

Министерство образования Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
**ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ  
С ПОМОЩЬЮ КАПИЛЛЯРНОГО ВИСКОЗИМЕТРА**

Методические рекомендации

Иркутск 2005

Печатается по решению кафедры общей и космической физики Иркутского государственного университета

Рецензент д. ф.-м. н., проф. Л. А. Щербаченко

Составители: ст. преп. С. А. Сверчинская,  
к. х. н., доц. Т. Э. Московская,  
инженер В.А. Кузнецова  
(кафедра общей и космической физики)

Изложена методика измерения коэффициента вязкости жидкостей с помощью капиллярного вискозиметра.

Предназначены для студентов 1 и 2 курсов естественных факультетов.

Библиогр. 3 назв. Ил. 3. Табл. 1.

*Сверчинская Светлана Анатольевна  
Московская Татьяна Эдуардовна  
Кузнецова Валентина Александровна*

Определение коэффициента вязкости  
с помощью капиллярного вискозиметра

Темплан 2005. Поз. .

Подписано в печать . Формат 60x90 1/16.  
Бумага писчая. Печать офсетная. Гарнитура Times.  
Усл.печ.л. 1,2. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 100 экз.

Редакционно-издательский отдел  
Иркутского государственного университета  
664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 36

## Цель работы

1. Изучение механизма внутреннего трения в жидкостях.
2. Освоение методики измерения коэффициента внутреннего трения с помощью капиллярного вискозиметра.
3. Знакомство с методом определения плотности жидкости с помощью пикнометра.

## Приборы и принадлежности

Вискозиметр, секундомер, пикнометр, пипетка, аналитические весы, исследуемая жидкость, дистиллированная вода.

## Введение

**Внутреннее трение (вязкость)** - это свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой или движению инородных тел в них.

Внутреннее трение характерно для всех реальных жидкостей и газов.

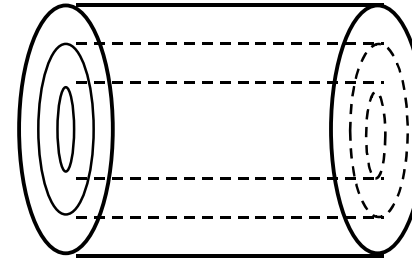


Рис. 1

Предположим, жидкость или газ течет по цилиндрической трубе с небольшой скоростью. При этом жидкость (газ) оказывается как бы разделенной на тонкие цилиндрические слои, которые скользят относительно друг друга, не перемешиваясь (рис. 1). Такое течение называется ламинарным или слоистым.

Скорости движения слоев различны. Наиболее медленно движется

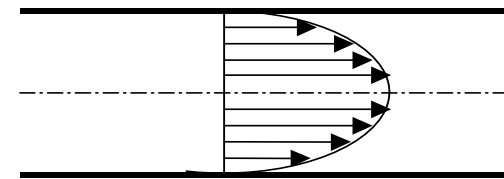


Рис. 2.

слой, находящийся в непосредственной близости к стенкам трубы, и максимальной скоростью обладает слой в центре трубы (рис. 2).

## Литература

1. Грабовский Р. И. Курс физики.- М.: Высшая шк., 1980. - 607 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Кн. 3. - М.: Наука, 1998. - 208 с.
3. Трофимова Т. И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая шк., 1997. - 542 с.

Из-за различия скоростей между слоями возникают касательные к их поверхности силы внутреннего трения: слои, движущиеся быстрее, увлекают за собой более медленные, а те, в свою очередь, тормозят движение быстрых.

Модуль силы внутреннего трения  $F$  можно вычислить по закону Ньютона:

$$F = \eta \cdot \left| \frac{dv}{dx} \right| \cdot S, \quad (1)$$

где  $\frac{dv}{dx}$  - изменение скорости движения слоев жидкости (газа) в направлении от оси к стенкам трубы (градиент скорости),  $S$  - площадь соприкосновения слоев,  $\eta$  - коэффициент внутреннего трения или коэффициент вязкости.

Коэффициент вязкости  $\eta$  зависит от природы и состояния жидкости или газа и численно равен силе внутреннего трения, возникающей на единице поверхности соприкосновения движущихся слоев при единичном градиенте скорости.

Молекулярно-кинетическая теория полагает, что вязкость жидкостей и газов связана с тепловым движением молекул и их взаимодействием. При хаотическом молекулярном движении происходит обмен молекулами между соседними слоями. Это приводит к переносу импульса из слоя в слой, в результате чего медленные слои ускоряются, а более быстрые замедляются.

В газах, где расстояния между молекулами велики, основная причина вязкости - хаотическое тепловое движение молекул. С повышением температуры вязкость газов увеличивается.

В жидкостях межмолекулярные расстояния существенно меньше, чем в газах, и вязкость обусловлена в первую очередь межмолекулярным взаимодействием, ограничивающим подвижность молекул. При нагревании вязкость жидкостей понижается.

Для того, чтобы жидкость или газ начали двигаться по трубе, необходимо создать разность давлений  $\Delta p$  на концах трубы. Объем  $V$  жидкости или газа, протекающий через сечение трубы за время  $t$  при разности давлений  $\Delta p$ , определяется по формуле Пуазейля:

3. С помощью аналитических весов определить массу пустого пикнометра  $m_1$ , массу пикнометра с водой  $m_2$  и массу пикнометра с исследуемой жидкостью  $m_3$ . Данные записать в таблицу.

4. Найти и записать в таблицу значение коэффициента вязкости  $\eta_0$  дистиллированной воды, соответствующее температуре проведения опытов.

5. Вычислить коэффициент вязкости исследуемой жидкости  $\eta$  по формуле (6). Результаты вычислений занести в таблицу.

6. Вычислить среднее значение коэффициента вязкости  $\eta_{\text{средн}}$  и оценить погрешность его измерения.

Таблица

№	с		z			$\frac{h \cdot c}{M^2}$	
	$t_0$	$t$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\eta_0$	$\eta$
1							
2							
...							

### Контрольные вопросы

1. Объясните молекулярно-кинетический смысл вязкости.
2. Какое течение называется ламинарным?
3. Что называется коэффициентом вязкости? Назовите единицы его измерения.
4. От чего зависит величина коэффициента вязкости?
5. Почему в вискозиметр необходимо наливать одинаковые объемы сравниваемых жидкостей?
6. Что такое плотность и в каких единицах она измеряется?
7. Выведите расчетную формулу коэффициента вязкости исследуемой жидкости.

$$V = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot \Delta p \cdot t}{8 \cdot \eta \cdot l}, \quad (2)$$

где  $R$  - радиус трубы,  $l$  - длина трубы,  $\eta$  - коэффициент вязкости.

Ламинарное (слоистое) течение наблюдается при небольших скоростях движения жидкости (газа). При увеличении скорости в потоке появляются вихри, приводящие к перемешиванию слоев. Такое течение называется турбулентным.

### Определение коэффициента вязкости капиллярным вискозиметром

Капиллярный вискозиметр представляет собой U-образную стеклянную трубку (рис. 3). Одним коленом является широкая трубка с резервуаром 1. Другое колено имеет два сферических расширения 2 и 3 и капилляр 4. Выше и ниже расширения 3 нанесены метки  $a$  и  $b$ . Диаметр капилляра вискозиметра и разность давлений на его концах подбирается так, чтобы поток жидкости в нем был ламинарным.

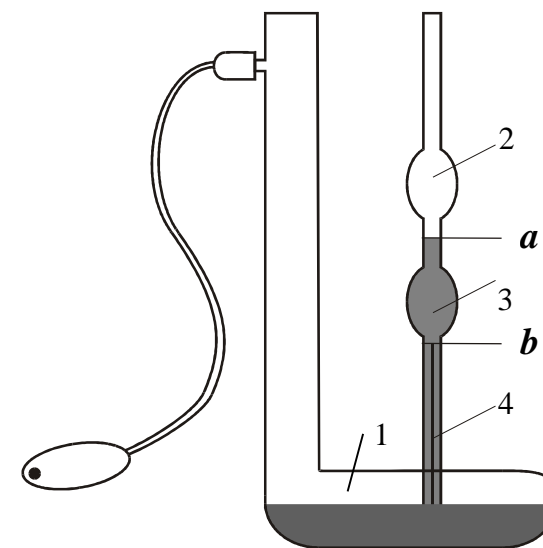


Рис. 3.

Определение коэффициента вязкости с помощью капиллярного вискозиметра основано на методе сравнения времени протекания через капилляр одинаковых объемов эталонной и исследуемой жидкостей.

Вначале заполняют вискозиметр водой, имеющей коэффициент вязкости  $\eta_0$ , и измеряют время протекания  $t_0$  объема воды  $V$ , заключенного между метками  $a$  и  $b$  правого колена вискозиметра. Затем измеряют время истечения такого же объема исследуемой жидкости ( $t$ ). Приравняв выражения для объемов обеих жидкостей из формулы Пуазейля (2) и учтя, что вода вытекает при разности давлений  $\Delta p_0$ , а исследуемая жидкость - при  $\Delta p$ , получим соотношение

$$\frac{t_0 \cdot \Delta p_0}{\eta_0} = \frac{t \cdot \Delta p}{\eta},$$

из которого можно вычислить коэффициент вязкости  $\eta$  исследуемой жидкости:

$$\eta = \eta_0 \cdot \frac{t \cdot \Delta p}{t_0 \cdot \Delta p_0} \quad (3)$$

Если жидкости текут через капилляр вискозиметра под действием силы тяжести, то справедливо равенство

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_0} = \frac{\rho}{\rho_0},$$

где  $\rho_0$  и  $\rho$  - плотности воды и исследуемой жидкости соответственно.

Заменив в формуле (3) отношение  $\frac{\Delta p}{\Delta p_0}$  отношением плотностей, получим

$$\eta = \eta_0 \cdot \frac{\rho \cdot t}{\rho_0 \cdot t_0} \quad (4).$$

Плотность исследуемой жидкости  $\rho$  определяется в данной работе методом пикнометра.

Пикнометром называется стеклянный сосуд определенного объема. Чаще всего он имеет форму небольшой колбы с узким горлышком, на котором нанесена метка. С помощью пипетки пикнометр наполняется жидкостью до метки. Это обеспечивает постоянство объема наливаемой жидкости.

Метод пикнометра заключается в следующем. Вначале измеряют массу пустого пикнометра  $m_1$ . Затем определяют массы пикнометра с водой ( $m_2$ ) и с исследуемой жидкостью ( $m_3$ ). Масса воды в пикнометре будет равна разности  $m_2 - m_1$ , а масса исследуемой жидкости определится как  $m_3 - m_1$ . Поскольку объемы обеих жидкостей, заполняющих пикнометр, одинаковы, то отношение их масс будет равно отношению плотностей  $\left( \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} = \frac{\rho}{\rho_0} \right)$ . И тогда плот-

ность исследуемой жидкости будет равна

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \quad (5)$$

Подставляя (5) в формулу (4), получим следующее выражение для коэффициента вязкости исследуемой жидкости  $\eta$ :

$$\eta = \eta_0 \cdot \frac{t \cdot (m_3 - m_1)}{t_0 \cdot (m_2 - m_1)} \quad (6).$$

### Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы ополоснуть вискозиметр водой. Через широкое колено полностью заполнить резервуар 1 дистиллированной водой. Зажав пальцем отверстие широкого колена вискозиметра, с помощью резиновой груши заполнить водой расширение 3 и убрать палец с отверстия. Когда вода опустится до метки  $a$ , включить секундомер. Остановить секундомер, как только вода пройдет метку  $b$ . Записать в таблицу время протекания воды  $t_0$ . Опыт повторить 5-7 раз.

2. Вылить воду из вискозиметра и просушить его. Заполнить вискозиметр исследуемой жидкостью и 5-7 раз измерить время истечения  $t$ .