

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич

Должность: ректор

Дата подписания: 16.08.2022 10:39:14

Уникальный программный ключ:

9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

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



« 16 » августа 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 U , 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 η 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 η , 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 ϑ_0 . Распределение скоростей ϑ в соседних слоях жидкости, увлекаемых шариком, имеет вид, изображенный на рис. 1. В непосредственной близости к поверхности шара эта скорость равна ϑ_0 , а по мере удаления уменьшается и практически становится равной нулю, на некотором расстоянии L от поверхности шара.

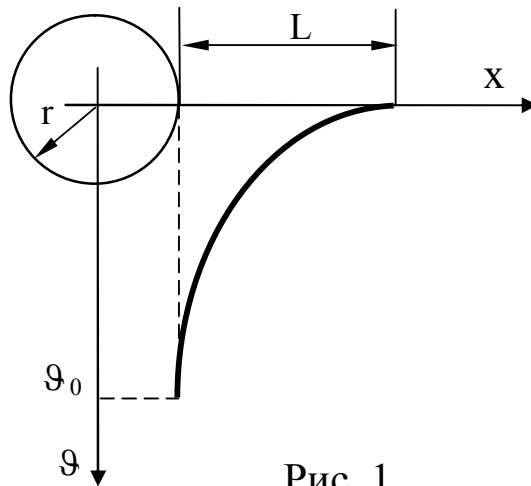


Рис. 1

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 α 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):

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

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 ℓ - расстояние между метками на сосуде с жидкостью, соответствующее месту уравнивания сил; τ - время прохождения шариком расстояния ℓ .

Окончательно получаем

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

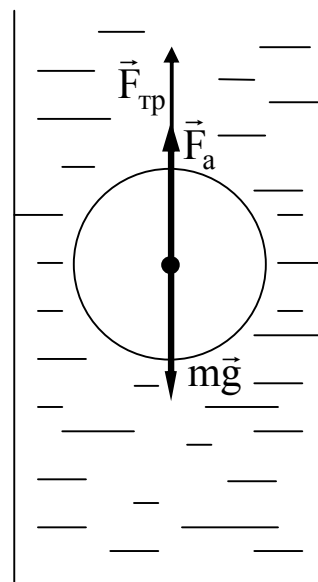


Рис. 2

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^{-3} м	$l,$ 10^{-3} м	$d,$ 10^{-3} м	$\tau,$ с	$\eta,$ Па·с	$\langle \eta \rangle,$ 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.