



Республиканская физическая олимпиада 2025 года (Заключительный этап)

Экспериментальный тур

Решения задач 9 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. Квадратная вертушка (Решение).

1. На основании закона равноускоренного движения запишем значения координат тела в два различных момента времени

$$x_1 = v_0 t_1 + \frac{a}{2} t_1^2 \quad (1)$$

$$x_2 = v_0 t_2 + \frac{a}{2} t_2^2$$

Из этой системы уравнений, избавляясь от неизвестной (да и ненужной) начальной скорости, получаем формулу для расчета ускорения

$$a = 2 \frac{\frac{x_2}{t_2} - \frac{x_1}{t_1}}{t_2 - t_1}. \quad (2)$$

2. Ниже приведены Таблицы результатов измерений.

Движение вниз.

Координаты точек фиксации времени $x_1 = -10 \text{ см}$, $x_2 = -20 \text{ см}$.

Таблица результатов измерений времен и расчета ускорений. Для каждой массы груза проведено 3 измерения, для них рассчитаны ускорения, после чего найдено его среднее значение $\langle a \rangle$. Ниже построен требуемый график зависимости ускорения оси вертушки от массы подвешенного груза.

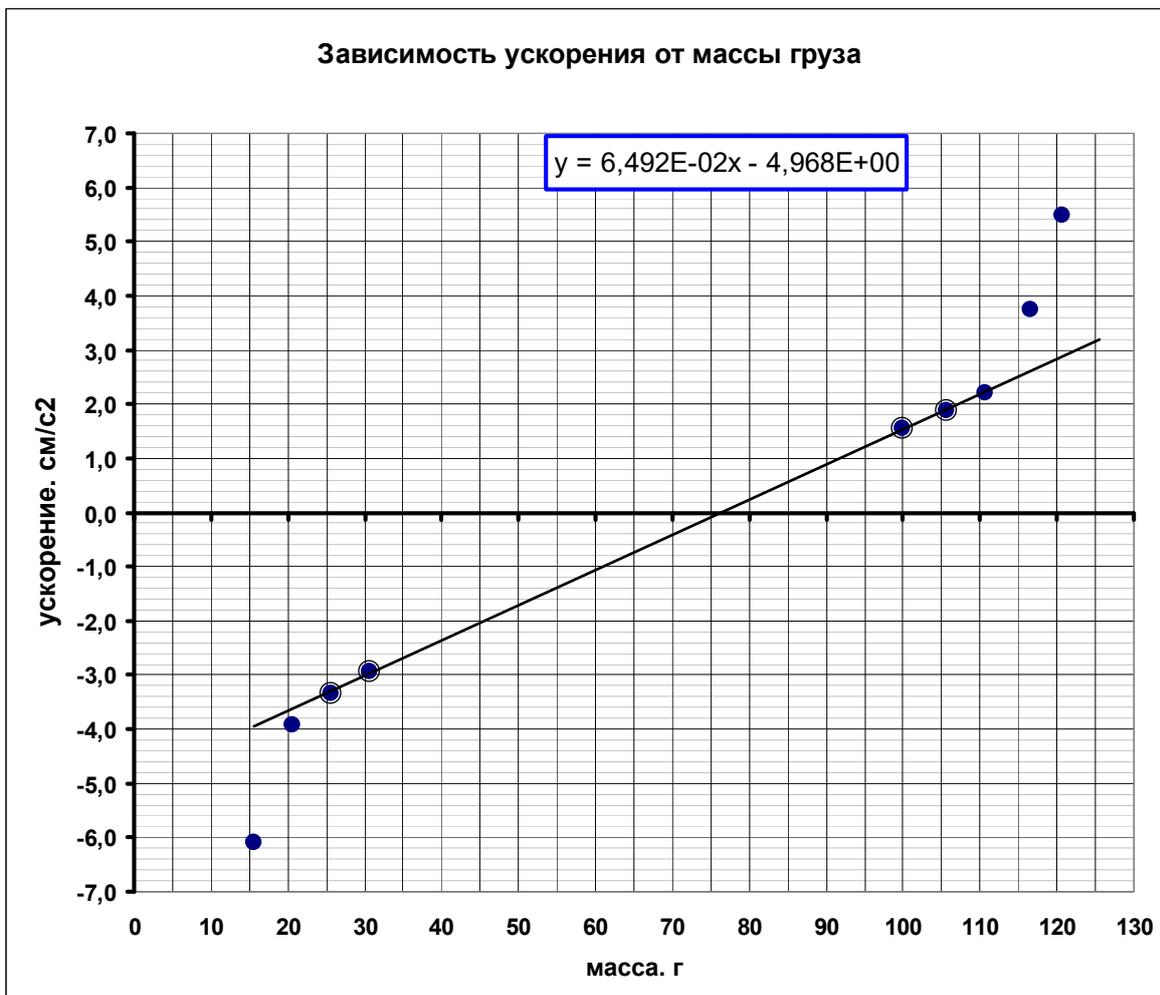
$m, \text{ г}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$a, \text{ см/с}^2$	$\langle a \rangle, \text{ см/с}^2$
11,6	1,19	1,80	-8,878	-9,173
	1,40	1,98	-10,201	
	1,28	1,91	-8,440	
15,6	1,43	2,18	-5,817	-6,086
	1,38	2,10	-6,326	
	1,38	2,11	-6,116	
20,6	1,39	2,30	-3,300	-3,910
	1,53	2,40	-4,132	
	1,48	2,33	-4,299	
25,6	1,68	2,63	-3,478	-3,348
	1,63	2,61	-3,118	
	1,73	2,69	-3,447	
30,6	1,91	2,97	-2,827	-2,939
	1,94	2,97	-3,067	
	1,94	2,99	-2,923	

Движение вниз.

Координаты точек фиксации времени $x_1 = 10 \text{ см}$, $x_2 = 20 \text{ см}$.

Таблица результатов измерений времен и расчета ускорений.

$m, \text{ г}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$a, \text{ см/с}^2$	$\langle a \rangle, \text{ см/с}^2$
120,6	1,14	1,84	5,993	5,481
	1,12	1,80	6,419	
	1,08	1,85	4,030	
115,6	0,96	1,70	3,643	3,755
	0,95	1,69	3,535	
	0,98	1,71	4,087	
110,6	0,91	1,69	2,167	2,216
	0,88	1,66	1,755	
	0,92	1,68	2,724	
105,6	0,84	1,65	0,534	1,870
	0,84	1,65	0,534	
	0,82	1,57	1,450	
100,0	0,75	1,47	0,756	1,540
	0,77	1,48	1,483	
	0,80	1,50	2,381	



3. Отношение радиусов равно отношению длин нитей, намотанных на установку. Измерив длины нитей с помощью мерной ленты, мы нашли, что

$$\frac{R}{r} = 1,60 \quad (3)$$

4. Простое рассмотрение условия равновесия вертушки (см. рис), дает возможность утверждать, что ускорение вертушки будет равно нулю при выполнении условия

$$m(R - r) = Mr \quad (4)$$

Откуда следует, что масса вертушки может быть рассчитана по формуле

$$M = m^{(0)} \left(\frac{R}{r} - 1 \right). \quad (5)$$

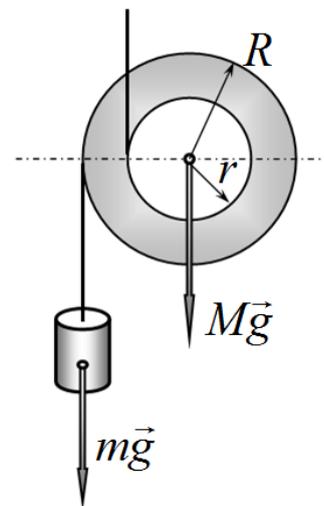
где $m^{(0)}$ - масса груза, при которой его ускорение стремится к нулю

Измерить непосредственно эту массу невозможно.

Поэтому следует на построенном графике следует провести сглаживающую прямую линию, соединяющую обе ветви полученной зависимости (см. график). Конечно, предпочтительнее использовать МНК, однако можно провести ее и «на глаз». Далее следует определить точку ее пересечения с осью абсцисс – и определить искомую массу.

По нашим измерениям эта масса равна $m^{(0)} = 77\text{г}$. Тогда по формуле (5) получаем, что масса вертушки равна

$$M = (30 \pm 5)\text{г}. \quad (6)$$



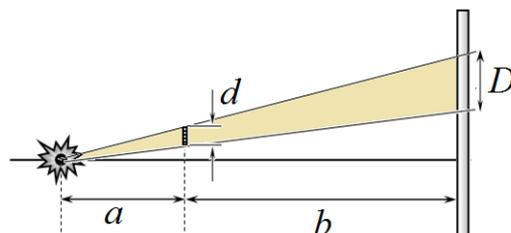
Задание 2. «Интерференция» теней (решение)

Часть 1. Теоретическая.

1.1 Основная идея объяснения и описания наблюдаемого эффекта: каждая лампочка дает на экране свою картину теней, если смещение этих картин равно целому числу периодов изображения, то наблюдается четкая картина теней.

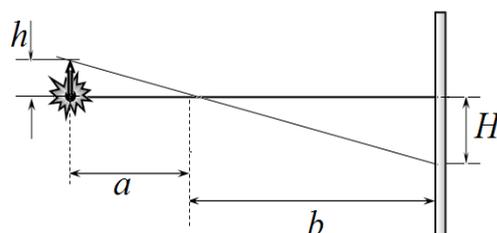
Из рисунка следует, что период тени на экране описывается формулой

$$D = d \frac{a+b}{a}. \quad (1)$$



Из следующего рисунка следует, что смещение теней, созданными двумя лампочками описывается формулой

$$H = h \frac{b}{a}. \quad (2)$$



Условие четкой картинке перекрытия теней имеет вид

$$H = mD \quad (3)$$

Из этих формул следует искомое соотношение

$$h \frac{b}{a} = md \frac{a+b}{a} \Rightarrow \frac{h}{d} = m \frac{a+b}{b}. \quad (4)$$

Из этого соотношения можно легко рассчитать требуемые параметры.

1.2 Параметр m имеет простой смысл – он показывает, на сколько зубьев решетки смещается картина теней при переходе от одной лампочки к другой.

Выразим из формулы (4)

$$m = \frac{h}{d} \frac{b}{a+b}. \quad (5)$$

Так как $\frac{b}{a+b} < 1$, то число возможных положений удовлетворяет неравенству

$$m < \frac{h}{d}. \quad (6)$$

Мы не приводим результаты измерений, так как они сильно зависят от расчески и типа фонарика, которые закупают хозяева олимпиады.

Отметим, что измерения требуют аккуратности и терпения. Методика их проведения подробно изложена в условии задачи. При выполнении рекомендации, изложенных в условии, результаты согласуются с расчетными данными.



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

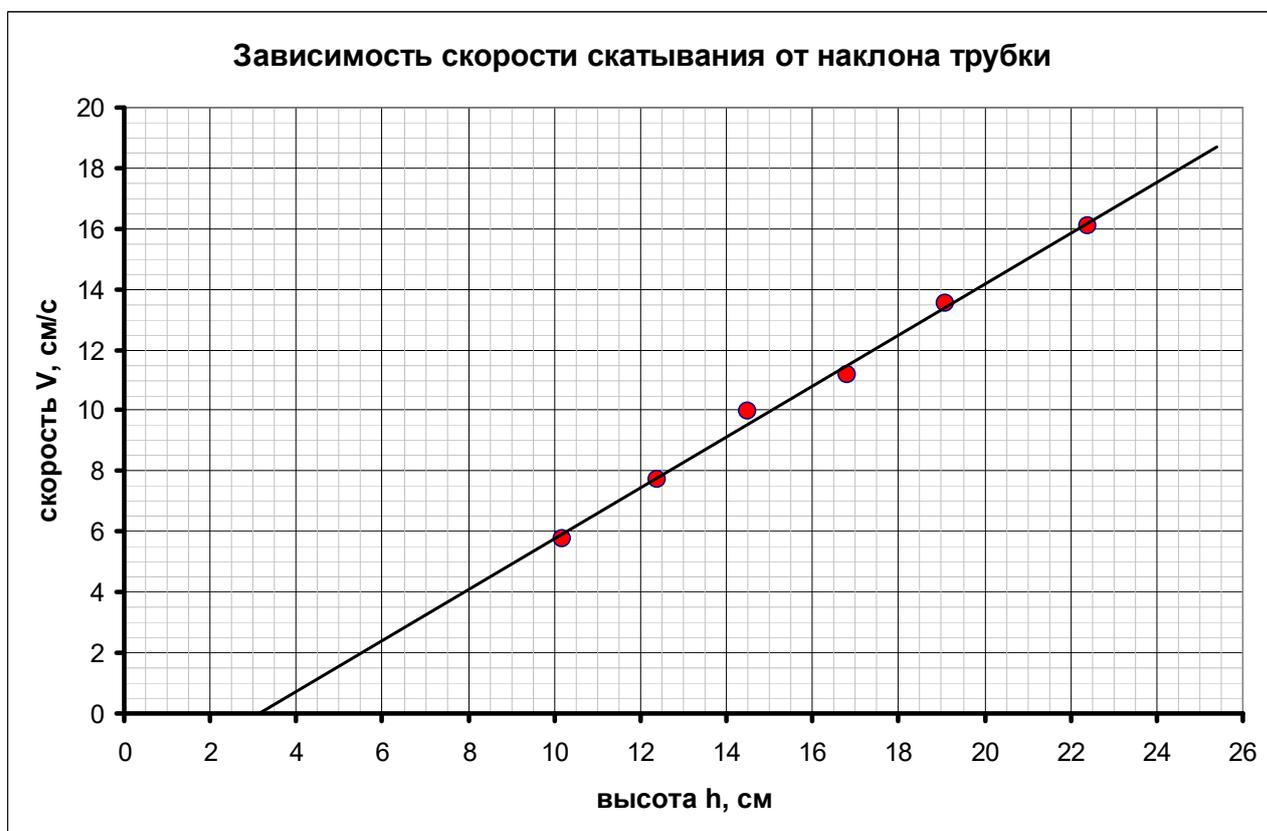
1.1 После недолгих раздумий, можно прийти к выводу, что скорость рассчитывается по формуле

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

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						среднее	скорость V , см/с
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5			
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 $\varepsilon_L = \frac{0,1\text{мм}}{500\text{мм}} \cdot 100\% = 0,02\%$.

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						среднее	скорость V , см/с
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5			
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.

Экспериментальный тур.

10 класс. Решения задач. Бланк для жюри.



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

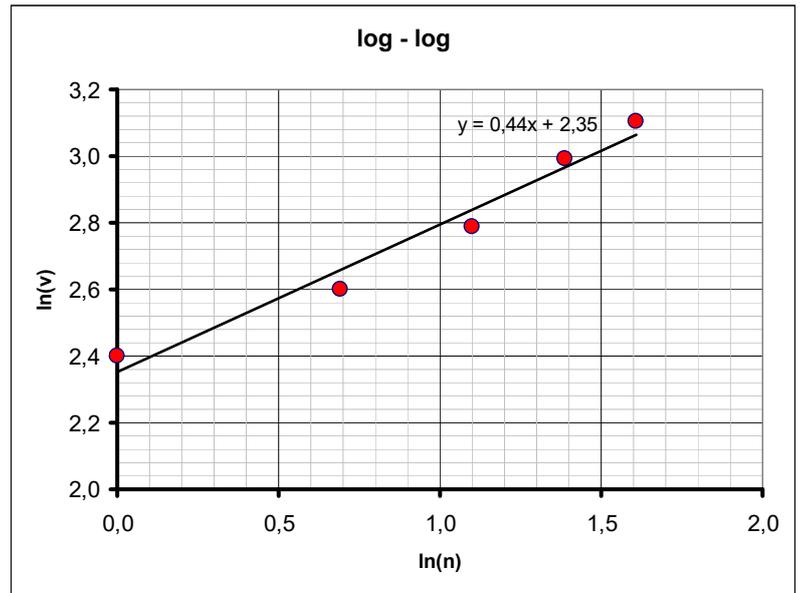
$$\gamma = \frac{1}{2}. \quad (18)$$

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



Республиканская физическая олимпиада 2025 года (Заключительный этап)

Экспериментальный тур

Решения задач 11 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. Неидеальный конденсатор (Решение)

Часть 1. Подготовительная.

1.1 Сопротивление резистора $R_0 = 2,04 \text{ МОм}$

Емкость конденсатора $C = 56,6 \text{ мкФ}$

1.2 Сопротивления мультиметра $R_V = 10,0 \text{ МОм}$.

Для измерений использовалась традиционная схема: измерялось напряжение на элементе питания напрямую и с последовательно подключенным резистором.

1.3 Результаты измерений показаны в таблице

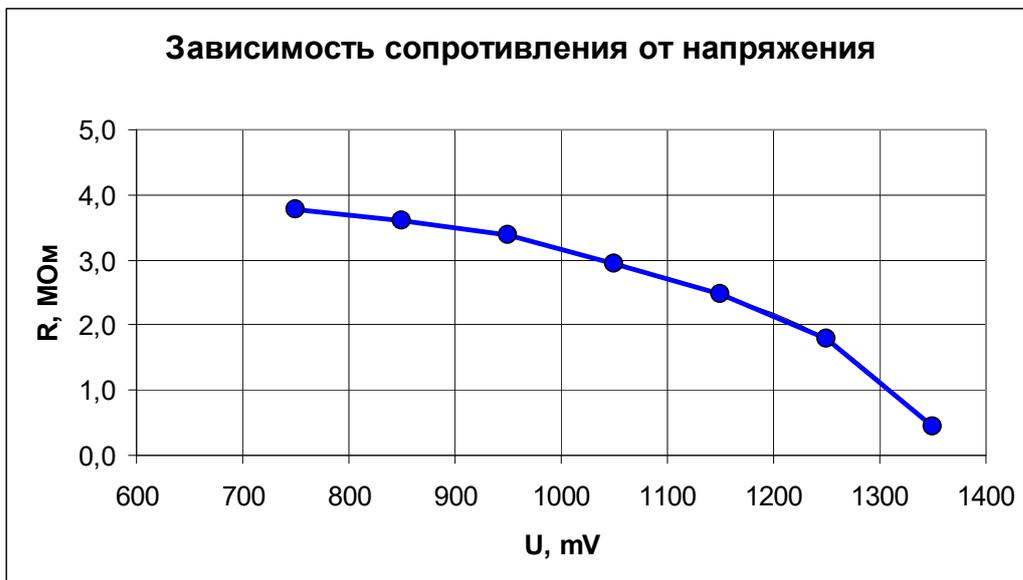
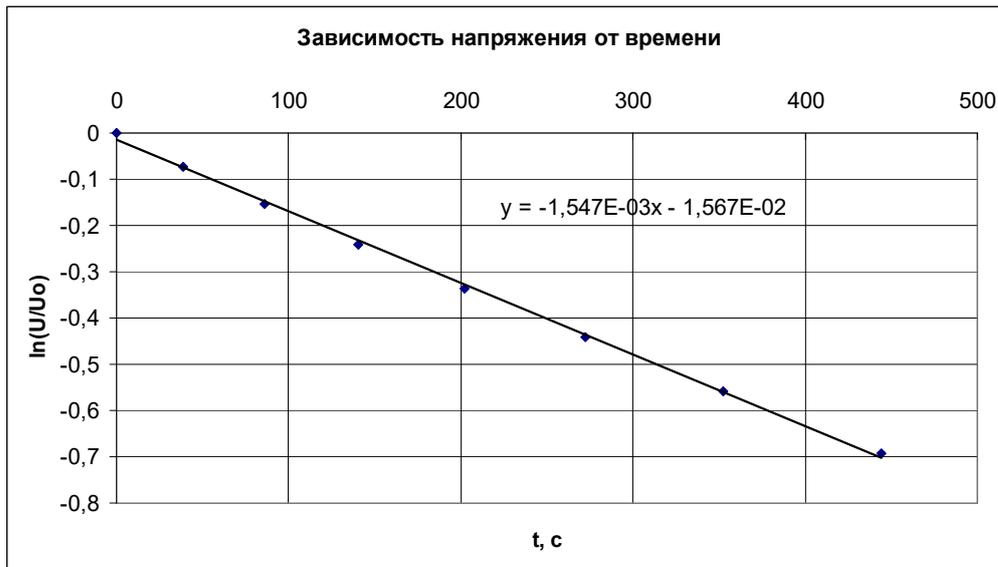
U ₀ =	1,40	I=	1,493E-08	R=	91МОм
U ₁ =	1,32				

U ₀ =	1,00	I=	3,733E-09		R=	265МОм
U ₁ =	0,98					

Часть 2. Разрядка конденсатора через мультиметр

Результаты измерений и расчетов приведены в Таблице и на графиках.

u	min	sek	t	ln u	<u>	R	R _c
1400	0	0	0	0			
1300	0	38,70	38,70	-0,07411	1350	10,444	0,444
1200	1	25,84	85,84	-0,15415	1250	11,779	1,779
1100	2	20,13	140,13	-0,24116	1150	12,479	2,479
1000	3	21,85	201,85	-0,33647	1050	12,951	2,951
900	4	32,30	272,30	-0,44183	950	13,373	3,373
800	5	52,40	352,40	-0,55962	850	13,601	3,601
700	7	24,34	444,34	-0,69315	750	13,771	3,771



Аналогичные результаты получены в Части 3.

Для описания свойств конденсатора к нему надо подключить два резистора: один последовательно, второй параллельно.

Задание 2. Поглощение света (Решение)

Часть 1. Выбор режима работы фотоприемника.

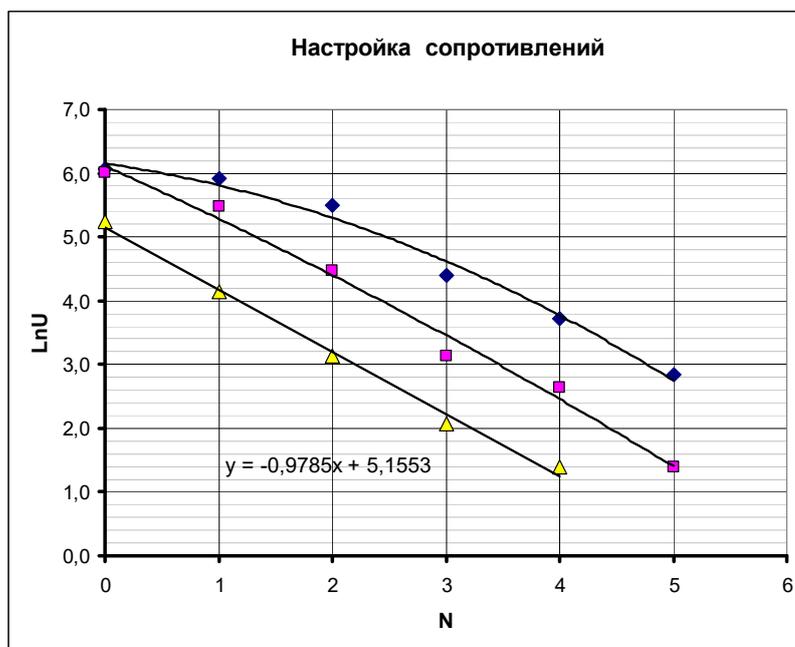
1.1 Результаты измерений напряжений на резисторе от числа N серых пленок приведены в Таблице 1. В последних столбцах таблицы приведены значения логарифмов $\ln(U)$ для трех полученных зависимостей.

Таблица 1

n	$U(20k)$	$U(10k)$	$U(200mV)$	\ln	\ln	\ln
0	427	407	190	6,057	6,009	5,247
1	369	239	63	5,911	5,476	4,143
2	242	88	23	5,489	4,477	3,135
3	82	23	8	4,407	3,135	2,079
4	41	14	4	3,714	2,639	1,386
5	17	4		2,833	1,386	

1.2 Графики полученных зависимостей показаны на рисунке.

1.3 Зависимости при высоких сопротивлениях не линейны. Последний график описывается линейной зависимостью. Очевидная причина этого – нелинейность фотоприемника, он может работать в режиме насыщения. Именно поэтому авторы рекомендуют работать именно в этом диапазоне.



1.4 Для «старших» пора уже пользоваться для обработки зависимостей МНК. Расчет коэффициента наклона и последующий переход ($K = \exp(a)$) дает следующее значение коэффициента пропускания для серой пленки

$$K = 0,37 \pm 0,2$$

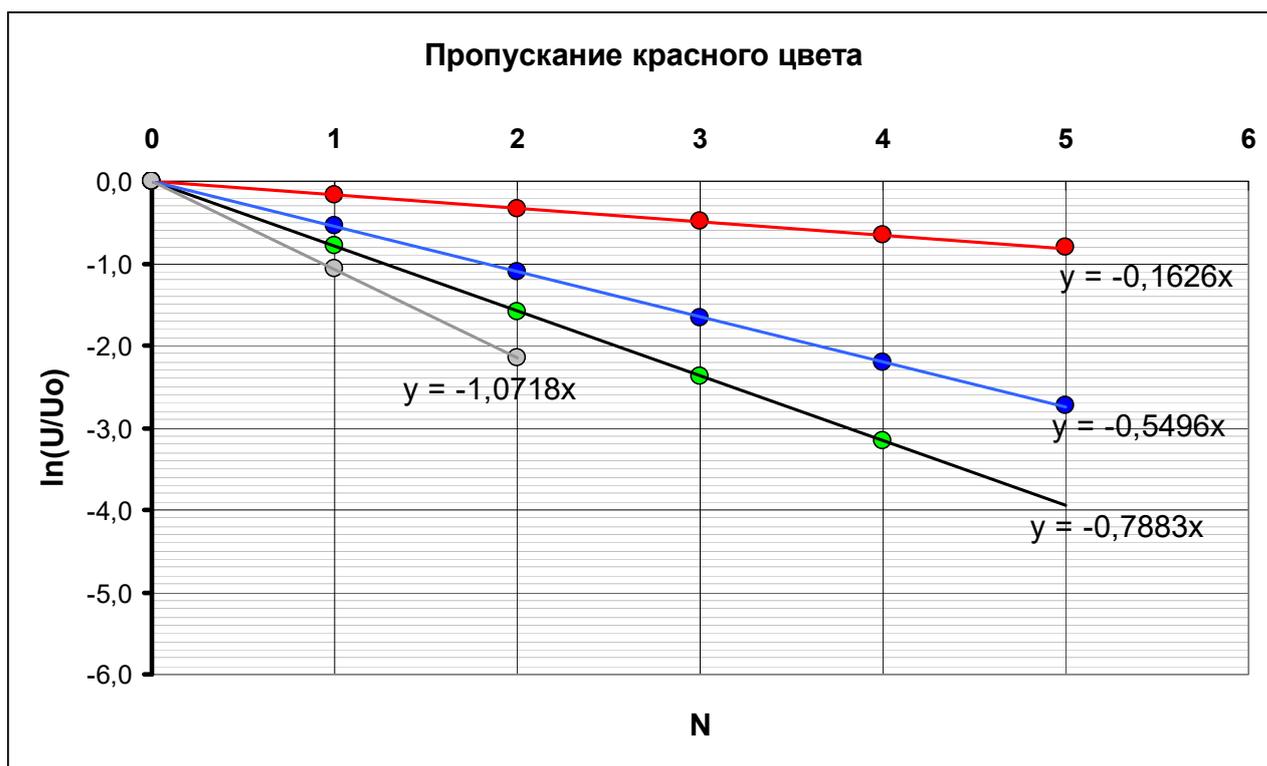
Часть 2. Поглощение красного света лазера.

2.1 Результаты измерений зависимости интенсивности света от числа пленок (для различных цветов) приведены в Таблице 2.

Таблица 2 Пропускание красного света

n	красный		зеленый		синий		серый	
	U	ln(U/U ₀)						
0	129,5	0,000	131,1	0,000	131,7	0,000	131,2	4,877
1	109,4	-0,169	60,2	-0,778	76,9	-0,538	45,4	3,816
2	92,4	-0,337	27,0	-1,580	43,7	-1,102	15,3	2,728
3	79,6	-0,486	12,3	-2,366	24,9	-1,667		
4	67,5	-0,651	5,6	-3,153	14,6	-2,200		
5	57,7	-0,808			8,5	-2,737		
K	0,85		0,45		0,58		0,34	

Графики зависимостей



2.2 Так как все зависимости полученные зависимости линейны, то закон поглощения света в форме (2) выполняется для всех пленок.

2.3 Коэффициенты пропускания, рассчитанные по МНК, для всех пленок приведены в нижней строке Таблицы 2.

Экспериментальный тур.

11 класс. Решения задач. Бланк для жюри.

2.4 Теоретическое значение коэффициента пропускания двух красных и одной зеленой пленки равно

$$K = K_{кр}^2 K_{зел} = 0,32.$$

Экспериментально измеренное значение этого коэффициента в пределах погрешности совпадает с этим значением.

Часть 3. Поглощение белого света

3.1 Результаты измерений здесь не приводятся, так как они существенно зависят от типа источника белого света, которые закупают хозяева олимпиады.

3.2 Закон (2) для зеленой пленки не выполняется, так как полученная зависимость не является геометрической прогрессией. Один из возможных методов доказательства вычисление последовательных отношений интенсивности, которое изменяется закономерным образом. Альтернативный метод ряд последовательных логарифмов пропускания не является арифметической прогрессией.

3.3-3.4 Для дальнейшего анализа приведем сравнительную таблицу коэффициентов пропускания (еще раз подчеркнем – основываться на численных значениях для белого света нельзя, они могут быть иными для других источников).

фильтр	свет	
	белый	красный
красный	0,89	0,85
зеленый	0,89	0,45
серый	0,40	0,34
синий	0,88	0,58

Эти коэффициенты существенно различаются. Главная причина в различных спектрах излучения.

3.5 Для белого света приведенная в п.2.4 формула не выполняется – причина та же; излучение лазера монохроматическое, а белый свет имеет сплошной спектр, возможно даже уходящий в ИК область (например, для ламп накаливания).

3.6 Вывод - Поглощение и пропускание зависят не только от оптических свойств материала, но и от спектра падающего излучения.