

Условие

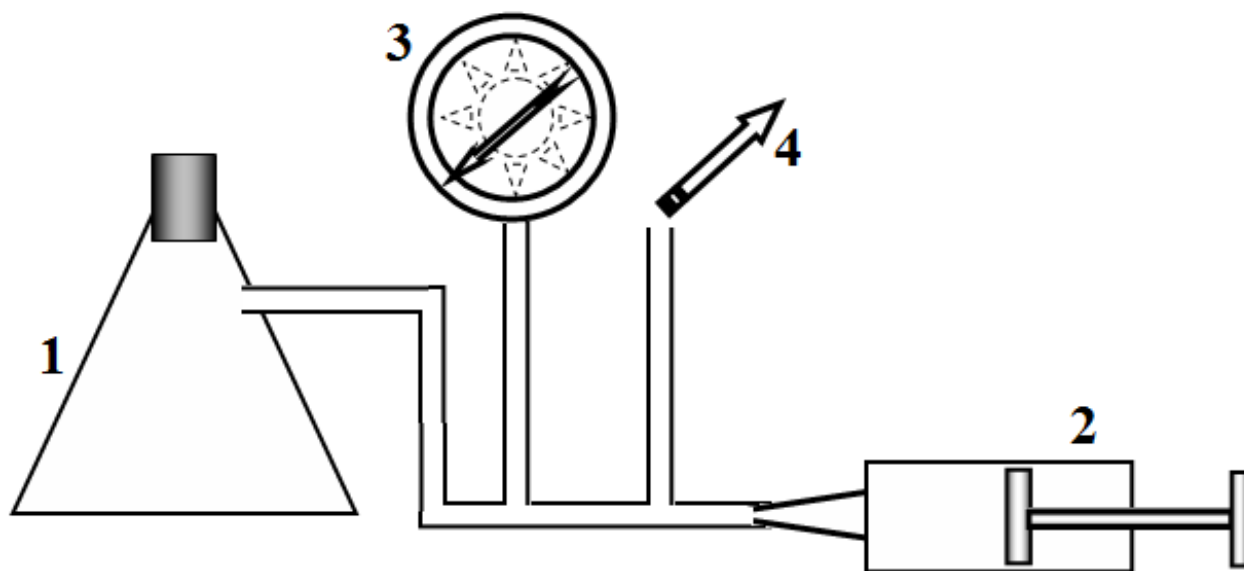
Задача 2. Закон Пуазейля.

В данной задаче вам предстоит исследовать протекание газа через тонкую капиллярную трубку.

Значение атмосферного давления будет указано во время проведения тура.

Приборы и оборудование: прибор для изучения газовых законов, капиллярная трубка, два зажима, мензурка с водой, секундомер с памятью этапов, линейка.

Для проведения исследований вам предлагается следующая установка.



Сосуд с пробкой (колба) 1 соединены гибкими шлангами со шприцем 2 (с помощью которого создается дополнительное давление), манометром 3 и выводом 4, к которому подсоединяется капиллярная трубка. Трубка закрепляется в штативе вертикально, ее нижний конец опускается в мензурку. В мензурку при по мере необходимости можно добавлять воду. При необходимости поршень шприца может быть закреплен с помощью пластиковой скобы. Манометр показывает разность между давлением внутри сосуда и атмосферным давлением.

Тщательно продумывайте порядок проведения измерений, так чтобы вам хватило двух рук. Измерения требуют точности и аккуратности. При необходимости следует проводить несколько повторных измерений!

При протекании газа по трубе на него действуют силы вязкого трения со стороны стенок трубы. Расход газа (объем газа, протекающего через поперечное сечение трубы в единицу времени) определяется законом Пуазейля

$$q = G\Delta P, \quad (1)$$

где ΔP - разность давлений на концах трубы, G - постоянный коэффициент (назовем его проводимостью трубки), зависящий от геометрических размеров трубки и свойств протекающего газа.

Часть 1. Без воды.

Перекройте планг, ведущий к капилляру. С помощью шприца создайте избыточное давление внутри сосуда. Поршень шприца передвигайте медленно, чтобы избежать нагрева воздуха при его сжатии. Убедитесь, что утечка воздуха отсутствует.

1.1 Измерьте зависимость избыточного давления воздуха в сосуде от времени. Постройте график полученной зависимости. 1.2 На основании полученных данных докажите, что расход газа через трубку пропорционален разности давлений на ее концах. 1.3 Рассчитайте численное значение проводимости трубки G , оцените погрешность найденного значения. Не забудьте привести все расчетные формулы.

Часть 2. Дополнительное давление.

Залейте в мензурку воду, так чтобы конец трубки был погружен на некоторую глубину h . Измерения проведите при двух различных значениях глубины погружения, укажите эти значения.

2.1 Проведите измерения зависимости избыточного давления внутри трубки от времени при вытекании воздуха через трубку, опущенную в воду. Постройте графики полученных зависимостей. 2.2 Докажите, что и в этом случае закон Пуазейля (1) выполняется. 2.3 Докажите, что проводимость трубки не зависит от глубины ее погружения. Оцените значения проводимости трубки по экспериментальным данным, полученным в данной части. Здесь оценивать погрешность не требуется.

Решение

Задача 10-2. Закон Пуазейля.

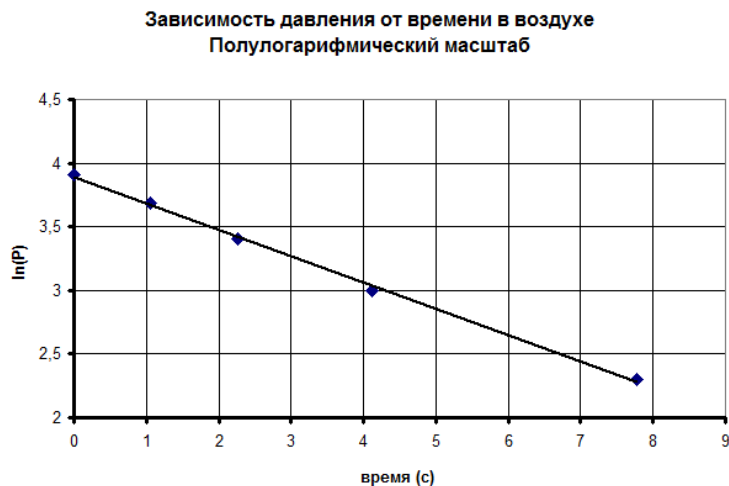
Часть 1. Без воды.

1.1. Результаты измерений зависимости давления в колбе от времени приведены в Таблице 1. Измерения удобно проводить? исследуя обратную зависимость. То есть, фиксировать времена по достижении определенных значений давления. Кроме того, ввиду кратковременности процесса и заметных ошибок измерения, измерения следует проводить несколько раз, и рассчитывая затем средние значения

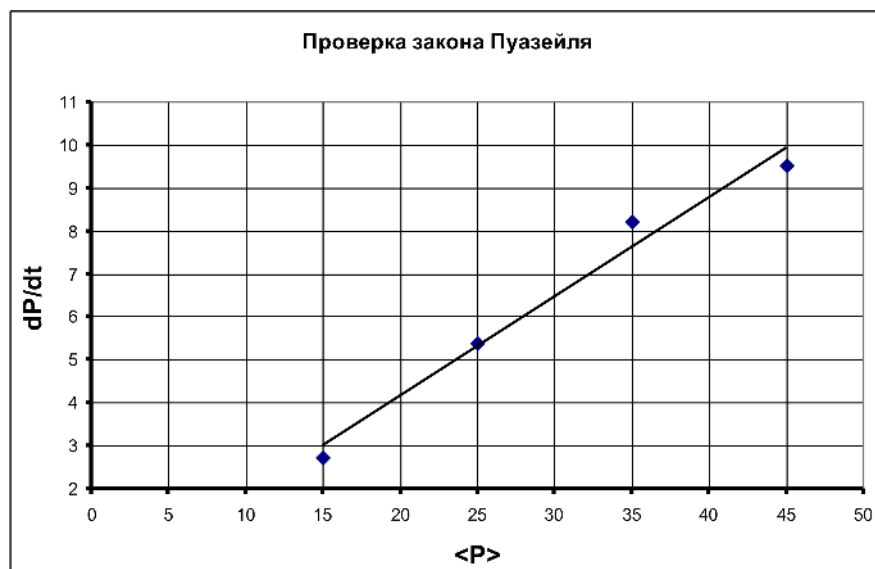
Таблица 1

t, c						$p, \text{ мм рт. ст.}$	$\langle p_i \rangle$	$(\Delta p / \Delta t)$
1	2	3	4	5	ср. знач			
0	0	0	0	0	0	50	-	-
1,04	1,16	0,96	1,03	1,06	1,05	40	45	9,524
2,26	2,35	2,25	2,24	2,24	2,27	30	35	8,210
4,02	4,18	4,21	4,08	4,11	4,12	20	25	5,400
7,97	7,84	7,71	7,56	7,81	7,78	10	15	2,734

На рисунке представлен график полученной зависимости в обычно и полупологарифмическом масштабе.



Если формула Пуазейля справедлива, то эта зависимость должна быть экспоненциальной. Для проверки этого и построена данная зависимость в полупологарифмическом масштабе. Линейность полученной зависимости подтверждает применимость формулы Пуазейля.

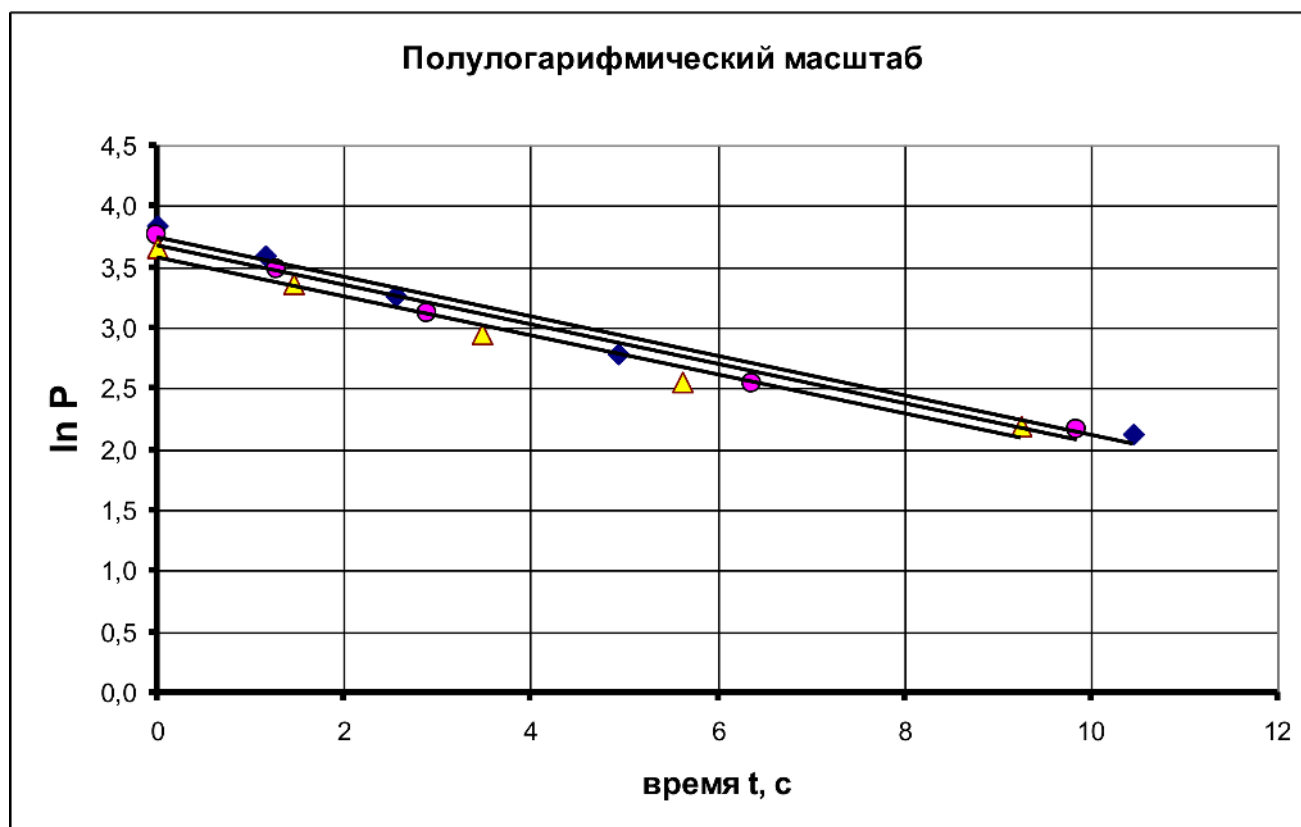


Вторая возможность – построить зависимость $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ от среднего давления на промежутке времени Δt . Эта зависимость также примерно линейна. Однако, в этом случае достоверность вывода о применимости закона менее обоснована, так как

численный расчет производной всегда приводит к большим погрешностям.

Часть 2. Дополнительное давление.

При опускании капилляра в воду измерения проводятся аналогично. Ограничимся экспериментальными данными, приведенными в виде графика в полулогарифмическом масштабе. Очевидно, что при построении этого графика следует при расчете разности давлений на концах трубки следует вычесть гидростатическое давление воды на глубине погружения. Полученные зависимости являются линейными и практически совпадающими. Это еще раз подтверждает применимость формулы Пуазейля для расхода воздуха при его протекании через тонкую трубку.



Одинаковый наклон графика говорит о постоянстве коэффициента G . Для расчета этого коэффициента сначала запишем уравнение закона Бойля-Мариотта из которого выразим связь между изменением объема (объем вышедшего газа) и изменением давления в трубке

$$PV = const \Rightarrow \frac{\Delta P}{P} = -\frac{\Delta V}{V_0}. \quad (1)$$

Величина расхода газа определяется формулой

$$q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = -V_0 \left(\frac{1}{P} \frac{\Delta P}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

Сравнивая с формулой Пуазейля, находим значение коэффициента пропорциональности

$$G = -\frac{V_0}{P_0} \left(\frac{1}{P} \frac{\Delta P}{\Delta t} \right). \quad (3)$$

Величина $\left(\frac{1}{P} \frac{\Delta P}{\Delta t} \right)$ может быть определена по наклону приведенных графиков.