

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,  $\Delta p$  — разница давлений на концах рассматриваемого участка длиной  $\Delta l$ ,  $\eta$  — 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),  $\rho$  — плотность среды,  $\eta$  — 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.

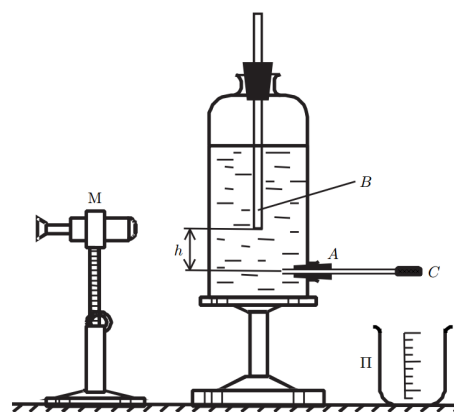


Рис. 1: Схема установки с сосудом Мариотта.

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

В результате имеем довольно плохие точки: явно видно, что пересечение линейной части графика с осью ординат больше нуля, что значит, что жидкость вытекала бы даже без избыточного давления. Однако экспериментально видно, что при высоте  $h \approx 11$  мм жидкость течь перестает

Это приводит к тому, что полученная вязкость

воды совсем не соответствует табличным значениям. Скорее всего, виной этому либо проблема с установкой, либо кривые руки автора.

Далее для определения вязкости растворов возьмем в качестве вязкости воды табличное значение с погрешностью в 5%:

$$\eta = (0.94 \pm 0.05) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Тогда с помощью вискозиметра по полученному времени протекания получим вязкости для растворов глицерина:

$$\eta_1 = (1.33 \pm 0.09) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_2 = (1.96 \pm 0.11) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_3 = (2.47 \pm 0.13) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

## Выводы

В результате работы вязкость дистиллированной воды получена не была ввиду неисправности установки или кривых рук автора. Однако используя табличные значения для вязко-

сти дистиллированной воды с помощью вискозиметра удалось определить вязкость раствора глицерина с достаточно большой точностью. Лишь 20% раствор вышел за пределы  $\pm 1\sigma$ .

## Приложение

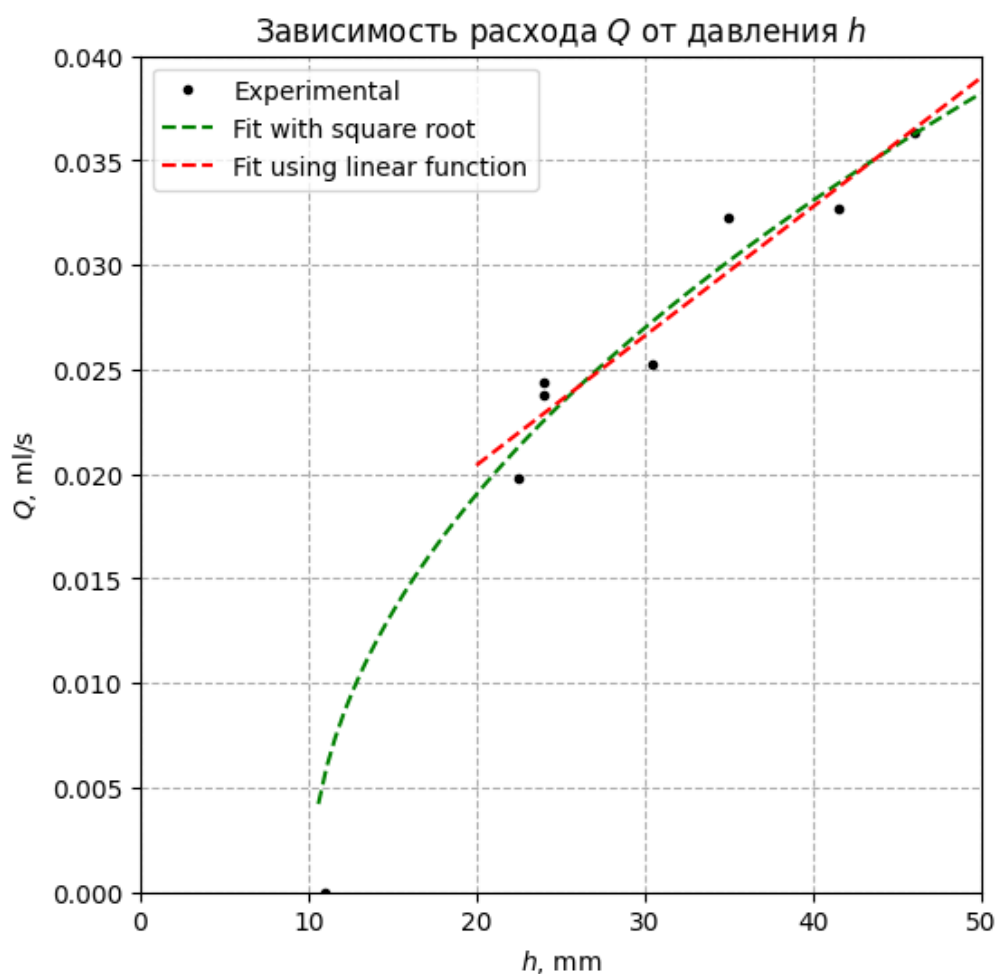


Рис. 2: Аппроксимация и полученные экспериментальные точки.

$N$ опыта	$t$ , с	$V$ , мл	$Q$ , мл/с	$\Delta h$ , мм
1	610	20	0.0328	41.5
2	550	20	0.0364	46
3	410	10	0.0244	24
4	630	15	0.0238	24
5	505	10	0.0198	22.5
6	792	20	0.0253	30.5
7	310	10	0.0323	35

Таблица 1: Результаты измерений потока жидкости через капилляр.

Содержание	0%	10%	20%	30%
$t_1$	8.69	11.68	17.03	20.97
$t_2$	8.80	11.80	17.01	21.16
$t_3$	8.39	11.68	17.14	21.25
$t_4$	8.62	11.64	17.50	20.97
$t_5$	8.61	12.75	17.12	20.99

Таблица 2: Результаты измерений времени вытекания жидкости через вискозиметр.