

Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)

---

## Определение вязкости воздуха по скорости течения через тонкие трубки

---

**Цель работы:**

Экспериментально выявить участок сформированного течения, определить режимы ламинарного и турбулентного течения; определить число Рейнольдса.

**В работе используются:**

Металлические трубки, укрепленные на горизонтальной подставке; газовый счетчик; микроманометр типа ММН; стеклянная U-образная трубка; секундомер.

**Описание работы**

Рассмотрим движение вязкой жидкости или газа по трубке круглого сечения. При малых скоростях потока движение оказывается ламинарным (слоистым), скорости частиц меняются по радиусу и направлены вдоль оси трубки. С увеличением скорости потока движение становится турбулентным, и слои перемешиваются. При турбулентном движении скорость в каждой точке быстро меняет величину и направление, сохраняется только средняя величина скорости.

Характер движения газа (или жидкости) в трубке определяется безразмерным числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{v r \rho}{\eta}$$

В гладких трубках круглого сечения переход от ламинарного движения к турбулентному происходит при  $Re \approx 1000$ .

При ламинарном течении объем газа  $V$ , протекающий за время  $t$  по трубке длиной  $l$  (называемый расходом), определяется формулой Пуазейля:

$$Q_V = \frac{\pi r^4}{8 l \eta} (P_1 - P_2)$$

При втекании газа в трубку из большого резервуара скорости слоев вначале постоянны по всему сечению (рис. 1).

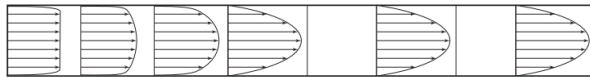
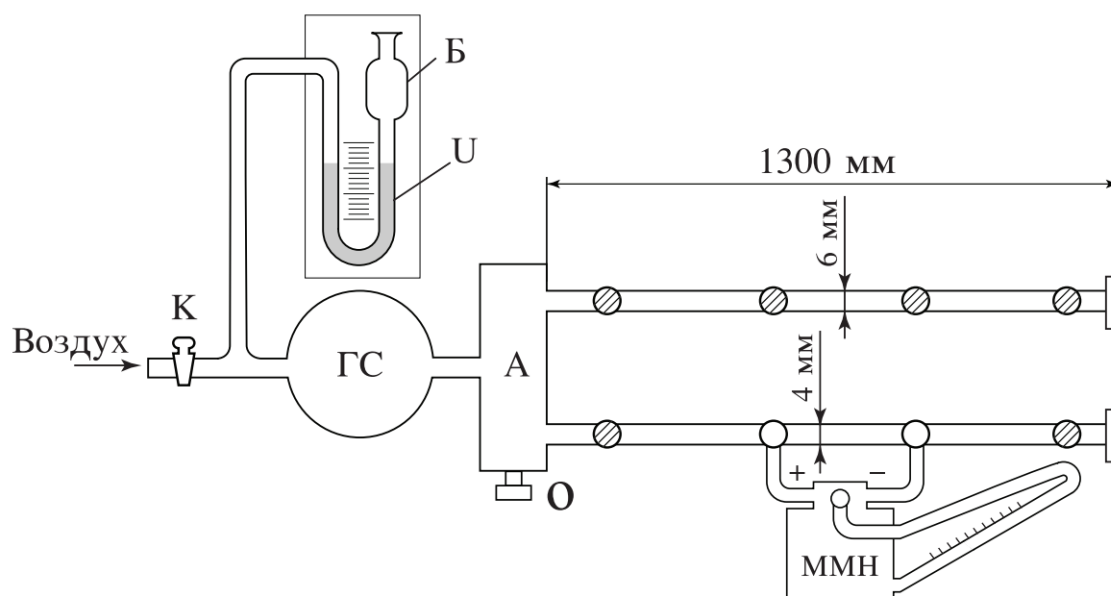


Рис. 1. Формирование потока газа в трубке круглого сечения

По мере продвижения газа по трубке картина распределения скоростей меняется, так как сила трения о стенку тормозит прилежащие к ней слои. Характерное для ламинарного течения параболическое распределение скоростей устанавливается на некотором расстоянии  $a$  от входа в трубку, которое зависит от радиуса трубки  $r$  и числа Рейнольдса по формуле:

$$a \approx 0,2r * Re$$

Экспериментальная установка:



А также подробная схема ММН:

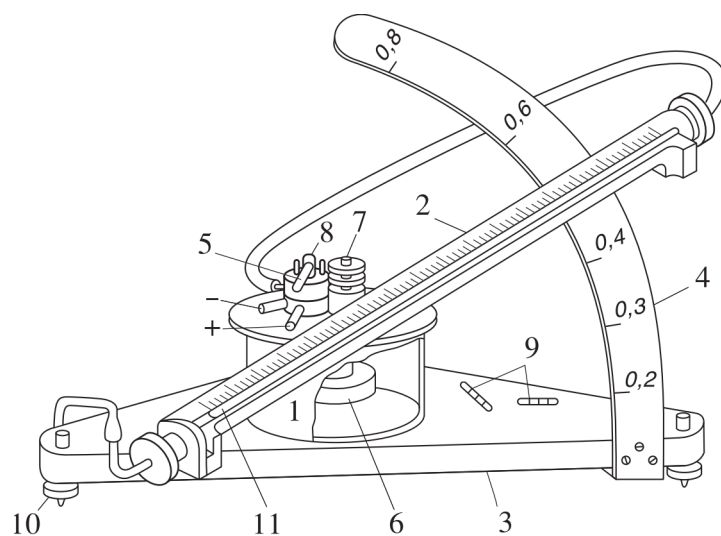


Рис. 3. Микрометрический манометр типа ММН

## Ход работы

Оценим расстояние, на котором происходит формирование потока при ламинарном течении.  
 $a \approx 0,2r * Re = 0,2 * 1,95 * 10^{-2} * 1000 \approx 40$  (см)

Давление, измеряемое микроманометром, определяется по формуле:

$$P = K * h * 9,80665$$

где

$P$  - давление в Паскалях

$h$  отчет по шкале

$K = 0,2$  - постоянная угла наклона

Таблица измерений:

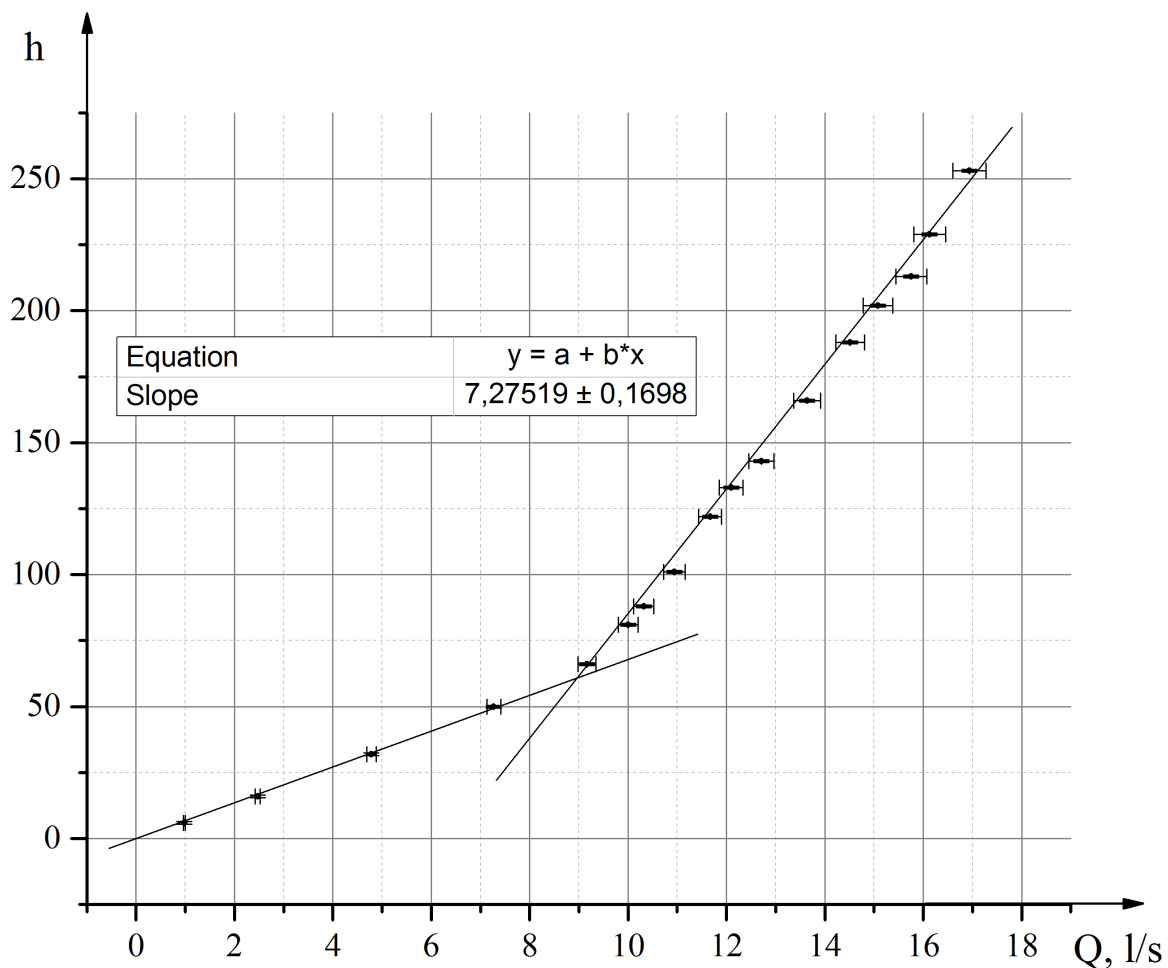
h, дел	6	16	32	50	66	81	88	101	122
V нач, л	2,6	4,6	0,7	4,0	0,0	2,5	2,0	3,0	2,0
V конеч, л	3,5	6,8	5,1	8,8	5,5	8,5	8,5	10,0	9,0
t, с	92	89	92	66	60	60	63	64	60
q*10 <sup>2</sup> , л/с	1,0	2,5	4,8	7,3	9,2	10,0	10,3	10,9	11,7

$$\Delta h = 0,5 \text{ дел}$$

h, дел	133	143	166	188	202	213	229	253
V нач, л	3,5	1,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V конеч, л	11,0	9,0	12,0	9,0	9,5	9,5	10,0	10,5
t, с	62	59	66	62	63	61	62	62
q*10 <sup>2</sup> , м <sup>3</sup> /с	12,1	12,7	13,6	14,5	15,1	15,6	16,1	17,0

$$\Delta q = q \sqrt{2 \left( \frac{\Delta V}{V} \right)^2 + \left( \frac{\Delta t}{t} \right)^2}$$

Построим график зависимости давления от расхода:



Выразим искомую вязкость через коэффициент наклона прямой  $\alpha$

$$h = \eta * \frac{8l}{\pi r^4 K * 8,80665} Q = \alpha Q$$

$$\eta = \frac{\pi r^4 K * 9,80665 \alpha}{8l}$$

$$l = (50,0 \pm 0,1) \text{ см}$$

$$r = (1,95 \pm 0,03) \text{ см}$$

$$\epsilon_\eta = \sqrt{4\epsilon_r^2 + \epsilon_\alpha^2 + \epsilon_l^2} = 0,03$$

$$\eta = (1,61 \pm 0,05) * 10^{-5} \text{ кг*м/с}$$

Из графика видно, что ламинарный режим переходит в турбулентный на значениях  $(8-9) * 10^2 \text{ м}^3/\text{с}$

$$Re = \frac{Qr\rho}{S\eta}$$

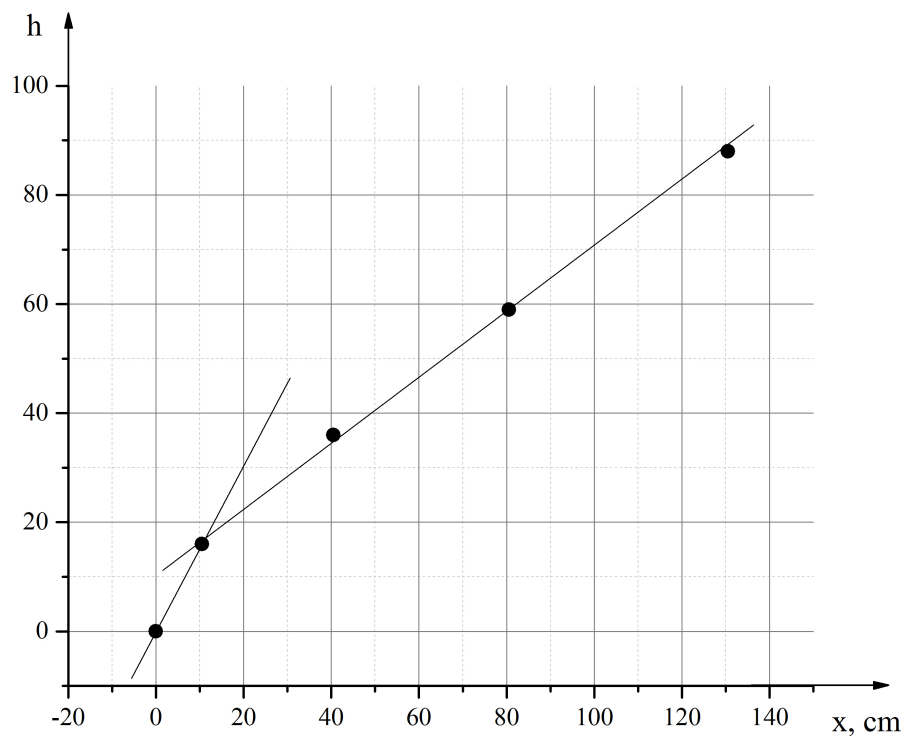
$$Re = (980 - 1100)$$

$$Re = 1040 \pm 60$$

При расходе, заведомо обеспечивающем ламинарность потока измерим распределение давления вдоль трубки:

l, см	0	10,5	40,5	80,5	130,5
h, дел	0	16	36	59	88

Построим график зависимости давления от расстояния:



Из графика видно, что установление потока происходит еще на 1-ом участке длиной 10,5 см. Теоретические расчеты дали длину установления порядка 40 см. То есть оценка, полученная по формуле, гораздо более грубая, чем результат, который мы наблюдаем в эксперименте.

Для всех трубок проведем измерения зависимости  $Q$  от  $P$  и обработаем их по формуле

$$\frac{8l\eta Q}{\pi(P_1 - P_2)} = r^n$$

$$\ln\left(\frac{8l\eta Q}{\pi(P_1 - P_2)}\right) = n \ln r$$

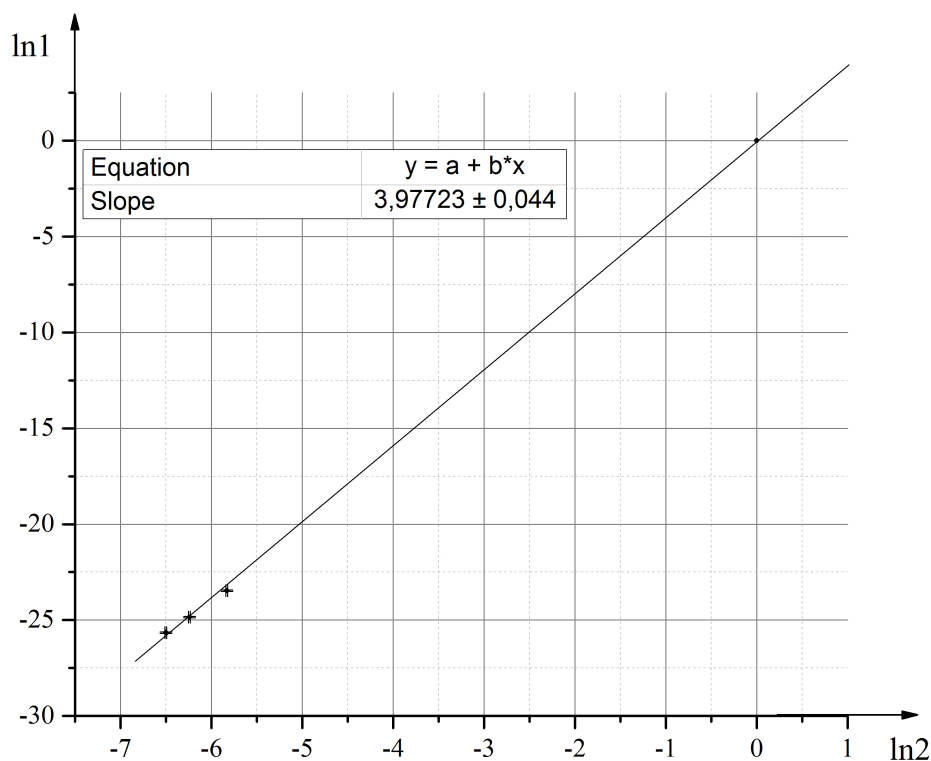
$$\ln 1 = n \ln 2$$

Таблица измерений:

r, см	1,50	1,95	2,95
l, см	30	50	50
h, дел	11	16	5
V нач, л	4,0	4,6	1,7
V конеч, л	5,3	6,8	3,0
t, с	46	89	42
q*10 <sup>2</sup> , л/с	2,17	2,47	3,10
ln1	-25,65	-24,85	-23,46
ln2	-6,5	-6,24	-5,83

$$\Delta \ln 1 = \sqrt{\epsilon_Q^2 + \epsilon_\eta^2 + \epsilon_{2h}^2} = 0,05$$

$$\Delta \ln 2 = \epsilon_r$$



$n = 3,97 \pm 0,05$  Результат, прекрасно сходящийся с формулой Пуазейля

Вывод:

Данная лабораторная работа поражает точностью результатов. В каждом пункте мы получили значения, хорошо сходящиеся с теорией.

### Литература

Лабораторный практикум по общей физике. Том 1 (Механика)/А.Д. Гладун - М, 2004 г