

ОТЧЁТ
по лабораторной работе №20

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ И
СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА

Выполнил студент группы _____

Преподаватель кафедры физики

Отметка о защите _____

Лабораторная работа № 20

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ И СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА

Цель работы: определить коэффициент внутреннего трения и среднюю длину свободного пробега молекул воздуха при атмосферном давлении.

Приборы и принадлежности: установка для определения коэффициента внутреннего трения, секундомер, термометр, барометр.

Описание экспериментальной установки

Для определения коэффициента внутреннего трения используется установка, изображённая на рис. 1.

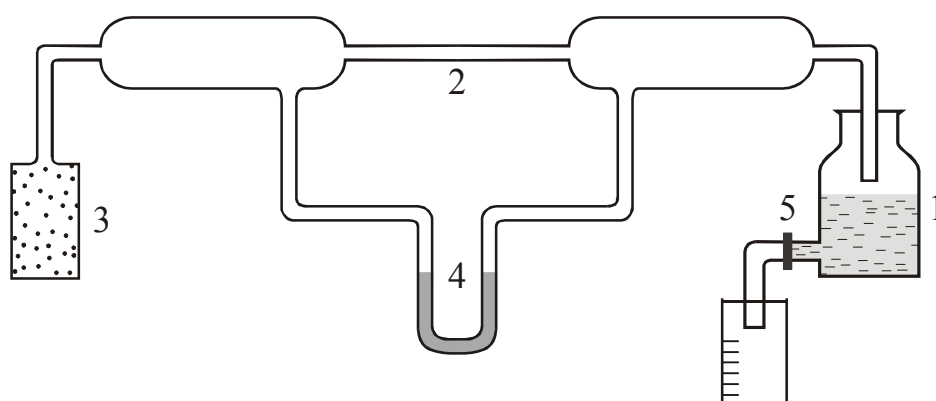


Рисунок 1

При вытекании воды из аспиратора 1 через кран 5 в капилляре 2 создается поток воздуха, осушаемого фильтром 3. Манометром 4 измеряется разность давлений Δp между концами капилляра. Объем воздуха V , протекающего через капилляр за время τ , равен объему вытекшей из аспиратора воды. Значения радиуса r капилляра и его длины L указаны на установке.

Общие положения

Всем реальным газам в большей или меньшей степени присуща вязкость или внутреннее трение. Внутреннее трение (вязкость) – взаимодействие между слоями газа, движущимися с различными скоростями. Явление сопровождается переносом импульса направленного движения из более быстрых слоев в более медленные. В результате этого переноса между соприкасающимися слоями возникают силы внутреннего трения, тормозящие движение быстрого слоя и ускоряющие движение медленного.

Природа этих сил заключается в том, что слои, движущиеся с разными скоростями, обмениваются молекулами. Молекулы из быстрого слоя передают молекулам из медленного слоя некоторый импульс, вследствие чего последний начи-

нает двигаться быстрее. Молекулы из медленного слоя, переходя в быстрый слой, получают некоторый импульс, что приводит к торможению этого слоя.

Рассмотрим движение газа в направлении оси x (см. рис. 2). Пусть слои движутся с разными скоростями. На оси z возьмём два слоя, находящиеся на расстоянии dz .

Скорости слоёв отличаются на величину dv . Отношение $\frac{dv}{dz}$ численно равно градиенту скорости, т.е. изменению скорости слоёв, приходящемуся на единицу длину в направлении оси Z .

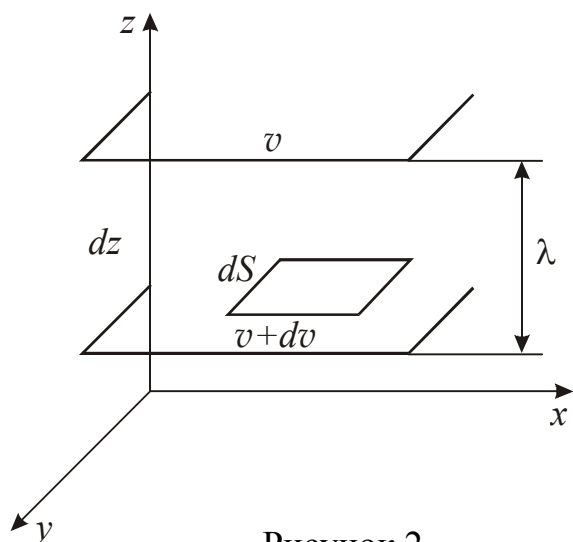


Рисунок 2

Сила внутреннего трения (вязкости), действующая между двумя слоями, пропорциональна площади их соприкосновения и градиенту скорости:

$$F = \eta \frac{dv}{dz} dS, \quad (1)$$

где η – коэффициент внутреннего трения (коэффициент вязкости).

Единицей вязкости в СИ служит такая вязкость, при которой градиент скорости с модулем, равным 1 м/с на 1 м, приводит к возникновению силы внутреннего трения в 1 Н на 1 м² поверхности касания слоев. Эта единица называется паскаль-секундой (Па·с). Коэффициент вязкости зависит от температуры: у газов он растет с повышением температуры.

Коэффициент вязкости воздуха можно рассчитать по формуле Пуазейля:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p \tau}{8VL}, \quad (2)$$

где r – радиус капилляра;

L – длина капилляра.

Средней длиной свободного пробега $\langle l \rangle$ молекул называется среднее расстояние, которое проходит молекула без соударения, иными словами – это расстояние между двумя последовательными соударениями. На длине свободного пробега молекула движется равномерно и прямолинейно. Средняя длина свободного пробега молекул связана с коэффициентом внутреннего трения η соотношением:

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

где ρ – плотность воздуха при данной температуре;

$\langle v \rangle$ – средняя арифметическая скорость молекул воздуха.

Используя уравнение состояния идеального газа $pV = \frac{m}{M}RT$ и выражение для средней арифметической скорости $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$, получаем:

$$\langle l \rangle = 1,9 \sqrt{\frac{RT}{M}} \frac{\eta}{p_{\text{атм}}}, \quad (4)$$

где $p_{\text{атм}}$ – внешнее атмосферное давление;
 R – молярная газовая постоянная;
 M – молярная масса воздуха;
 T – абсолютная температура воздуха.

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чём состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. По каким формулам Вы будете рассчитывать коэффициент внутреннего трения и среднюю длину свободного пробега молекул воздуха? Поясните смысл обозначений, входящих в формулы.
4. Атмосферное давление составляет 750 мм рт. ст. Выразить давление в единицах СИ – паскалях.

Выполнение работы

1. Записать значения радиуса r и длины L капилляра, указанные на установке.
2. Открыть кран аспиратора и установить мерный стакан так, чтобы вода стекала по его стенкам (это нужно для того, чтобы уровень воды в стакане не колебался).
3. Когда на манометре установится постоянная разность уровней жидкости, записать показания манометра h_1 и h_2 и рассчитать величину $\Delta h = h_1 - h_2$.
4. Измерить время вытекания 100 см^3 воды, после чего закрыть кран.
5. Вылить из стакана воду в аспиратор и повторить опыт согласно пп. 2-3 еще 2 раза при другой скорости истечения воды.
6. Определить по термометру температуру воздуха в лаборатории, а по барометру – атмосферное давление.

Оформление отчёта

1. Расчёты

1. Рассчитать разность давлений Δp между концами капилляра: $\Delta p = \rho g \Delta h$, где ρ – плотность жидкости (воды).
2. Рассчитать коэффициент вязкости воздуха η по результатам каждого опыта по формуле (2).
3. Найти среднее значение коэффициента вязкости воздуха.
4. Рассчитать абсолютную погрешность $\Delta \eta$ как для прямых измерений.
5. Найти относительную погрешность измерения коэффициента вязкости.
6. Результат записать в стандартном виде:

$$\eta = (\langle \eta \rangle \pm \Delta \eta).$$

7. Рассчитать среднюю длину свободного пробега $\langle l \rangle$ молекул по формуле (4), используя среднее значение коэффициента вязкости.
8. Рассчитать абсолютную погрешность Δl как для косвенных измерений по формуле:

$$\Delta l = \langle l \rangle \sqrt{\left(\frac{\Delta \eta}{\langle \eta \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2},$$

где Δp и ΔT – приборные погрешности барометра и термометра соответственно, равные половине цены деления приборов.

9. Найти относительную погрешность измерения средней длины свободного пробега.
10. Результат записать в стандартном виде:

$$\langle l \rangle = (\langle l \rangle \pm \Delta l).$$

2. Защита работы

(ответы представить в письменном виде)

1. Что называется средней длиной свободного пробега молекул?
2. Как зависит средняя длина свободного пробега молекул от температуры, давления?
3. Как зависит коэффициент внутреннего трения газов от температуры?
4. Сравните полученное значение коэффициента внутреннего трения воздуха с табличным при данной температуре. Сделайте вывод.

ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №20

Выполнил(а) _____

Группа _____

Радиус капилляра $r =$ _____Длина капилляра $L =$ _____Плотность жидкости (воды) $\rho =$ _____Температура воздуха в лаборатории $t =$ _____ °СВнешнее атмосферное давление $p_{\text{атм}} =$ _____Объем вытекшей воды $V =$ _____Цена деления термометра $C_T =$ _____Цена деления барометра $C_p =$ _____

| № п/п | $h_1,$ мм | $h_2,$ мм | $\Delta h,$ мм | $\Delta p,$ Па | $\tau,$ с | $\eta,$ Па·с |
|----------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------|-----------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |

Дата _____

Подпись преподавателя _____