

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ВОЗДУХА

Практикум

Рекомендовано методической комиссией радиофизического факультета
для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки
03.03.03 Радиофизика

Нижегород
2019

УДК 533.16
ББК 22.2153
О-62

О-62 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ВОЗДУХА: Составители: Бирагов С. Б., Новоковская А. Л. Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2019. – 7 с.

Рецензент: зав. кафедрой распространения радиоволн и радиоастрономии радиофизического факультета ННГУ, профессор **В. Г. Гавриленко**

Практикум содержит описание лабораторной работы по измерению коэффициента вязкости воздуха.

Практикум предназначен для студентов первого курса радиофизического факультета ННГУ.

Ответственные за выпуск:

председатель методической комиссии радиофизического факультета ННГУ,
к.ф.-м.н., доцент **Н. Д. Миловский**
зам.председателя методической комиссии радиофизического факультета ННГУ,
д.ф.-м.н., профессор **Е. З. Грибова**

УДК 533.16
ББК 22.2153

Теоретическая часть

В неоднородном потоке газа (жидкости) между соседними слоями, движущимися с различными скоростями, действуют силы вязкого трения, которые тормозят более быстрый слой и ускоряют медленный. На молекулярном уровне силы вязкого трения связаны с переносом упорядоченного импульса между слоями газа [1]. Для потока, скорость которого \vec{v} направлена вдоль оси x и зависит от координаты y (рис. 1), т.е. $v_x = v_x(y)$, сила вязкого трения F определяется формулой

$$F = \eta S \left| \frac{dv_x}{dy} \right|, \quad (1)$$

где S – площадь взаимодействующих слоев, а η – коэффициент вязкости. В системе СГС коэффициент вязкости измеряется в пуазах (П) и имеет размерность $\text{г}/(\text{см} \cdot \text{с})$.

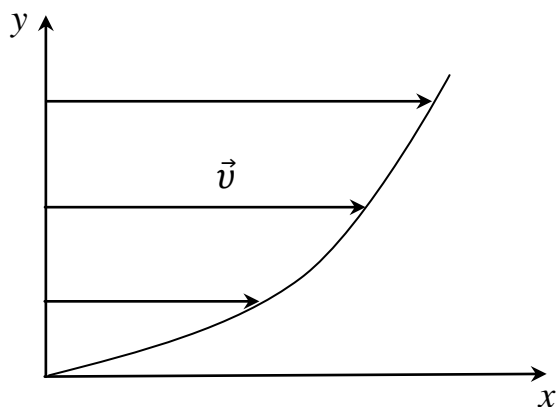


Рис. 1. Неоднородный поток газа

Коэффициент вязкости можно измерить, исследуя течение газа через цилиндрическую трубку малого сечения (капилляр). При ламинарном течении газа по капилляру связь между разностью давлений газа Δp на концах капилляра и объемом Q газа, протекающим через капилляр в единицу времени (расходом газа), дается формулой Пуазейля [2]

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta L} \Delta p, \quad (2)$$

где R – радиус капилляра, а L – его длина. Измеряя на опыте Q и Δp , по формуле (2) можно определить (при известных значениях R и L) коэффициент вязкости η .

Экспериментальная установка

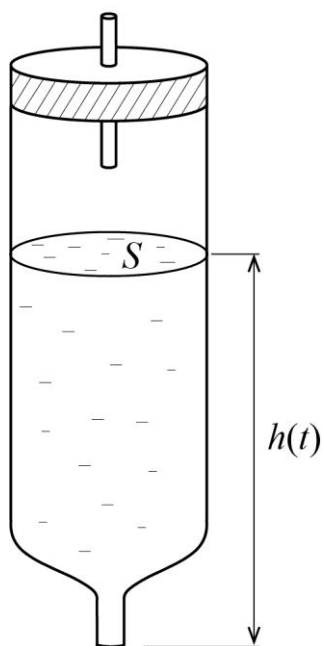


Рис. 2. Схема установки

Экспериментальная установка для определения коэффициента вязкости воздуха представляет собой цилиндрический сосуд с небольшим отверстием внизу, который сверху закрывается пробкой с плотно вставленным в нее капилляром (рис. 2). К сосуду прикреплена вертикальная шкала для измерения уровня воды в сосуде.

Сосуд частично заполняют водой (при закрытом нижнем отверстии) и закрывают пробкой с капилляром. Затем нижнее отверстие открывают, и вода начинает вытекать. При этом объем воздуха в сосуде возрастает, а его давление понижается (воздух не успевает поступать в сосуд через капилляр). В результате скорость вытекания воды начинает уменьшаться. Когда скорость вытекания становится достаточно малой, разность давлений воздуха вне сосуда (атмосферного давления) и внутри сосуда можно считать

равной статическому давлению столба воды изменяющейся со временем высоты $h(t)$, т.е. $\rho gh(t)$, где ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения. Такая же разность давлений устанавливается и на концах капилляра, т.е. $\Delta p = \rho gh(t)$.

Объем Q воздуха, втекающего через капилляр за 1 секунду, равен объему вытекающей за 1 секунду воды и, таким образом, равен скорости понижения уровня воды, умноженной на площадь сечения сосуда:

$$Q = -S \frac{dh}{dt}. \quad (3)$$

Знак "–" учитывает, что производная dh/dt отрицательна.

Из формул (2) и (3) следует

$$S \frac{dh}{dt} = -\frac{\pi R^4}{8\eta L} \rho gh. \quad (4)$$

Интегрируя уравнение (4), находим, что понижение уровня воды в сосуде происходит по экспоненциальному закону:

$$h(t) = h_0 e^{-t/\tau}, \quad (5)$$

где $\tau = \frac{8\eta LS}{\pi R^4 \rho g}$ – характерное время вытекания воды, h_0 – высота уровня воды в момент начала отсчета времени.

Порядок проведения эксперимента

1. Вынуть пробку с капилляром и, закрыв нижнее отверстие, налить в сосуд воду до уровня примерно 50 см. Затем плотно вставить пробку и открыть нижнее отверстие.

2. Подождя, пока скорость истечения воды из сосуда станет малой, начать измерения, занося в таблицу моменты времени t и соответствующие им уровни воды h .

3. Используя полученную таблицу значений $h(t)$, построить график зависимости $\ln(h/h_0)$ от времени. Убедиться в том, что зависимость линейная.

4. Определить коэффициент τ по наклону прямой на графике и рассчитать коэффициент вязкости по формуле

$$\eta = \frac{\pi R^4 \rho g \tau}{8LS}. \quad (6)$$

Контрольные вопросы

1. Формула Пуазейля (2) справедлива для ламинарного режима течения, который имеет место при значениях числа Рейнольдса, удовлетворяющих условию

$$\text{Re} = \frac{\rho v R}{\eta} \ll 1100, \quad (7)$$

где ρ и η – плотность и коэффициент вязкости воздуха, v – характерная скорость течения воздуха в капилляре, R – радиус капилляра. Оцените число Рейнольдса для условий эксперимента и ответьте на вопрос: было ли течение в капилляре ламинарным?

2. Закон (5) понижения уровня воды в сосуде со временем получен в предположении, что перепад давлений на границах воды равен статическому значению ρgh . Это предположение не учитывает движения жидкости. Оцените величину ошибки, допускаемой при определении давления, считая воду идеальной жидкостью.

Указание. Воспользуйтесь уравнением Бернулли.

3. С помощью найденного в работе коэффициента вязкости оцените среднюю длину свободного пробега и диаметр молекул воздуха.

4. Оцените, на сколько должен опуститься уровень воды после открытия нижнего отверстия, чтобы в свободной от воды части сосуда установилось давление воздуха на ρgh ниже атмосферного.

Указание. При рассмотрении процесса установления можно пренебречь изменением массы воздуха в сосуде и связать понижение давления воздуха с увеличением его объема в сосуде из-за вытекания воды.

Список литературы

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. II. Термодинамика. 6-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. I. Механика. 6-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ВОЗДУХА

Составители:

Сергей Борисович Бирагов
Алина Львовна Новоковская

Практикум

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского"
603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.