

Методические указания
к выполнению лабораторной работы 1.2.4

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ
И ДИАМЕТРА МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА***

* Артюхов С.П. Свойства газов: Методические указания к выполнению лабораторных работ/С.П. Артюхов, В.В. Некрасов, В.В. Добрынина, Ф.А. Боднарюк, Л.Ф. Тренина.-РИО АЛТИ, 1980.-24 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1.2.4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ
И ДИАМЕТРА МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА

Теоретические положения

Во всех реальных газах и жидкостях при перемещении одного слоя относительно других приходят в движение и окружающие слои. Со стороны слоя, движущегося более быстро, на слой, движущийся медленнее, действует ускоряющая сила, и наоборот. Эти силы получили название сил внутреннего трения и направлены по касательной к поверхности слоев (рис.4.1). Сила

внутреннего трения определяется по закону Ньютона:

$$F = -\eta \frac{\Delta U}{\Delta Z} \Delta S, \quad (4.1)$$

где $\frac{\Delta U}{\Delta Z}$ – градиент скорости, показывающий изменение скорости на единицу длины в направлении, перпендикулярном вектору скорости, ΔS – площадь соприкосновения слоев.

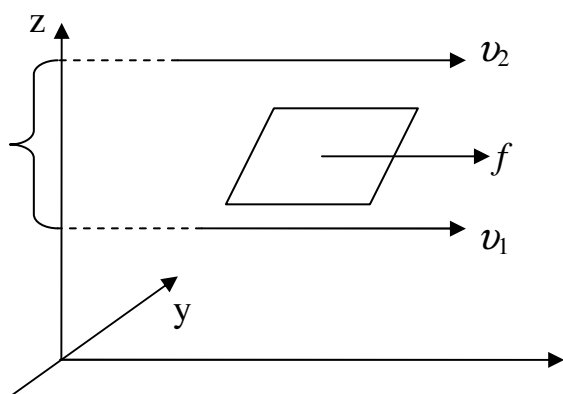


Рисунок 1. – Градиент скорости

Величина η , зависящая от природы газа и условий, в которых он находится, называется коэффициентом динамической вязкости. Коэффициент динамической вязкости η численно равен силе внутреннего трения, приходящейся на единицу площади соприкосновения слоев при градиенте скорости, равном единице.

С точки зрения молекулярно – кинетической теории в потоке газа молекулы участвуют в двух движениях: 1) тепловом со скоростью $\langle v \rangle$, равной средней арифметической скорости движения молекул при данной температуре, одинаковой у всех молекул; 2) направленном движении со скоростью u вместе со своим слоем. Переходя из слоя в слой в результате теплового движения, молекулы переносят с собой избыток или недостаток направленного импульса mu по отношению к молекулам данного слоя и тем самым ускоряют или замедляют движение этого слоя.

Цель данной работы – определение коэффициента внутреннего трения воздуха и эффективного диаметра молекул воздуха (кислород и азот). Для определения η воспользуемся законом Пуазейля о протекании газа через капиллярную трубку:

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 l \eta}, \quad (4.2)$$

где V – объем газа, протекшего через капилляр радиусом r и длиной l за время t ; Δp – перепад давления на концах капилляра.

Из уравнения (4.2) находим

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 l V}. \quad (4.3)$$

Экспериментальная установка

Установка для определения коэффициента динамической вязкости (4.2) состоит из капилляра, манометра, делительной воронки, мензурки и влагопоглотителя.

Если открыть кран К, вода из делительной воронки начнет вытекать, давление понизится и атмосферный воздух через капилляр потечет в делительную воронку. Манометр покажет перепад давления на концах капилляра, а объем вытекшей воды будет равен объему воздуха, прошедшему через капилляр за время t . Зная радиус и длину капилляра, можно рассчитать коэффициент динамической вязкости воздуха по уравнению (4.3).

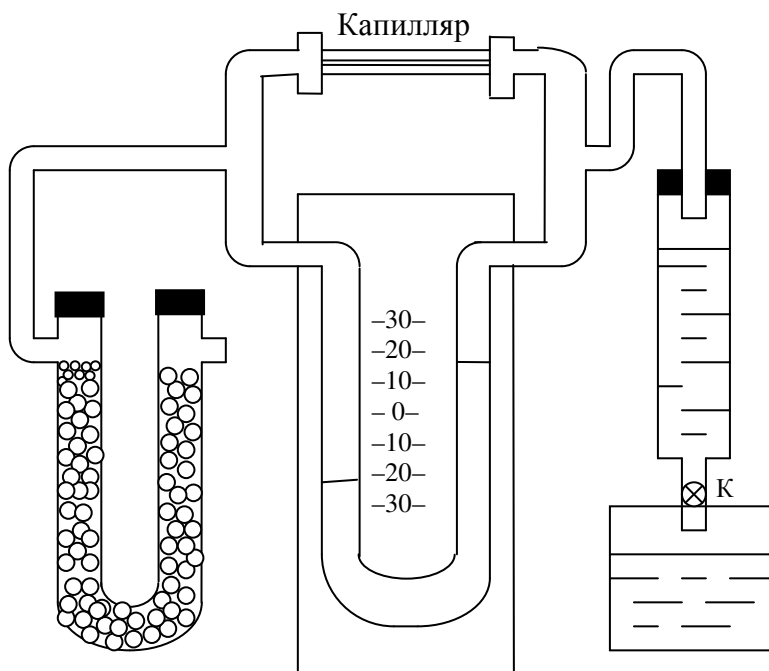


Рисунок 2. – Экспериментальная установка

Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

1. Открыть кран К, подождать, пока течение воздуха в капилляре установится, то есть уровень жидкости в манометре перестанет изменяться. При этом

$$\Delta p = \rho g \Delta h,$$

где ρ – плотность жидкости в манометре (вода);

Δh – разность высот жидкости в коленях манометра.

2. Подставить вместо стакана под струю мензурку и, включив секундомер, измерить объем жидкости, вытекшей из делительной воронки (равный соответственно объему газа, прошедшему через капилляр) в течение 40-50 с.

3. Рассчитать коэффициент динамической вязкости по уравнению (4.3), которое с учетом (4.4) принимает вид

$$\eta = \frac{\pi r^4 \rho g \Delta h t}{8 l V} . \quad (4.5)$$

4. Опыт повторить пять раз при разной скорости вытекания воды из делительной воронки (разных Δp), регулируя ее краном К.

5. Данные эксперимента занести в таблицу.

Таблица 1 – Результаты измерений

№ п/п	$l =$		$r =$		d
	Δh	t	V	η	

Из молекулярно – кинетической теории следует, что для идеальных газов

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{v} l , \quad (4.6)$$

где ρ – плотность воздуха;

\bar{v} – средняя арифметическая скорость молекул воздуха;

l_{np} – средняя длина свободного пробега молекул.

Из уравнения Менделеева – Клапейрона плотность

$$\rho = \frac{pM}{RT} . \quad (4.7)$$

Средняя арифметическая скорость

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} . \quad (4.8)$$

Средняя длина свободного пробега связана с диаметром молекулы следующим соотношением:

$$l_{np} = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 p} , \quad (4.9)$$

где p – атмосферное давление;

T – абсолютная температура воздуха во время опыта.

Решив совместно уравнения (4.6), (4.7), (4.8), (4.9), получим

$$d = \sqrt{\frac{2\sqrt{\mu R}}{3N_A \pi \sqrt{\pi}} \frac{\sqrt[4]{T}}{\eta}} , \quad (4.10)$$

где $\mu = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль- средняя молярная масса воздуха;

N_A – постоянная Авогадро;

R – универсальная газовая постоянная;

d – эффективный диаметр молекулы.

Подставив в уравнение (4.8) значения μ , N_A , R , получим

$$d = 0,312 \cdot 10^{-12} \sqrt{\frac{\sqrt{T}}{\eta}} , \quad (4.11)$$

Рассчитать абсолютную и относительную погрешности для коэффициента вязкости.

Контрольные вопросы

1. Как рассчитать давление столба жидкости высотой h ?
2. Каким образом создается перепад давления на концах капилляра? Как его измерить?
3. Пояснить природу внутреннего трения в газах согласно молекулярно – кинетической теории.
4. Физический смысл коэффициента динамической вязкости и градиента скорости. Единицы их измерения.
5. Показать, как зависит коэффициент динамической вязкости газа от температуры и давления.