина. – Москва : Просвещение, 2002.
- 3 Физика : методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направлений 06.03.01 «Биология»; 05.03.02 «География»; 05.03.06 «Экология и природопользование» / сост. Л. Н. Никифорова. – Курган, 2018.

Дензанова Татьяна Викторовна
Никифорова Лидия Николаевна
Пешкова Ирина Александровна

Определение коэффициента вязкости жидкости

(по методу Стокса)

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Редактор О. Г. Алексеева

Подписано в печать	Формат 60x84 1/16	Бумага 80 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 0,75	Уч.-изд. л. 0,75
Заказ	Тираж 25	Не для продажи

БИЦ Курганского государственного университета.

640002, г. Курган, ул. Советская, 63/4.

Курганский государственный университет.