

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Факультет общей и прикладной физики

**Отчет о выполнении работы 2.2.5.
Определение вязкости жидкости по скорости
истечения через капилляр**

Выполнил:
Студент гр. Б02-304
Головинов. Г.А.



Долгопрудный, 2024

Аннотация

Цель работы: 1) определить вязкость дистиллированной воды по измерению объема жидкости, протекающей через капилляр; 2) определение вязкости других жидкостей путём сравнения скорости их протекания со скоростью протекания воды.

В работе используются: сосуд Мариотта; капиллярная трубка; мензурка; секундомер; микроскоп.

Основные теоретические сведения

Воспользуемся формулой Пуазейля:

$$Q = \frac{\Delta p}{\Delta l} \cdot \frac{\pi R^4}{8\eta} \quad (1)$$

где Q — расход жидкости [$\text{м}^3/\text{с}$], R — радиус трубки, Δp — разница давлений на концах рассматриваемого участка длиной Δl , η — вязкость жидкости.

При малых скоростях течение в трубке ламинарное. При больших скоростях слои начинают перемешиваться, такое течение называется турбулентным. Характер течения зависит от соотношения между кинетической энергией среды и работой сил вязкости. Если первая величина сильно меньше второй, то течение остается ламинарным (энергия как бы подавляет вязкость). Отношение этих величин для некоторого объема среды определяет безразмерное

число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{vR\rho}{\eta} \quad (2)$$

где v — характерная скорость течения, R — радиус трубки (или любой другой характерный размер), ρ — плотность среды, η — вязкость.

В гладких трубках круглого сечения переход от ламинарного к турбулентному течению происходит при $\text{Re} \approx 1000$. Число Рейнольдса нужно именно для этого: перед применением формулы Пуазейля (1) стоит убедиться, что течение ламинарное.

Ламинарное течение при переходе из сосуда в капилляр устанавливается не сразу, а после того, как жидкость пройдет расстояние

$$a \approx 0.2R \cdot \text{Re} \quad (3)$$

Если длина капилляра много раз расстояния a , то можно считать течение в нем ламинарным.

Измерение вязкости дистиллированной воды.

Для измерения вязкости воды используется сосуд Мариотта, схема установки приведена на рисунке

Особенность сосуда Мариотта заключается в том, что разница давления на концах капилляра зависит только от высоты h между низом трубки В и осью капилляра. Кроме того, необходимо учесть, что поверхностное натяжение несколько уменьшает разницу давления.

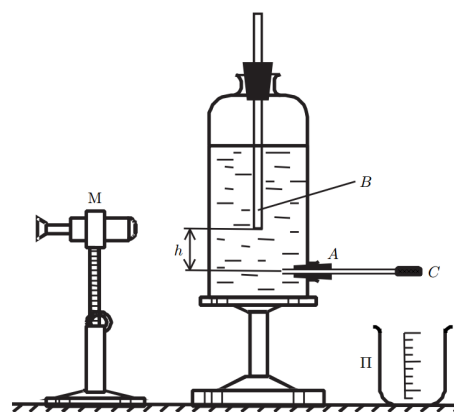


Рис. 1: Схема установки с сосудом Мариотта.

Измерение вязкости водного раствора глицерина вискозиметром.

Получив из предыдущего пункта вязкость воды, относительно нее можно получить вязкость других жидкостей. В случае нашей работы это 10-, 20-, 30-% раствор глицерина. Для этого нам понадобится измерить время, за которое каждая жидкость вытекает из вискозиметра (а точнее верхняя граница проходит через определенные границы).

Разность давления в вискозиметре выражается как $\Delta p = \rho g h(V)$, где $h(V)$ — функция высоты столба от объема, она одинаковая для каждой жидкости и определяется формой сосуда. Тогда (учитывая что течение ламинарное) можно воспользоваться формулой Пуазейля:

$$-\frac{dV}{dt} = \frac{\rho g h(V)}{l} \cdot \frac{\pi R^4}{\eta}$$

тогда можно разделить переменные:

$$-\frac{8l}{\pi R^4} \cdot \frac{dV}{h(V)} = \frac{\rho g}{\eta} dt$$

Пусть первой границе соответствует объем V_1 , а второй — V_2 . Время пусть меняется от $t = 0$ до некоторого t_0 . Тогда проинтегрировав получим:

$$\frac{8l}{\pi R^4} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{h(V)} = - \int_0^{t_0} \frac{\rho g}{\eta} dt$$

$$\frac{\rho}{\eta} t = \text{const} \quad (4)$$

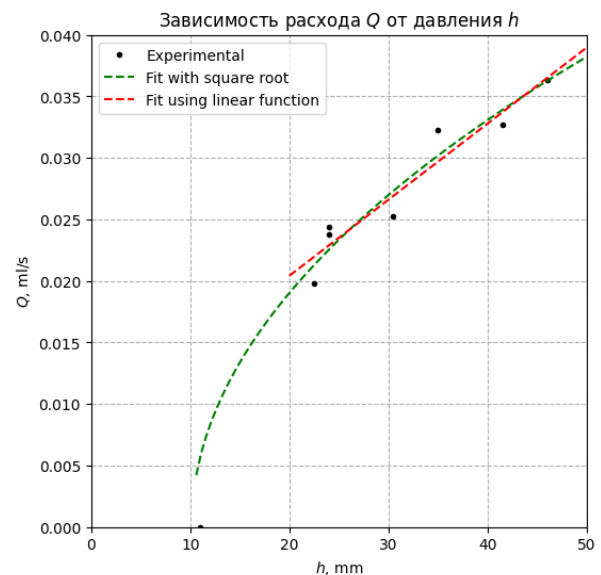
константа в левой части целиком определяется сосудом и не зависит от жидкости. Получается, меняя жидкость, величина в правой части сохраняется. Зная времена для каждой жидкости и их плотности можно получить ее вязкость. Конечное выражение для некоторой жидкости x через воду (индекс 0):

$$\eta_x = \eta_0 \cdot \frac{\rho_x}{\rho_0} \cdot \frac{t_x}{t_0} \quad (5)$$

Обработка результатов

Для нахождения вязкости воды были взяты измерения для 6 различных высот h . Полученные данные приведены в виде таблиц в приложении.

Для определения Δh мы медленно уменьшали h до того момента, как вода не перестанет капать из капилляра. Это произошло на высоте порядка 10-12 mm. Будем считать $\Delta h = 11 \pm 1$ mm.



4.8489003798298553963432654241014e-4