

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич

Должность: ректор

Дата подписания: 25.09.2022 14:41:59

Уникальный программный ключ:

9ba7d3e34c012eba476fffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –  
проректор по учебной работе  
Е.А. Кудряшов



« 25 » сентября 2012 г.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ ПО МЕТОДУ СТОКСА

Методические указания к выполнению лабораторной  
работы № 21 по разделу "Механика и молекулярная физика".

Курск 2012 г.

УДК 534.2

Составители: В.М. Полунин, Л.И. Рослякова

Рецензент

Кандидат техн. наук, профессор Г.Т. Сычев

**Определение вязкости жидкости по методу Стокса** : методические указания к лабораторной работе № 21 по разделу „Механика и молекулярная физика” / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.М. Полунин, Л.И. Рослякова Курск, 2012. 8 с.: ил. 2, табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

Содержат краткие теоретические сведения о механизме вязкого трения и определения вязкости жидкости методом Стокса. Указывается порядок выполнения работы, приводятся контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы.

Методические указания соответствуют требованиям Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (2010 год) и рабочих учебных планов технических специальностей ЮЗГУ.

Предназначены для студентов технических специальностей.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60 x 84 1/16.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Лабораторная работа № 21

### Определение вязкости жидкости по методу Стокса

Цель работы: определение коэффициента вязкости жидкости.

Приборы и принадлежности: стеклянный цилиндр с исследуемой жидкостью, мелкие стальные шарики, микрометр, секундомер.

### ВВЕДЕНИЕ

#### *1. Природа сил вязкого трения*

На всякое тело, движущееся в жидкости (газе) действует сила вязкого трения (внутреннего трения). Сила вязкого трения возникает между соседними слоями жидкости или газа, движущимися по какой-либо причине с разными скоростями. При этом слои, движущиеся относительно друг друга, обмениваются молекулами. Молекулы из быстрого слоя переносят в медленный слой некоторый импульс, и медленный слой стремится двигаться быстрее. В свою очередь, молекулы из медленного слоя, перескакивая в быстрый слой, тормозят его.

Однако рассмотренный механизм вязкого трения более свойственен газам, в которых молекулы перескакивают из слоя в слой за счет хаотического теплового движения. В жидкости внутреннее трение в значительной мере определяется действием межмолекулярных сил. Расстояние между молекулами в жидкости невелики, а сила взаимодействия значительны. Молекулы жидкости, подобно частицам твердого тела, колеблются около положений равновесия. По истечении времени "оседлой жизни" молекулы жидкости скачком переходят в новое положение.

При движении в жидкости какого-либо тела со скоростью  $v$ , молекулы жидкости частично "прилипают" к нему – адсорбируются. Слой жидкости, ближайший к прилипшему слою, увлекается силами межмолекулярного взаимодействия. Жидкость при этом будет ускоряться на границе с твердым телом. На нее будет действовать суммарная средняя сила  $F$  в направлении движения тела. По

третьему закону Ньютона на тело со стороны жидкости будет действовать такая же по величине, но противоположно направленная сила. Это и есть сила вязкого трения. Появление данной силы приводит к торможению движущего тела.

Опытным путем была определена формула силы внутреннего трения:

$$F = -\eta \frac{d\vartheta}{dx} \cdot S, \quad (1)$$

где  $\frac{d\vartheta}{dx}$  - градиент скорости, показывающий быстроту изменения скорости в направлении  $x$ , перпендикулярном движению слоев;

$S$  - площадь, на которую действует сила.

Знак « $\rightarrow$ » в формуле (1) показывает, что сила  $F$  направлена в сторону уменьшения скорости. Коэффициент пропорциональности  $\eta$  носит название коэффициента внутреннего трения или просто вязкости (динамической вязкости).

Если в формуле (1) положить  $\frac{d\vartheta}{dx} = 1 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{м}}$ ,  $\Delta S = 1 \text{ м}^2$ , то  $F$  будет численно равна  $\eta$ , т.е. коэффициент динамической вязкости численно равен силе внутреннего трения, возникающей на каждой единице поверхности соприкосновения двух слоев, движущихся относительно друг друга с градиентом скорости, равным единице.

Коэффициент динамической вязкости зависит от природы жидкости и для жидкости с повышением температуры уменьшается. Вязкость играет существенную роль при движении жидкостей.

## 2. Формула Стокса

Рассмотрим равномерное движение маленького шарика радиуса  $r$  в жидкости (газе). Обозначим скорость шарика относительно жидкости через  $\vartheta_0$ . Распределение скоростей  $\vartheta$  в соседних слоях жидкости, увлекаемых шариком, имеет вид, изображенный на рис. 1. В непосредственной близости к поверхности шара эта скорость равна  $\vartheta_0$ , а по мере удаления уменьшается и практически становится равной нулю, на некотором расстоянии  $L$  от поверхности шара.

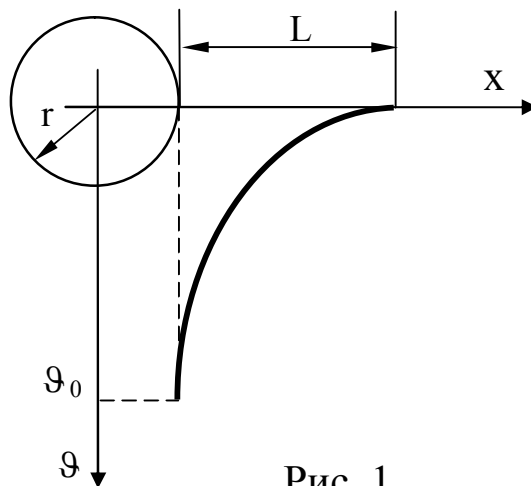


Рис. 1

Очевидно, что чем больше радиус шара, тем большая масса жидкости (газа) вовлекается им в движение, и  $L$  должно быть пропорционально  $r$ :

$$L = \alpha \cdot r .$$

Под  $\alpha$  будем понимать среднее значение коэффициента пропорциональности. Тогда среднее значение скорости по поверхности шара равно

$$\frac{\Delta \vartheta}{\Delta x} = \frac{\vartheta_0 - 0}{\alpha \cdot r} = \frac{\vartheta_0}{\alpha \cdot r} .$$

Поверхность шара  $S = 4\pi r^2$  и сила трения, испытываемая движущимся шаром, равна

$$F_{\text{тр}} = \eta \cdot \frac{\Delta \vartheta}{\Delta x} \cdot S = \eta \cdot \frac{\vartheta_0}{\alpha \cdot r} \cdot 4\pi \cdot r^2 = \frac{4\pi}{\alpha} \cdot \eta \cdot r \cdot \vartheta_0 .$$

Стоксом было получено, что для шара  $\alpha = 2/3$ . Следовательно, сила вязкого трения, испытываемая шаром, движущимся в жидкости (газе):

$$F_{\text{тр}} = 3\pi \cdot \eta \cdot d \cdot \vartheta_0 , \tag{2}$$

где  $d$  - диаметр шарика.

Формула Стокса применяется лишь в случае шарообразных тел малых размеров и малых скоростей их движения.

По формуле Стокса можно, например, определять скорости оседания частиц тумана и дыма. Ею можно пользоваться и для решения обратной задачи – измеряя скорость падения шарика в жидкости, можно определить ее вязкость.

### 3. Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса

На шарик, падающий в жидкости вертикально вниз, действует три силы (рис. 2): сила тяжести  $mg$ , сила Архимеда  $F_a$  и сила вязкого трения  $F_{тр}$ .

По второму закону Ньютона:

$$ma = mg - F_a - F_{тр}$$

Сила тяжести и сила Архимеда постоянны по модулю, а сила вязкого трения, согласно формуле (2) увеличивается с увеличением скорости шарика, и наступает момент, когда сила тяжести уравнивается суммой сил трения и Архимеда. С этого момента ускорение шарика равно нулю, т. е. его движение становится равномерным.

$$mg = F_a + F_{тр}, \quad (3)$$

причем

$$F_a = \rho_{ж} \cdot g \cdot V = \frac{\rho_{ж} \cdot \pi \cdot d^3 \cdot g}{6}, \quad (4)$$

где  $V$  - объем шарика;  $\rho_{ж}$  - плотность жидкости;  $\rho_{ш}$  - плотность шарика.

Подставляя уравнения (2), (4) в уравнение (3), получаем

$$\frac{\pi \cdot d \cdot g}{6} \cdot (\rho_{ш} - \rho_{ж}) = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \vartheta_0 \cdot d.$$

Откуда получаем

$$\eta = \frac{(\rho_{ш} - \rho_{ж}) \cdot d^2 \cdot g}{18 \cdot \vartheta_0}.$$

Скорость движения шарика

$$\vartheta_0 = \frac{\ell}{\tau},$$

где  $\ell$  - расстояние между метками на сосуде с жидкостью, соответствующее месту уравнивания сил;  $\tau$  - время прохождения шариком расстояния  $\ell$ .

Окончательно получаем

$$\eta = - \frac{(\rho_{ш} - \rho_{ж}) \cdot d^2 \cdot g \cdot \tau}{18 \cdot 1}. \quad (5)$$

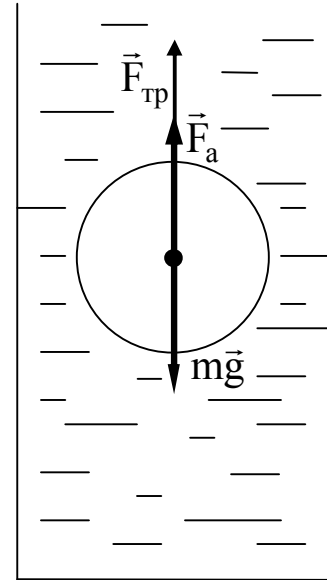


Рис. 2

Если учесть влияние стенок сосуда на движение шарика, то формула (5) примет вид

$$\eta = \frac{(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}})}{18 \cdot 1 \cdot (1 + 2,4 \frac{d}{D})} \cdot d^2 \cdot g \cdot \tau, \quad (6)$$

где D - диаметр сосуда.

### ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Измерить внутренний диаметр стеклянного цилиндра и расстояние между метками, используя штангенциркуль и масштабную линейку.

2. Измерить микрометром диаметр шарика.

3. Опустить шарик в сосуд, так чтобы он двигался по оси цилиндра, и измерить секундомером время его прохождения между метками.

4. Вычислить коэффициент вязкости исследуемой жидкости по формуле (6).

5. Такие же измерения и расчеты выполнить еще для четырех шариков.

6. Рассчитать среднее значение коэффициента вязкости.

7. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	D, 10 <sup>-3</sup> м	ℓ, 10 <sup>-3</sup> м	d, 10 <sup>-3</sup> м	τ, с	η, Па·с	<η>, Па·с
1						
2						
3						
4						
5						

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить механизм возникновения сил вязкого трения.
2. Вывести формулу Стокса.
3. В чем состоит метод определения вязкости жидкости по Стоксу и где он применяется на практике?

## Список рекомендуемой литературы

1. Бордовский, Г.А. Курс физики в 3 кн. Кн. 1. Физические основы механики: Учебник / Г.А.Бордовский, С.В.Борисенко, Ю.А.Гороховский. – М.: Высш. шк., 2004. – 423 с.
2. Савельев, И.В. Курс физики: Учебное пособие в 3-х тт. Т.1 Механика. Молекулярная физика / И.В.Савельев. – СПб: Из-во «Лань», 2007. – 352 с.
3. Федосеев В.Б. Физика: Учебник / В.Б.Федосеев. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 669 с.