

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТУРА**Закон Архимеда (15,0 балла)****Часть 1. Параметры установки**

1.1 Полоску миллиметровой бумаги накручиваем на пробирку, делаем отметки, раскручиваем и получаем длины 1,2,3 и 4 оборотов.

Получаем значения

$$l_1 = 63 \text{ мм}$$

$$l_2 = 127 \text{ мм}$$

$$l_3 = 191 \text{ мм}$$

$$l_4 = 255 \text{ мм}$$

По этим данным находим, что длина одного оборота равна $\langle l \rangle = (64,0 \pm 0,3) \text{ мм}$

Диаметр рассчитываем по формуле

$$D = \frac{\langle l \rangle}{\pi} = 20,372 \text{ мм}. \text{ Погрешность измерения диаметра } \Delta D = D \frac{\Delta l}{\langle l \rangle} = 0,1 \text{ мм}$$

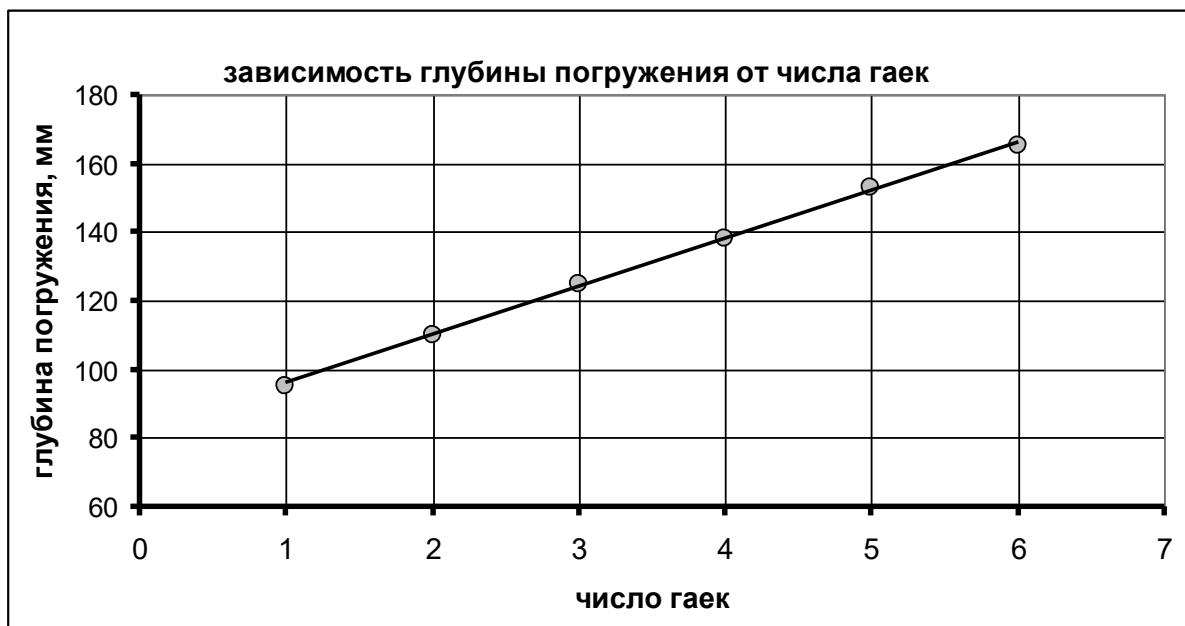
Итоговое значение $D = (20,4 \pm 0,1) \text{ мм}$

1.2 Длина пробирки $L = (175 \pm 1) \text{ мм}$

1.3.1 – 1.3.2. Зависимость глубины погружения пробирки от числа гаек, помещенных в пробирку, приведена в Таблице 1. Сначала измерялась высота выступающей над водой пробирки x . А затем рассчитывалась глубина погружения по формуле $h = L - x$. Ниже показан график полученной зависимости.

Таблица 1.

Число гаек	x , мм	h , мм
1	80	95
2	65	110
3	50	125
4	37	138
5	22	153
6	10	165



Полученная зависимость линейна и описывается формулой

$$h = an + b \quad (1)$$

Параметры зависимости, рассчитанные по МНК, равны

$$a = (14,1 \pm 0,5) \text{ мм} \quad (2)$$

$$b = (81,8 \pm 1,8) \text{ мм} \quad (2)$$

1.3.3 Теоретическая формула для полученной зависимости следует из условия равновесия

$$(M + mn)g = \rho S h d \Rightarrow h = \frac{M + mn}{\rho S} \quad (3)$$

где $S = \frac{\pi D^2}{4}$ - площадь поперечного сечения пробирки.

Из сравнения выражений (3) и (1) следует, что

$$a = \frac{m}{\rho S} \Rightarrow m = \rho S a \quad (4)$$

Численные расчеты приводят к результату

$$m = \rho \frac{\pi D^2}{4} a = 4,58 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 4,58 \text{ г} \quad (5)$$

Погрешность измерения массы гайки рассчитывается по формуле

$$\Delta m = m \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta D}{D}\right)^2} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \quad (6)$$

Окончательное значение массы гайки

$$m = (4,58 \pm 0,16) \text{ г} \quad (7)$$

Масса пробирки рассчитывается по формуле

$$b = \frac{M}{\rho S} \Rightarrow M = \rho S b = \rho \frac{\pi D^2}{4} b = 2,67 \cdot 10^{-2} \text{ кг} = 26,7 \text{ г}$$

Погрешность расчета массы пробирки

$$\Delta M = M \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta D}{D}\right)^2} = 0,6 \text{ г} \quad (8)$$

Для упрощения дальнейших расчетов, заметим, что отношение параметров линейной зависимости (2) равно отношению масс пробирки и гайки:

$$n^* = \frac{M}{m} = \frac{b}{a} = 5,82 \quad (9)$$

Часть 2. Колебания пробирки

2.1 Для упрощения расчетов формулу для периодов колебаний можно переписать в виде

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{h_0}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{an + b}{g}} \quad (10)$$

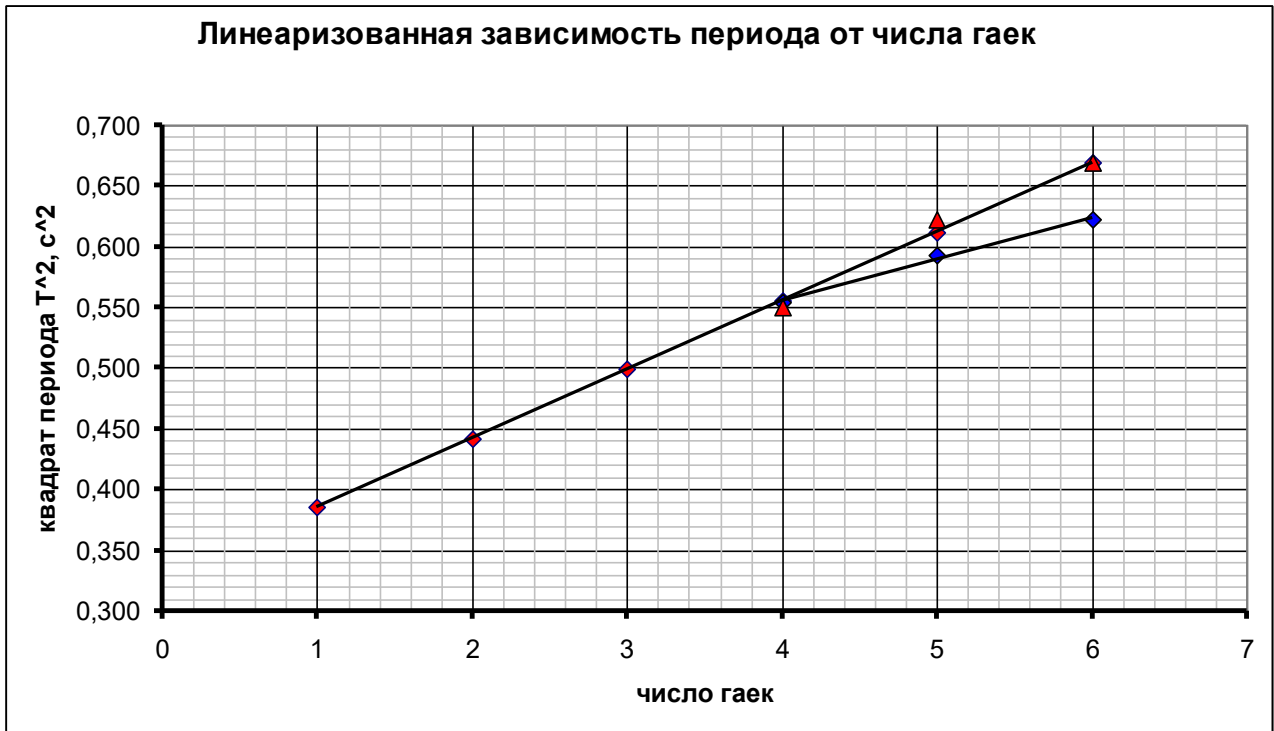
Для линеаризации зависимости следует строить и анализировать зависимость квадрата периода от числа гаек $T^2(n)$.

Результаты расчетов приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

Число гаек	T, c	T^2, c^2
1	0,680	0,463
2	0,717	0,514
3	0,752	0,565
4	0,785	0,617
5	0,817	0,668
6	0,848	0,720

График зависимости показан на рисунке



2.2 Результаты измерений приведены в таблицах.

Погрешность измерения периода оценивалась по формуле

$$\Delta t = 2 \sqrt{\frac{\sum_k (t_k - \langle t \rangle)^2}{N(N-1)}} ; \quad \Delta T = \frac{\Delta t}{k} \tag{11}$$

Где t - время измерения k периодов колебаний (в данном случае $k = 3$), $N = 10$ - число измерений.

Таблица 3. Колебания в широком сосуде

Число гаек	Число периодов	Время t, c	Период T, c	Средний период $\langle T \rangle, c$	Погрешность периода ΔT	Квадрат периода T^2, c^2
4	5	3,74	0,748	0,744	0,009	0,554
	5	3,64	0,728			
	5	3,77	0,754			
	5	3,71	0,742			
	5	3,74	0,748			
5	5	3,93	0,786	0,770	0,010	0,594
	5	3,81	0,762			
	5	3,89	0,778			
	5	3,83	0,766			
	5	3,80	0,760			
6	5	3,93	0,786	0,789	0,010	0,622
	5	3,93	0,786			
	5	4,04	0,808			
	5	3,93	0,786			
	5	3,89	0,778			

Таблица 3. Колебания в узком сосуде

Число гаек	Число периодов	Время t, c	Период T, c	Средний период $\langle T \rangle, c$	Погрешность периода ΔT	Квадрат периода T^2, c^2
4	3	2,21	0,74	0,742	0,014	0,551
	3	2,25	0,75			
	3	2,27	0,76			
	3	2,20	0,73			
	3	2,20	0,73			
5	3	2,38	0,79	0,789	0,015	0,623
	3	2,37	0,79			
	3	2,34	0,78			
	3	2,42	0,81			
	3	2,33	0,78			
6	2	1,61	0,81	0,818	0,036	0,669
	2	1,59	0,80			
	2	1,66	0,83			
	2	1,63	0,82			
	2	1,69	0,85			

2.4 Какие причины могут объяснить отличия экспериментальных данных от теоретических расчетов?

Таблица 4.

№	Возможная причина	«ДА»	«НЕТ»
1	Погрешности измерений	X	
2	Затухание колебаний		X
3	Увеличение эффективной массы движущейся пробирки за счет движения воды		X
4	Изменение давления под пробиркой при ее движении по сравнению с гидростатическим давлением	X	
5	Силы поверхностного натяжения		X

Комментарии:

1. На погрешности можно списать все, что угодно.
- 2,3 Эти причины должны приводить к увеличению периода, а не к его уменьшению.
4. По-видимому, основная причина, приводящая к уменьшению периода.
5. Слишком малые силы.

Схема оценивания «Архимед»

Часть 1. Параметры установки

№	Критерии оценивания	Всего	Баллы
1.1	Измерения диаметра	0,9	
	- схема измерений: - накрутка на пробирку (2-3 оборота; <i>1 оборот</i>); - «прокатка»; - <i>прямое измерение диаметра</i> ;		0,2 (0,1) (0,1) (0,1)
	Результаты измерений: - длина окружности в диапазоне 63-66 мм (<i>61-68мм, вне диапазона</i>)		0,2 (0,1; 0)
	Расчет диаметра: - формула: - численное значение (в соответствии с предыдущим пунктом)		0,1 0,2 (0,1; 0)
	Расчет погрешности менее 0,25-0,35 мм (<i>иное</i>)		0,1 (0)
	Правильно округленный результат*		0,1
1.2	Измерение длины пробирки	0,3	
	- длина в диапазоне 170-180 мм (<i>иное</i>) - погрешность 1 мм (<i>иное</i>)		0,1 (0) 0,1 (0)
	Правильно округленный результат*		0,1
1.3.1	Результаты измерений глубины погружения	1,8	
	Результаты отличаются от табличных ± 2 мм (± 4 мм, <i>больше</i>)		1,2 (0,6; 0)
	Число точек* 6 (3, <i>менее</i>)		0,6 (0,3, 0)
1.3.2	Построение графика и расчет параметров зависимости (оценивается, если оценен пункт 1.3.1)	1,0	
	- оси подписаны и оцифрованы; - точки нанесены в соответствии с таблицей;		0,1 0,2
	параметры зависимости: - вид зависимости – линейная функция - оценка параметров; - оценка погрешности;		0,1 2x0,2 2x0,2
1.3.3	Расчет масс гайки и пробирки: (оценивается, если оценен пункт 1.3.1)	2,0	
	- формула для теоретической зависимости		0,4
	- формулы для расчета масс через параметры линейной зависимости;		2x0,2
	- расчет массы гайки: отличия от табличных 10% (20%, <i>более</i>)		0,4 (0,2, 0)
	- погрешность массы гайки: учтены погрешности коэффициента наклона и диаметра (<i>только одна погрешность</i>)		0,2 (0,1)
	- расчет массы пробирки: отличия от табличных 10% (20%, <i>более</i>)		0,4 (0,2, 0)
	- погрешность массы пробирки: учтены погрешности коэффициента наклона и диаметра (<i>только одна погрешность</i>)		0,2 (0,1)

* - оценивается, если оценены результаты измерений;

Часть 2 Измерения периодов колебаний

№	Критерии оценивания	Всего	Баллы
2.1	Теоретическая зависимость	1,2	
	- формула для периода $T(n)$ через измеренные параметры		0,2
	- проведен расчет для периодов		6x0,1
	- линеаризация $T^2(n)$ (иная)		0,1(0)
	Построение графика: - оси подписаны и оцифрованы; - точки нанесены в соответствии с таблицей;		0,1 0,2
2.2	Формула для расчета погрешностей периода: - уменьшение случайной погрешности при увеличении числа измерений; - модуль среднего отклонения от среднего;		0,2 (0,1)
	Колебания в широком сосуде	3,0	
	Результаты измерений в диапазоне $\pm 20\%$ ($\pm 30\%$, более)		3x0,3 (0,2; 0)
	Проведено более 6 измерений (более 4, менее)*		3x0,3 (0,2; 0)
	Проведены расчеты периодов*		3x0,1
	Проведены расчеты погрешностей*		3x0,1
	Точки нанесены на график в соответствии с таблицей*		0,2
	Указаны на графике погрешности измерений*		0,2
	Найдены периоды колебаний меньше теоретических (более чем на 0,1 с)*		0,2
	Колебания в узком сосуде	3,3	
	Результаты измерений в диапазоне $\pm 20\%$ ($\pm 30\%$, более)		3x0,3 (0,2; 0)
	Проведено более 7 измерений (более 4, менее)*		3x0,3 (0,2; 0)
	Проведены расчеты периодов*		3x0,1
	Проведены расчеты погрешностей*		3x0,1
	Точки нанесены на график в соответствии с таблицей*		0,2
	Указаны на графике погрешности измерений*		0,2
	Периоды колебаний близки к теоретическим (различия не более 0,2с)*		0,3
	Периоды колебаний в разных сосудах близки (отличия не более 0,2 с)*		0,2
2.4	Причины отклонений	1,5	
	- каждый правильный ответ		5x0,3
	ВСЕГО	15	

* - оценивается, если оценены результаты измерений