

Методические указания
к выполнению лабораторной работы 1.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ
ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА *

* Аникин А.И. Механика: методические указания к выполнению лабораторных работ по физике. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. – 49 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.7
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ
ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

Теоретические положения

Вязкостью или внутренним трением называют свойство реальных жидкостей и газов оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости (газа) относительно другой. При перемещении одних слоев жидкости (газа) относительно других возникают силы внутреннего трения, направленные по касательной к поверхности слоев. Действие этих сил проявляется в том, что со стороны слоя, движущегося быстрее, на слой, движущийся медленнее, действует ускоряющая сила. Со стороны же слоя, движущегося медленнее, на слой, движущийся быстрее, действует тормозящая сила.

Величина силы внутреннего трения в жидкостях и в газах определяется законом Ньютона:

$$F = \eta \left| \frac{dU}{dz} \right| S,$$

где η – динамический коэффициент вязкости, Па·с; $\frac{dU}{dz}$ – градиент скорости, характеризующий изменение скорости течения U в направлении оси z , перпендикулярной к поверхности слоя, 1/с; S – площадь поверхности слоя, м².

Жидкость (газ), в которой отсутствует внутреннее трение, называется идеальной. Чем больше коэффициент вязкости, тем сильнее реальная жидкость (газ) отличается от идеальной. Коэффициент вязкости зависит от температуры, причем характер этой зависимости для жидкостей и газов различен. У жидкостей коэффициент вязкости с повышением температуры уменьшается, а у газов, наоборот, увеличивается. Это указывает на различие механизмов внутреннего трения в жидкостях и газах.

Природа внутреннего трения в газах объясняется переносом импульса молекулами из слоя в слой вследствие их теплового хаотического движения. В жидкостях механизм внутреннего трения совершенно иной. Молекулы жидкости не обладают полной свободой перемещения и проводят большую часть времени в колебательном движении около положения равновесия. Движущиеся слои увлекают соседние слои в основном за счет сил взаимодействия (сцепления) между молекулами жидкости.

Коэффициент вязкости может быть найден опытным путем. В эксперименте, схема которого изображена на рисунке 9.1, маленький шарик

массой m погружают в вязкую жидкость, отпускают и наблюдают за его падением в жидкости под действием трех сил: силы тяжести mg (g – ускорение свободного падения); силы Архимеда F_A и силы сопротивления F_c . Опытные данные показывают, что по истечении некоторого времени с момента начала падения, движение шарика становится равномерным. В этом случае уравнение второго закона Ньютона для движущегося шарика принимает вид

$$\vec{m}g + \vec{F}_A + \vec{F}_c = 0.$$

Запишем это уравнение в проекциях на направление движения:

$$mg - F_A - F_c = 0. \quad (9.1)$$

Масса шарика равна

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho, \quad (9.2)$$

где r – радиус шарика; ρ – плотность материала, из которого выполнен шарик.

В соответствии с законом Архимеда

$$F_A = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{ж} g, \quad (9.3)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкости.

При малых скоростях v движения тела в вязкой жидкости силу сопротивления можно определить по закону

Стокса. Для тела, имеющего форму шара:

$$F_c = 6\pi\eta r v. \quad (9.4)$$

Подставляя значения m , F_A и F_c из выражений (9.2), (9.3) и (9.4) в уравнение (9.1), получаем:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{ж} g - 6\pi\eta r v = 0.$$

Выражаем из этого уравнения коэффициент вязкости:

$$\eta = \frac{2r^2(\rho - \rho_{ж})g}{9v}. \quad (9.5)$$

Полученная формула позволяет экспериментально определить коэффициент вязкости, если известны радиус шарика r , плотность материала ρ , из которого выполнен шарик, плотность жидкости $\rho_{ж}$ и скорость v равномерного падения шарика в вязкой жидкости.

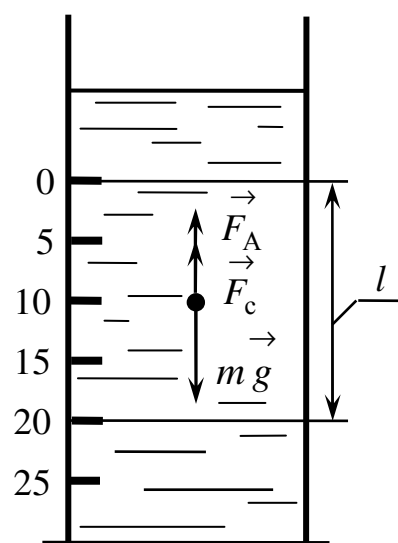


Рисунок 9.1 – Схема проведения эксперимента

Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

1 Записать перечень приборов и принадлежностей и их характеристики в отчет о лабораторной работе.

2 В качестве вязкой жидкости в опытах используется смесь глицерина с водой, помещенная в цилиндрический сосуд. С помощью микроскопа следует измерить диаметр шарика, а затем погрузить шарик в жидкость и отпустить его. После того, как шарик опустится на 5-10 см и его движение станет равномерным, включить секундомер и измерить время падения шарика между выбранными метками шкалы. Зная время падения t и расстояние l , пройденное шариком за это время, рассчитать скорость движения:

$$v = \frac{l}{t}.$$

3 Рассчитать динамический коэффициент вязкости жидкости по формуле (9.5).

4 Повторить опыты с разными шариками не менее четырех раз. Результаты измерений записать в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Результаты измерений

Номер опыта	r	l	t	v	η

5 Рассчитать среднее арифметическое из всех измеренных значений коэффициента вязкости.

6 Оценить случайную абсолютную и относительную погрешность измерения коэффициента вязкости.

7 Сравнить полученные опытные данные со справочными данными.

8 Проанализировать полученные результаты.

Контрольные вопросы

1. Каков характер температурной зависимости коэффициента вязкости для жидкостей и газов?

2. В чем различие механизмов внутреннего трения в жидкостях и газах с точки зрения молекулярно-кинетической теории.

3. Можно ли за начало отсчета при проведении опытов выбирать верхнюю границу жидкости?