



Республиканская физическая олимпиада 2025 года (Заключительный этап)

Экспериментальный тур

Решения задач 10 класс (для жюри)

Уважаемые члены жюри!

Задачи, предложенные школьникам для решения на олимпиаде, не стандартные и достаточно сложные. Предложенные здесь варианты путей решений не являются единственно возможными. Участники олимпиады могут предложить свои способы решения. Если эти способы приводят к правильным ответам и физически обоснованы, то задача (или ее отдельные пункты) должны оцениваться максимальными баллами.

Не забывайте, что Вы должны оценивать не только конечные ответы, но и отдельные правильные шаги в ходе решения!



***Не жалейте баллов (если, конечно, есть за что!) для наших
замечательных школьников!***

Задание 1. Магнитная вязкость (Решение)

Часть 1. Скатывание

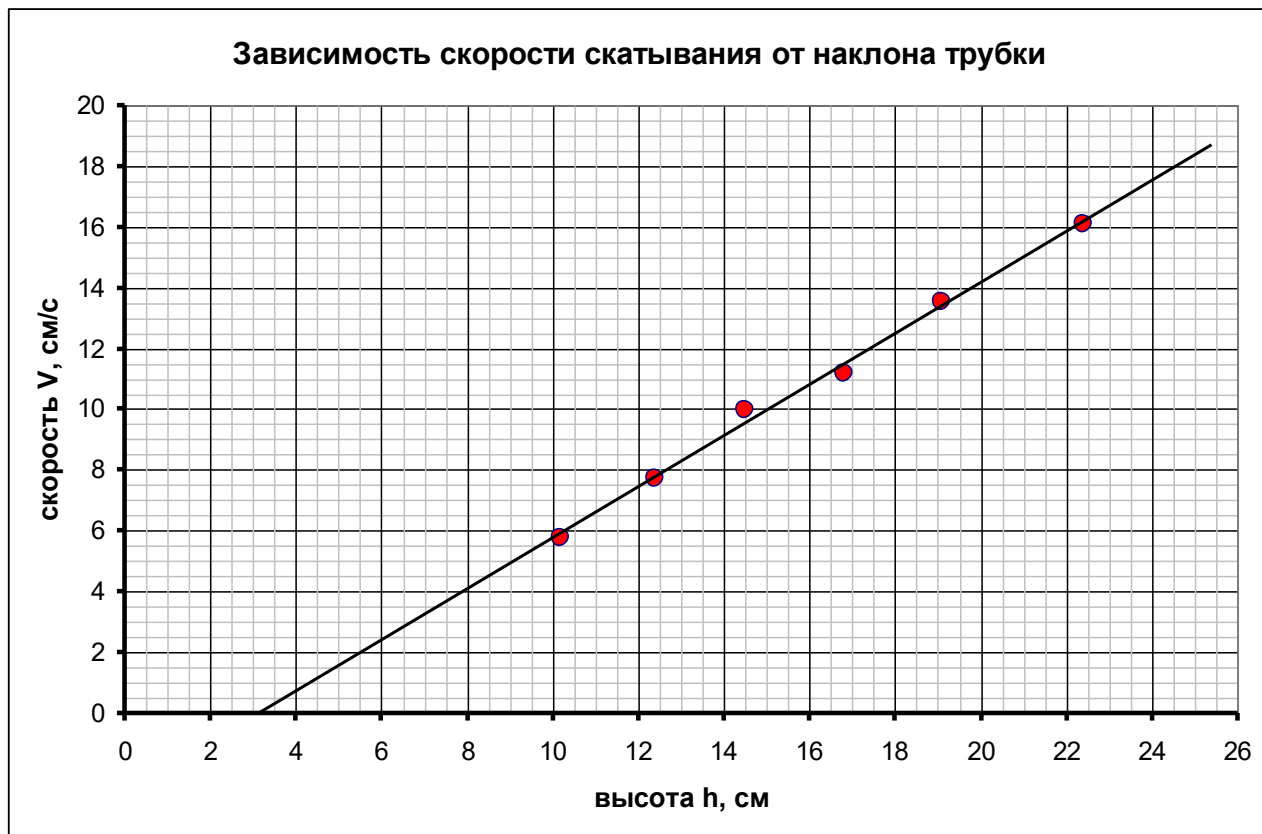
1.1 После недолгих раздумий, можно прийти к выводу, что скорость рассчитывается по формуле

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

1.2 Для выполнения данного пункта необходимо провести измерения времен скатывания шарика при различных значениях высоты h . При каждой высоте необходимо провести несколько измерений, провести их усреднение, по среднему значению рассчитать скорость движения шарика. Результаты измерений и расчетов приведены в Таблице 1 и на графике.

Таблица 1. Скатывание шарика.

Высота h , см	времена скатывания, с						скорость V , см/с
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	среднее	
10,2	8,63	8,70	8,65	8,61	8,62	8,642	5,79
12,4	6,45	6,60	6,47	6,46	6,45	6,486	7,71
14,5	4,97	5,04	5,09	4,92	5,09	5,022	9,96
16,8	4,38	4,64	4,51	4,32	4,48	4,466	11,20
19,1	3,64	3,69	3,77	3,66	3,72	3,696	13,53
22,4	3,08	3,11	3,10	3,12	3,14	3,110	16,08



1.3 Оценим погрешность измерения скорости, например, для $h = 12,4 \text{ см}$. Измерение времени есть прямое измерение. Поэтому для оценки погрешности следует использовать формулу

$$\Delta t = 2 \sqrt{\frac{\sum_k (t - \langle t \rangle)^2}{N(N-1)}}. \quad (2)$$

В данном случае эта величина равна $\Delta t = 0,057 \text{ с}$, относительная погрешность равна $\varepsilon = 0,9\%$. Относительная погрешность измерения длины трубки $\varepsilon_L = \frac{0,1 \text{ мм}}{500 \text{ мм}} 100\% = 0,02\%$.

Что значительно меньше погрешности измерения времени. Поэтому относительная погрешность измерения скорости, следовательно, абсолютная погрешность измерения скорости равна

$$\Delta V = \varepsilon V \approx 0,07 \frac{\text{см}}{\text{с}} \quad (3)$$

1.4 При наличии вязкого трения и при постоянной скорости движения из второго закона движения следует уравнение

$$\beta V = mg \sin \alpha = mg \frac{h}{L}. \quad (4)$$

где α - угол наклона трубки к горизонту.

Из этого уравнения следует, что скорость движения V линейно зависит от высоты h . Эксперимент подтверждает эту зависимость. Следовательно,

формула (1) в данном случае применима.

Однако, полученная прямая не проходит через нуль, что объясняется влиянием силы трения качения. Следовательно

пренебречь трением в данном случае нельзя.

1.5 Коэффициент наклона полученной зависимости, как следует из уравнения (4), равен

$$K = \frac{mg}{\beta L}. \quad (5)$$

Откуда следует, что

$$\beta = \frac{mg}{KL} \Rightarrow \frac{F_0}{mg} = \frac{V_0}{KL}. \quad (6)$$

По экспериментальным данным коэффициент наклона равен $K = 0,84 \text{ с}^{-1}$. Тогда искомое отношение оказывается равным

$$\frac{F_0}{mg} = \frac{V_0}{KL} = \frac{1,0}{0,84 \cdot 50} = 2,4 \cdot 10^{-2}. \quad (7)$$

Часть 2. Соскальзывание двух шариков в трубке.

2.1 Результаты измерений и расчетов скорости приведены в таблице 2.

Таблица 2. Соскальзывание

Высота h , см	времена скатывания, с						скорость V , см/с
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	среднее	
25,5	5,60	5,78	5,44	5,61	5,74	5,634	8,875
26,7	5,41	5,61	5,48	5,41	5,54	5,490	9,107
29,5	4,02	3,86	3,91	4,05	3,99	3,966	12,607
35,8	2,79	2,58	2,6	2,78	2,69	2,688	18,601
40,2	2,19	2,13	2,29	2,19	2,07	2,174	22,999
44,7	1,84	1,90	1,87	1,84	1,86	1,862	26,853

2.2 Для поиска линеаризации запишем уравнение 2 закона Ньютона для данного случая

$$\beta V = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha. \quad (8)$$

Заметим, что в данном случае углы наклона считать малыми нельзя.

Преобразуем уравнение (8) к виду

$$\frac{V}{\cos \alpha} = \frac{mg}{\beta} (tg \alpha - \mu). \quad (9)$$

Из этого выражения следует возможная линеаризация:

$Y = \frac{V}{\cos \alpha}, \quad X = tg \alpha. \quad (10)$
--

Тригонометрические функции угла наклона рассчитываются по очевидным формулам

$$\sin \alpha = \frac{h}{L}, \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}, \quad tg \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}. \quad (11)$$

Расчеты этих величин приведены в Таблице 2.

Таблица 3. Линеаризованная зависимость.

h , см	V , см/с		$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$X = tg \alpha$	$Y = \frac{V}{\sin \alpha}$
25,5	8,875		0,510	0,860	0,593	10,3
26,7	9,107		0,534	0,845	0,632	10,8
29,5	12,607		0,590	0,807	0,731	15,6
35,8	18,601		0,716	0,698	1,026	26,6
40,2	22,999		0,804	0,595	1,352	38,7
44,7	26,853		0,894	0,448	1,995	59,9

График этой зависимости приведен ниже.



2.3 На данном графике коэффициент трения есть координата пересечения графика с осью X . Его значение

$\mu \approx 0,30$	(12)
--------------------	------

2.4 Для максимально точного расчета коэффициента трения следует использовать МНК. Из формулы (9) следует, что коэффициент трения и его погрешность рассчитываются по формулам

$$\mu = -\frac{b}{a}, \quad \Delta\mu = \mu \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2}. \quad (13)$$

где a, b - коэффициенты линеаризованной зависимости.

Расчет коэффициентов дает следующие значения

$$a = (36,8 \pm 1,5) \frac{M}{c}, \quad b = -(10,8 \pm 1,7) \frac{M}{c}. \quad (14)$$

Значение коэффициента трения

$\mu = 0,30 \pm 0,05 \quad \varepsilon = 17\%$	(15)
--	------

Часть 3. Зависимость магнитной силы от числа магнитов.

3.1 Результаты измерений показаны в Таблице 4, ниже построен график полученной зависимости.

Таблица 4.

n	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	среднее	V, см/с	ln(n)	ln Z
1	4,62	4,54	4,50	4,56	4,50	4,544	11,0	0,000	2,398
2	3,69	3,71	3,74	3,75	3,70	3,718	13,4	0,693	2,599
3	3,08	3,04	3,10	3,04	3,10	3,072	16,3	1,099	2,790
4	2,57	2,55	2,46	2,51	2,48	2,514	19,9	1,386	2,990
5	2,29	2,21	2,27	2,25	2,20	2,244	22,3	1,609	3,104



3.2 В очередной раз запишем уравнение второго закона движения

$$\beta n^\gamma V = nmg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha). \quad (16)$$

Из этого уравнения следует, что зависимость скорости от числа шариков имеет вид

$$V = An^{1-\gamma}. \quad (17)$$

По внешнему виду графика можно предположить, что эта зависимость корневая, т.е. $V = A\sqrt{n}$. Тогда в соответствии с формулой (17), следует признать, что

$$\gamma = \frac{1}{2}. \quad (18)$$

Не для всех.

Конечно, наиболее точный метод определения показателя степени – построение графика данной зависимости в логарифмическом масштабе

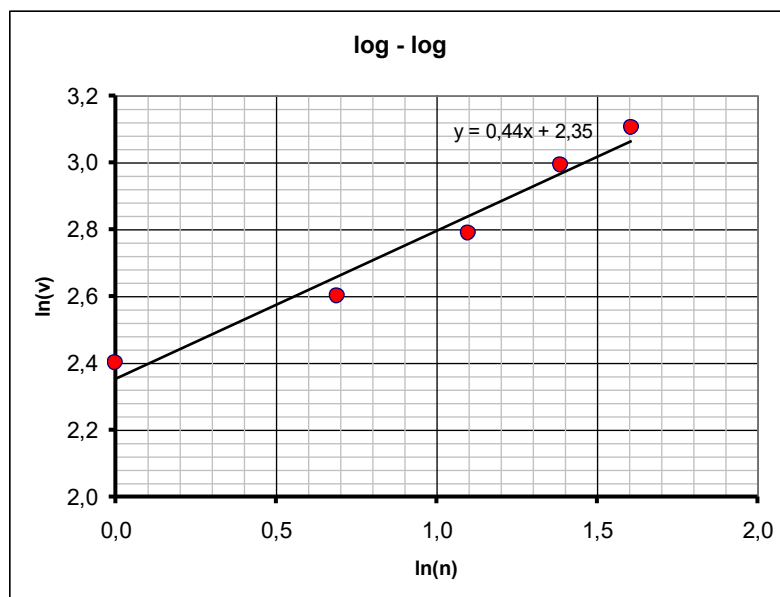
$$\ln V = (1 - \gamma) \ln n + \ln A$$

Коэффициент наклона этого графика равен

$$1 - \gamma = 0,44 \pm 0,09 .$$

$$\text{Или } \gamma = 0,56 \pm 0,09$$

Так, что предположение о корневой зависимости оказывается вполне оправданным.



Задание 2. Несколько опытов со шприцом (Решение)

Данная задача представляет собой несколько модифицированных лабораторных работ из курса физики 10 класса. Правда, некоторые результаты опровергают школьный учебник.

Численные значения результатов измерений сильно зависят от внешних условий (температуры, давления, влажности воздуха, а также качества используемой воды), поэтому все контрольные измерения должны быть проведены непосредственно во время проведения экспериментального тура.