

Экспериментальный тур

(Решение)

Часть 1.

1. Необходимо экспериментально получить закон движения стержня. В данном эксперименте предпочтительнее измерять времена, за которые стержень проходит фиксированные участки пути. В таблице 1 приведены результаты таких измерений. На рис. Построен график закона движения, построенный по этим данным.

Таблица 1.

$x, \text{ см}$	$t, \text{ с}$
0	0
1	6,9
2	14,3
3	21,8
4	29,2
5	36,8
6	44,1
7	51,0
8	58,4
9	65,7
10	72,2
11	79,0
12	85,9
13	92,9
14	100,3
15	107,7
16	114,6

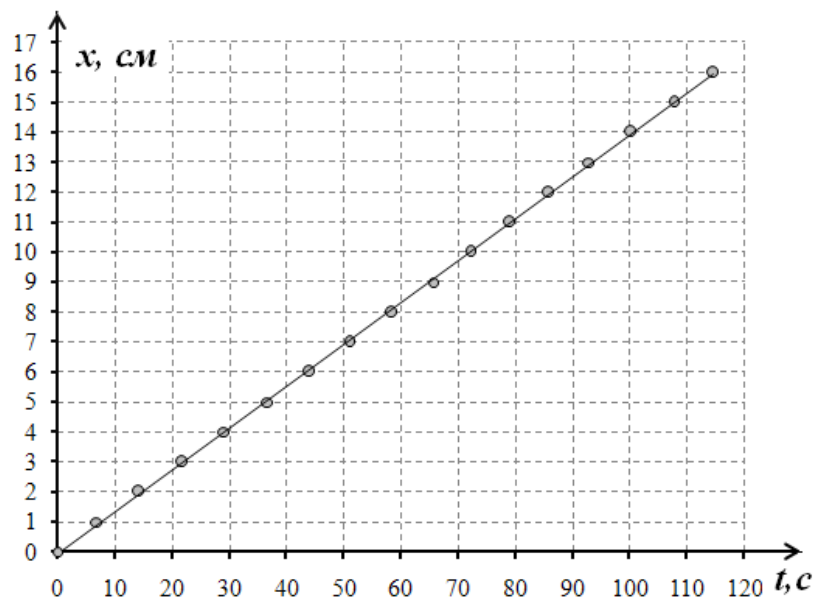


Рис.1 Закон движения металлического стержня

Точки графика хорошо ложатся на прямую линию, что доказывает равномерность движения стержня. Наиболее точным методом расчета средней скорости движения является метод наименьших квадратов. Коэффициент наклона графика равен средней скорости. Расчеты приводят к следующему результату

$$V = (0,140 \pm 0,01) \text{ см/с}$$

2. В данной части работы необходимо несколько раз измерить времена прохождения заданного отрезка пути, причем для повышения точности измерения длина последнего должна быть не менее 10 см. В Таблице 2 приведены результаты измерений времен t для стержней разных диаметров и проведенных расчетов скоростей V .

Таблица 2.

$d, \text{мм}$	$x, \text{см}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$\langle t \rangle, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$	$V, \text{см/с}$	$\Delta V, \text{см/с}$
4,0	10	77,5	76,6	81,7	78,60	5,4	0,13	0,01
3,5	10	11,7	11,6	12,0	11,76	0,48	0,85	0,03
3,0	10	3,4	3,3	3,3	3,35	0,12	2,99	0,11
2,5	20	3,3	3,5	3,2	3,33	0,30	6,01	0,54

Для вычисления скоростей использована формула

$$V = \frac{x}{\langle t \rangle}, \quad (1)$$

где $\langle t \rangle$ – среднее значение измеренных времен движения.

Погрешности измерений рассчитаны по формулам

$$\Delta t = 2 \sqrt{\frac{\sum (t_i - \langle t \rangle)^2}{n}}, \quad \Delta V = V \frac{\Delta t}{\langle t \rangle} \quad (2)$$

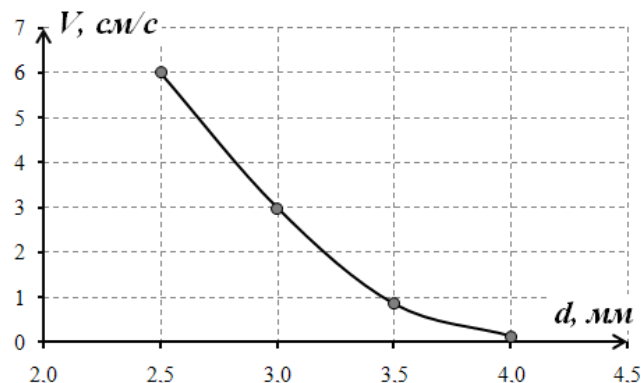


Рис. 2 Зависимость скорости стержня от его диаметра

На рис.2 представлен график полученной зависимости.

3. Для проверки применимости приведенной в условии формулы необходимо построить зависимость скорости от разности диаметров трубки и стержня в логарифмическом масштабе. Этот график показан на рис. 3.

Линейность полученного графика свидетельствует о наличии степенной зависимости между данными величинами, то есть о применимости формулы (1), приведенной в условии задачи.

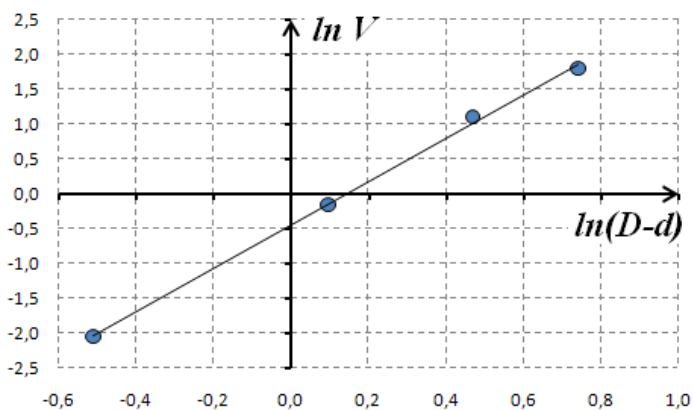


Рис.3 Зависимость скорости стержня от толщины зазора (логарифмический масштаб)

Возможно, что последняя точка графика слегка отклоняется от линейной зависимости, что объясняется большей толщиной зазора.

4. Показатель степени в формуле (1) равен коэффициенту наклона графика 3. Расчет по методу наименьших квадратов приводит к следующему значению

$$\gamma = 3,11 \pm 0,16$$

5. При опускании цилиндра жидкость, находившаяся внизу должна протечь между боковой поверхностью цилиндра и внутренней стенкой трубки (рис. 4). На жидкость действуют силы вязкого трения, для их преодоления должно возникнуть дополнительная разность давлений между нижним и верхним основаниями цилиндра $\Delta P = P_0 - P_1$. Эта дополнительная разность давлений и создаст дополнительную силу, действующую на

опускающийся стержень. Кроме того, цилиндр будет тормозить и сила вязкого трения, действующая на его боковую поверхность.

Разумно предположить, что сила вязкого трения, действующая на жидкость в зазоре со стороны стенок, пропорциональна средней скорости протекания этой жидкости и обратно пропорциональна толщине зазора

$$F_v = \beta \frac{v}{h} \quad (3)$$

При равномерном протекании жидкости эта сила компенсируется силой разности давлений (весом жидкости в зазоре из-за его малой толщины можно пренебречь)

$$\beta \frac{v}{h} \approx S_1 \Delta P, \quad (4)$$

где $S_1 = 2\pi R h$ - площадь поперечного сечения зазора. Так как стержень движется равномерно, то пренебрегая силой вязкого трения, можно записать

$$mg = S_0 \Delta P, \quad (5)$$

где $S_0 = \pi R^2$ - площадь поперечного сечения стержня. Из формул (4)-(5) следует, что средняя скорость течения жидкости в зазоре равна

$$v = \frac{mg}{R\beta} h^2 \quad (6)$$

Скорость опускания стержня u связана со средней скоростью жидкости в зазоре соотношением $S_0 u = S_1 v$, поэтому

$$u = \frac{2h}{R} v \sim h^3. \quad (7)$$

Полученные результаты в пределах погрешности подтверждает данную зависимость.

Часть 2.

1. Методика выполнения данного пункта аналогична выполнению п.1 первой части. В Таблице 3 приведены данные измерения закона движения деревянной палочки, график которого показан на рис. 5.

Таблица 3.

$x, \text{ см}$	$t, \text{ с}$
0	0,0
1	13,1
2	25,6
3	37,0
4	48,8
5	61,3
6	73,9
7	86,1
8	98,2
9	109,6
10	121,7
11	134,0
12	146,0

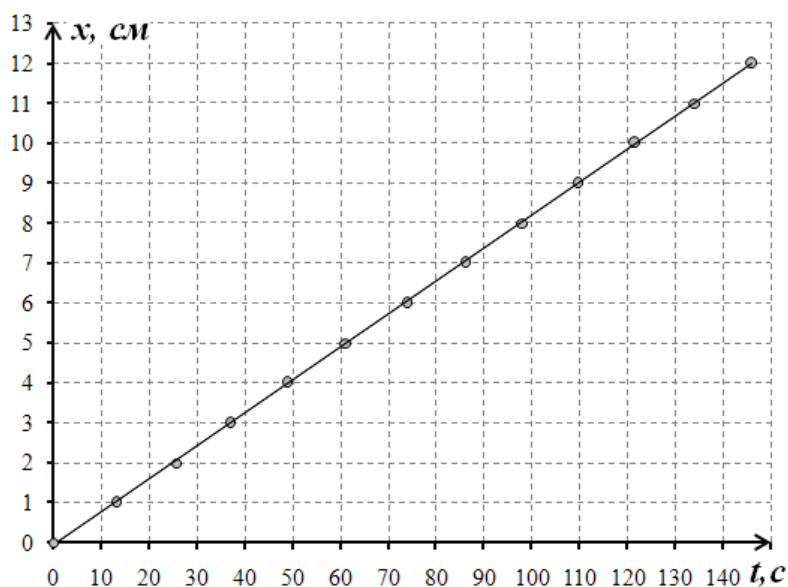


Рис.5 Закон движения деревянной палочки

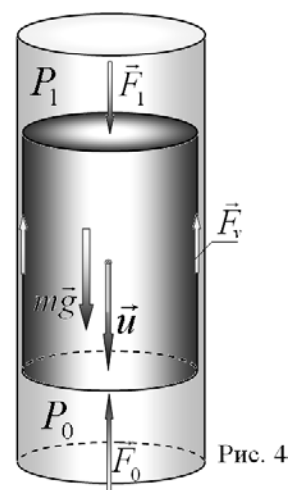


Рис. 4

Видно, что деревянная палочка также всплывает равномерно. Средняя скорость ее движения рассчитанная по данным Таблицы 3 методом наименьших квадратов равна

$$V = (0,0825 \pm 0,0004) \text{ см/с}$$

2. Для измерения скоростей достаточно измерить несколько раз время прохождения заданного участка пути. Результаты измерений показывают, что в пределах погрешности измерений скорость всплывания не зависит от длины стержня и оказывается равной

$$V = (0,08 \pm 0,01) \text{ см/с}$$

Поэтому график «зависимости» является горизонтальной прямой.

3. В данном случае радиусы всех стержней одинаковы. Очевидно, что сила вязкого трения пропорциональна длине стержня $\beta \sim l$. Масса стержня и разность давлений также пропорциональны длине l . Поэтому, из формулы (6) следует, что скорость течения жидкости и, следовательно, скорость движения стержня не зависят от его длины.