

## Условие

### Задание 9-1. Вытекание из бутылки.

Приборы и оборудование: штатив с лапкой, пластиковая бутылка с завинчивающейся пробкой, в которую вставлены две трубки, секундомер с памятью этапов, мензурка, посуда с водой, линейка.

***Рассчитывать погрешности в данной работе не требуется!***

Каждому приходилось проводить эксперимент по выливанию жидкости из перевернутой бутылки. Течение жидкости в этом случае является крайне регулярным – волны, брызги... и бульканье! Действительно, что бы жидкость вытекала из бутылки, внутрь ее должен падать воздух. В данной задаче Вам предстоит исследовать регулярное вытекание воды из пластиковой бутылки. Для этого сквозь пробку бутылки пропущены две одинаковые трубки, которые можно передвигать. Бутылка закрепляется вертикально в лапке штатива, для измерения объема используется мензурка, для измерения времени вытекания секундомер. В качестве основной характеристики скорости вытекания используется расход жидкости (объем жидкости, вытекающей в единицу времени):

$$q = \frac{\Delta V}{\Delta t}. \quad (1)$$

В работе также используйте следующие обозначения (см. рисунок):

$H$  - высота уровня воды в сосуде;  $l$  - длина трубки;  $h$  - разность высот уровней трубок внутри сосуда.

#### **Часть 1. Закон вытекания.**

***Измерения в данной части проведите при разности уровней трубок в сосуде  $h = 5,5$  см\****

1.1 Экспериментально исследуйте зависимость объема вытекшей жидкости от времени  $V(t)$ , постройте график полученной зависимости.

1.2 Предложите простую формулу, описывающую полученную зависимость. Найдите их численные значения, объясните их физический смысл.

1.3 На основании полученной зависимости, укажите, можно ли считать расход жидкости  $q$  не зависящим от высоты уровня воды  $H$  в бутылке.

1.4 Дайте качественное объяснение полученной зависимости.

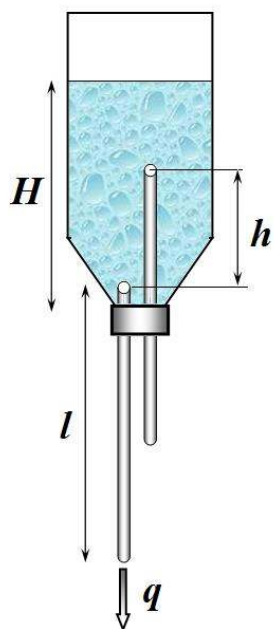
#### **Часть 2. От чего зависит расход?**

В данной работе используйте основной вывод Части 1, позволяющий рассчитывать расход по «одной точке» - измерять время вытекания  $t$  фиксированного объема жидкости (например  $V = 100$  мл).

2.1 Исследуйте зависимость расхода вытекающей жидкости  $q$  от разности уровней трубок  $h$ . Постройте график полученной зависимости.

2.2 Предложите простую формулу, описывающую полученную зависимость. Найдите их численные значения, объясните их физический смысл.

2.3 Дайте качественное объяснение полученной зависимости и численных значений ее параметров (хотя бы некоторых).



## Решение

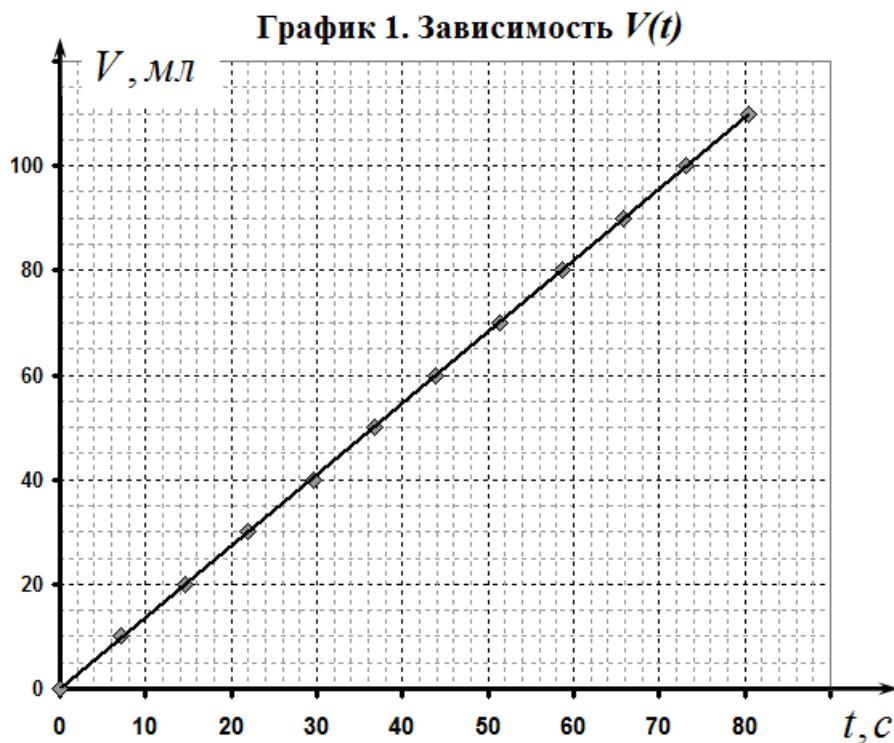
### Задание 9.1 Вытекание из бутылки.

#### Часть 1. Закон вытекания.

1.1 Результаты измерений зависимости объема вытекающей жидкости  $V(t)$  от времени приведены в таблице 1 и на графике 1. Измерения проведены при разности уровней трубок в сосуде  $h = 5,5$  см

Таблица 1.

| <b><math>V</math>, мл</b> | <b><math>t</math>, сек</b> |
|---------------------------|----------------------------|
| 0                         | 0,00                       |
| 10                        | 7,11                       |
| 20                        | 14,58                      |
| 30                        | 22,02                      |
| 40                        | 29,54                      |
| 50                        | 36,76                      |
| 60                        | 43,81                      |
| 70                        | 51,29                      |
| 80                        | 58,66                      |
| 90                        | 65,75                      |
| 100                       | 73,18                      |
| 110                       | 80,37                      |



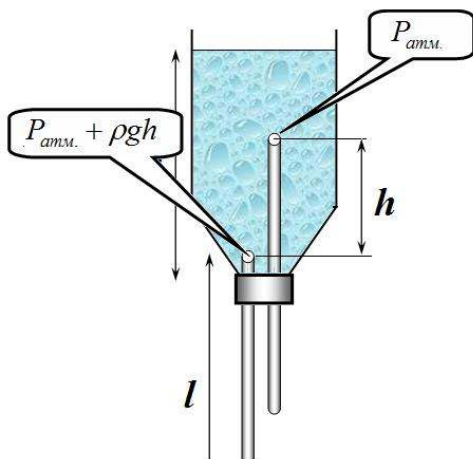
1.1 Данная зависимость с высокой степенью точности является прямо пропорциональной вида

$$V = qt. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности имеет очевидный смысл расхода жидкости  $q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ . Его численное значение в данном случае можно определить по наклону графика, он равен  $q = 1,37 \frac{\text{мл}}{\text{с}}$ .

1.3 Так полученная зависимость линейна, то скорость вытекания является постоянной, несмотря на то, что в процессе вытекания уровень жидкости в сосуде  $H$  заметно изменяется.

1.4 Разумно предположить, что скорость вытекания определяется разностью давления на концах трубки, через которую вытекает вода. Давление воды на верхнем срезе верхней трубки примерно равно атмосферному давлению. Поэтому давление на нижнем уровне нижней трубки остается постоянным и не зависящем от уровня жидкости в бутылке.



**Часть 2. От чего зависит расход?**

2.1 В таблице 2 показаны результаты измерений зависимости времени вытекания  $t$  жидкости объемом  $V_0 = 100$  мл от разности уровней трубок  $h$ . Измерения проведены дважды (от участников достаточно одной серии измерений). Расход рассчитан по формуле  $q = \frac{V_0}{\langle t \rangle}$ , где  $\langle t \rangle$  - среднее время вытекания при заданном значении  $h$ . График зависимости  $q(h)$  показан на рисунке.

**Таблица 2.**

| $h$ , мм | $t_1$ , с | $t_2$ , с | $\langle t \rangle$ , с | $q$ , $\frac{\text{мл}}{\text{с}}$ |
|----------|-----------|-----------|-------------------------|------------------------------------|
| 55       | 73,18     | 72,02     | 72,60                   | 1,38                               |
| 45       | 76,06     | 75,32     | 75,69                   | 1,32                               |
| 35       | 81,8      | 81,51     | 81,66                   | 1,22                               |
| 25       | 91,36     | 87,81     | 89,59                   | 1,12                               |
| 15       | 96,31     | 95,58     | 95,95                   | 1,04                               |
| 5        | 105,64    | 107,04    | 106,34                  | 0,94                               |

Полученная зависимость является линейной, но не прямо пропорциональной. Она описывается функцией

$$q = ah + b \quad (2)$$

Параметры этой зависимости, найденные из графика равны

$$a = 8,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{мл}}{\text{с} \cdot \text{мм}},$$

$$b = 0,90 \frac{\text{мл}}{\text{с}}.$$

Данную зависимость удобно представить в виде

$$q = ah + b = a(h + l') \quad (3)$$

В такой записи параметр  $l' = \frac{b}{a} \approx 10$  см.

Полученная зависимость качественно объясняется следующим образом: расход жидкости пропорционален разности давлений на концах трубки, которая примерно равна гидростатическому давлению столба воды высотой  $h + l$ , где  $l$  - длина трубки. Отличие полученного значения  $l'$  от длины трубки  $l \approx 6$  см объясняется дополнительным давлением, создаваемым струей вытекающей воды (тем самым увеличивается эффективная длина трубки). Параметрам  $a$  и  $b$  в зависимости (2) также можно приписать определенный физический смысл:

$b$  - расход жидкости при  $h = 0$ , в этом случае разность давлений создается только жидкостью в трубке, через которую течет вода. Такой эксперимент можно провести, в этом случае нельзя заранее предсказать, через какую из двух трубок потечет вода.

$a$  - расход жидкости через трубку, если разность давлений на ее концах создается водяным столбом в 1 мм.

