

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Кафедра общей физики
Лаборатория механики

Лабораторная работа № 11.

**Определение
вязкости жидкости
методом Стокса**

Ярославль
2009

Оглавление

1. Краткая теория	3
2. Описание установки и метода измерений	5
3. Выполнение работы	6
4. Контрольные вопросы	7

Лабораторная работа № 11.

Определение вязкости жидкости методом Стокса

Цель работы:

- знакомство с одним из методов определения вязкости жидкостей,
- сравнение результатов опыта с табличными значениями.

Приборы и принадлежности: стеклянные сосуды с исследуемыми жидкостями, измерительный микроскоп Бринеля, секундомер, дробь или небольшие шарики.

1. Краткая теория

Во всех реальных случаях перемещение различных слоев жидкости с неодинаковыми значениями скоростей сопровождается более или менее значительными силами внутреннего трения. Со стороны более быстрого слоя на более медленный действует ускоряющая сила. Наоборот, со стороны слоя, движущегося медленнее, на более быстрый действует тормозящая сила. Эти силы направлены по касательной к поверхности слоёв.

При падении шарика в вязкой среде ближайший к нему слой жидкости движется со скоростью шарика, а остальные — со всё уменьшающейся скоростью, если рассматривать слои в направлении нормали к скорости, то есть от центра к стенке сосуда. Возникает градиент скорости $\frac{d\vec{v}}{dx}$, характеризующий быстроту изменения её в указанном выше направлении:

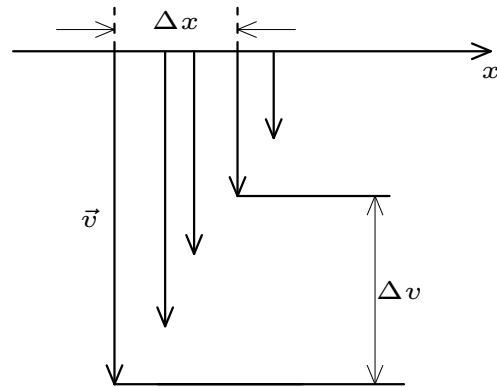


Рис. 1.1

$$\frac{d\vec{v}}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta x}.$$

Величина силы внутреннего трения (по Ньютону) прямо пропорциональна градиенту скорости и площади соприкасающихся слоев:

$$|\vec{F}_{\text{внтр}}| = \eta \frac{dv}{dx} S. \quad (1.1)$$

Коэффициент пропорциональности η , зависящий от природы среды, называется коэффициентом внутреннего трения или вязкостью. Чем больше η , тем сильнее среда отличается от идеальной, тем большие силы внутреннего трения в ней возникают. В этой работе коэффициент η определяется на опыте.

Физический смысл его формулируется из выражения для силы внутреннего трения:

$$\eta = \frac{|\vec{F}_{\text{внтр}}|}{\frac{dv}{dx} S},$$

где η — коэффициент внутреннего трения среды численно равен силе внутреннего трения, действующей на единицу поверхности соприкосновения слоев при градиенте скорости, равном единице. В СИ он измеряется в Па · с или кг/м · с.

“Механизм” возникновения вязкости в жидкостях или газах, температурная зависимость вязкости изучается молекулярной физикой.

Здесь ставится цель опытного определения расчета η с применением законов кинематики и динамики прямолинейного движения.

На падающий в вязкой жидкости шарик действует сила сопротивления, направленная в сторону, противоположную скорости. При малых скоростях и малых размерах тел удобообтекаемой формы, когда не возникает вихрей, сила сопротивления обусловлена вязкостью среды. Слой жидкости, примыкающей к телу, прилипает к его поверхности и увлекается им полностью, а следующие слои — с меньшей скоростью. Для случая безвихревого или ламинарного течения на шарик малого радиуса r действует сила сопротивления (по Стоксу):

$$|\vec{F}_c| = 6\pi\eta r v, \quad (1.2)$$

где η — вязкость жидкости, v — скорость шарика.

Критерием применимости этого выражения является безразмерное число Рейнольдса. Для рассматриваемого случая оно рассчитывается так:

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta},$$

где d — диаметр шарика, ρ — плотность жидкости.

Критическое значение этого числа в данном случае равно единице. Если Re превышает критическое значение, движение жидкости турбулентно, закон Стокса не применим.

2. Описание установки и метода измерений

Метод Стокса заключается в исследовании равномерного падения малых шариков в вязкой среде и динамическом анализе действующих на них сил.

На шарик действует три силы, направленные вертикально: сила тяжести $m\vec{g}$, сила Архимеда \vec{F}_A и сила сопротивления \vec{F}_c .

В проекции на ось Y , которую удобно направить в сторону движения, имеем:

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

Подставим выражения для каждой из сил:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_1 g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - 6\pi\eta r v = 0,$$

где ρ_1 — плотность шарика, ρ — плотность жидкости.

Решая это уравнение относительно η , получим:

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{(\rho_1 - \rho)gr^2}{v} \quad (2.3)$$

или, заменяя радиус шарика его диаметром d :

$$\eta = \frac{1}{18} \frac{(\rho_1 - \rho)gd^2}{v}. \quad (2.4)$$

Будем считать, что к моменту прохождения шариком верхней отметки на сосуде с жидкостью скорость его установилась, тогда

$$v = \frac{\ell}{t}, \quad (2.5)$$

где t — время прохождения шарика между двумя метками на расстоянии ℓ . Тогда расчетная формула принимает вид:

$$\eta = \frac{1}{18} \frac{(\rho_1 - \rho)gd^2 t}{\ell}. \quad (2.6)$$

Таким образом, для расчета вязкости здесь нужно знать плотности жидкости и шарика (их значения можно взять из соответствующих справочников). На опыте измеряют диаметр шарика, время его движения t и расстояние ℓ .

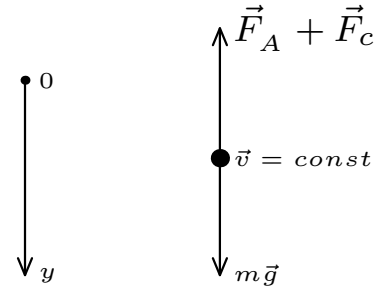


Рис. 2.1

3. Выполнение работы

Прибор состоит из стеклянных цилиндров с жидкостями. На цилиндрах имеются горизонтальные метки на некотором расстоянии ℓ . Верхняя метка всегда располагается ниже уровня исследуемой жидкости, чтобы к моменту прохождения этой точки скорость шарика можно было считать постоянной.

Порядок выполнения

1. Диаметр шариков измеряется микроскопом Бринеля, устанавливаемым основанием на чистый лист бумаги так, чтобы окно в колонке микроскопа находилось против источника света.
2. Помещают шарик перед отверстием в основании микроскопа, по возможности, concentрично с ним. Окулярное кольцо вращают так, чтобы изображение шкалы стало отчетливым. Если шарик виден не резко, нужно перемещать тубус микроскопа по высоте, вращая установочное кольцо с нарезкой.
3. Измерив диаметр одного из шариков дроби, следует записать это значение в таблицу, а затем взять в одну руку этот шарик, а в другую — секундомер, предварительно подготовленный к работе.
4. Опустив шарик в сосуд, как можно ближе к его оси, нужно включить секундомер в момент прохождения шариком верхней отметки и выключить в момент прохождения нижней метки. Для уменьшения ошибок измерения глаз наблюдателя должен находиться на уровне соответствующей метки.
5. Полученные значения времени и расстояния заносятся в таблицу. Затем такие же измерения проводятся ещё с 4-6 шариками в данном сосуде, в той же последовательности. Для каждой строки рассчитывается η , результаты обрабатываются.

4. Контрольные вопросы

№	$\rho_1,$ кг/м ³	$\rho,$ кг/м ³	$d,$ м	$t,$ с	$\ell,$ м	$\eta,$ Па·с	$\Delta\eta,$ Па·с	$(\Delta\eta)^2,$ (Па·с) ²
1								
2								
3								
⋮								
Сумма	X	X	X	X	X		X	
Среднее	X	X	X	X	X		X	X

Для определения вязкости другой жидкости описанные выше опыты проводят в другом сосуде. Результаты заносят в таблицу, аналогичную первой.

Указания:

шарики из сосудов не извлекать, для каждого опыта брать новый шарик;

для рационализации расчетов следует рассчитать постоянный коэффициент в выражении 2.6, а затем в каждой строке таблицы подставлять переменные t и ℓ .

4. Контрольные вопросы

1. Физический смысл коэффициента внутреннего трения, единица измерения (СИ).
2. Сущность метода Стокса и вывод расчетной формулы.
3. При каком условии справедлива формула Стокса для силы сопротивления?
4. Подсчитайте число Рейнольдса для движения шариков в каждой жидкости, сравните с критическим значением. Сделайте вывод.
5. Получите выражение для скорости движения малого шарика в вязкой среде. Как зависит она от свойств среды и шарика?