



# Республиканская физическая олимпиада 2023 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!***

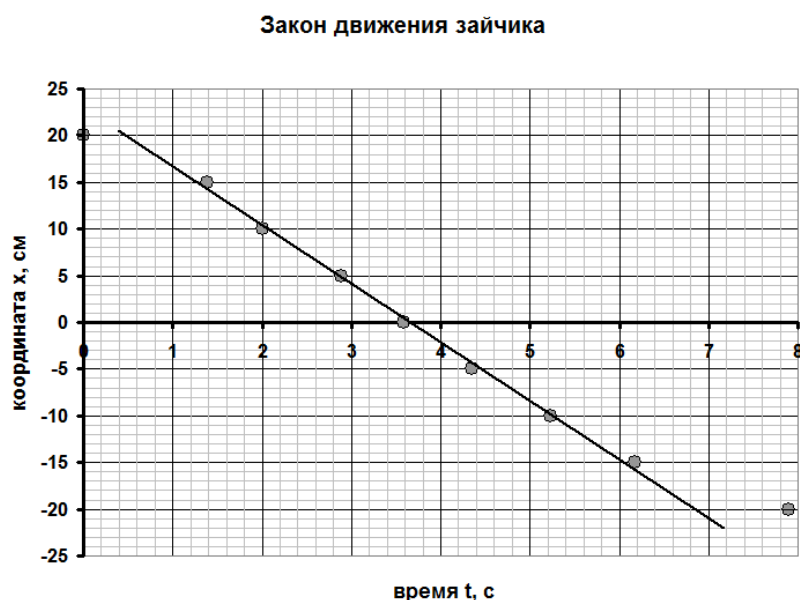
## Задание 1. Долгопериодный маятник. Решение.

### Часть 1. Закон движения.

1.1 Для измерений удобно записывать в память секундомера времени прохождения зайчика через определенные точки – фактически снимается зависимость времени от координаты. Результаты этих измерений приведены в таблице 1 и на графике (рис. 1).

Таблица 1. Зависимость координаты зайчика от времени.

$X, \text{ см}$	$T, \text{ с}$
20	0,00
15	1,39
10	2,00
5	2,89
0	3,59
-5	4,35
-10	5,23
-15	6,17
-20	7,89



Как это не странно на первый взгляд, график является практически прямой линией – т.е. движение близко к равномерному.

1.2 Как следует из рисунка 1, движение можно считать равномерным в интервале координат примерно равным  $[-15\text{ см}, +15\text{ см}]$ . Скорость найденная по графику примерно равна  $v = 6,3 \text{ см/с}$ .

### Часть 2. Изучение колебаний.

2.1 Эксперимент однозначно говорит, что период колебаний от амплитуды не зависит!

2.2 Результаты измерений периодов колебаний, при различных расстояниях до грузов приведены в Таблице 2.

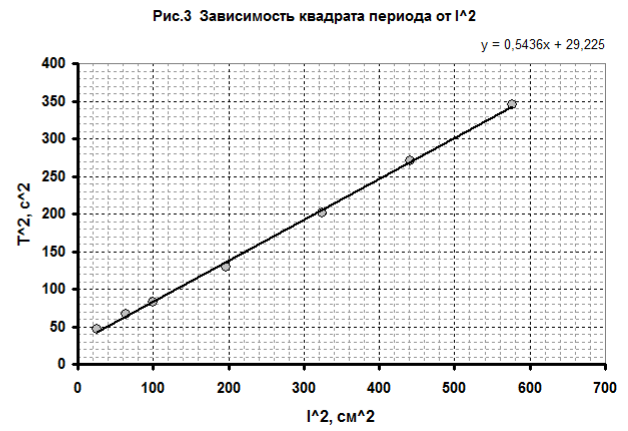
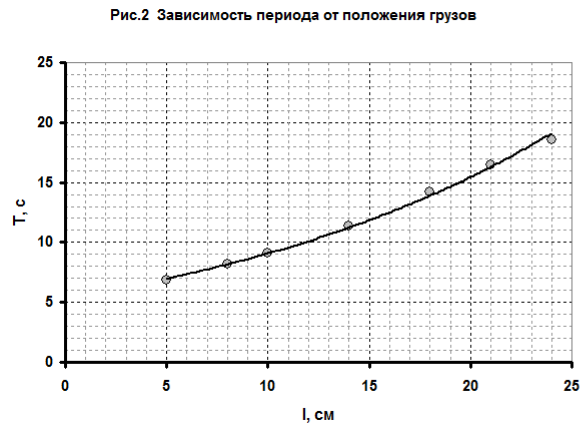
Таблица 2. Зависимость периода от расстояния до грузов.

$L, \text{ см}$	$T, \text{ с}$	$L^2, \text{ см}$	$T^2, \text{ с}$
5	6,87	25	47,20
8	8,19	64	67,08
10	9,08	100	82,45
14	11,35	196	128,82
18	14,18	324	201,07
21	16,46	441	270,93
24	18,58	576	345,22

Для проверки приведенной формулы следует построить зависимость квадрата периода от квадрата расстояния.

$$T = \sqrt{Al^2 + B} \Rightarrow T^2 = Al^2 + B$$

Графики прямых измерений и возведенных в квадрат показаны на рис. 2 -3.



Видно, что «квадратная» зависимость линейна, что подтверждает справедливость приведенной формулы. По графику найдены параметры зависимости

$$A = 54 \frac{с^2}{см^2}, \quad B = 29 с^2.$$

## Задание 2. Деление токов и деление напряжений. Решение.

### Часть 1. Делитель тока.

1.1 По закону Ома

$$I_0 = \frac{U_0}{R_0}. \quad (1)$$

1.2 Из законов параллельного и последовательного соединения проводников можно записать

$$I_1 l = (I_0 - I_1)x. \quad (2)$$

Из этого выражения следует, что

$$I_1 = I_0 \frac{x}{l+x}. \quad (3)$$

1.3 Сопротивление постоянного резистора равно

$$R_0 = (9,30 \pm 0,05) \text{ Ом} \quad (4)$$

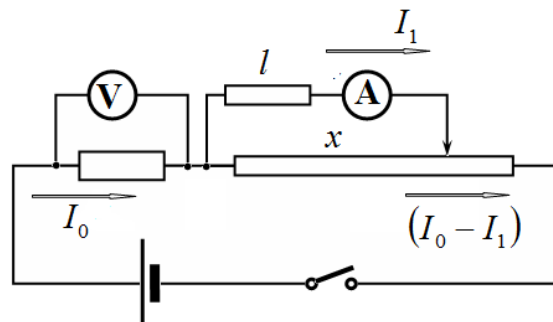
1.4 Длина участка проволоки равна

$$l = (10,0 \pm 0,5) \text{ см}. \quad (5)$$

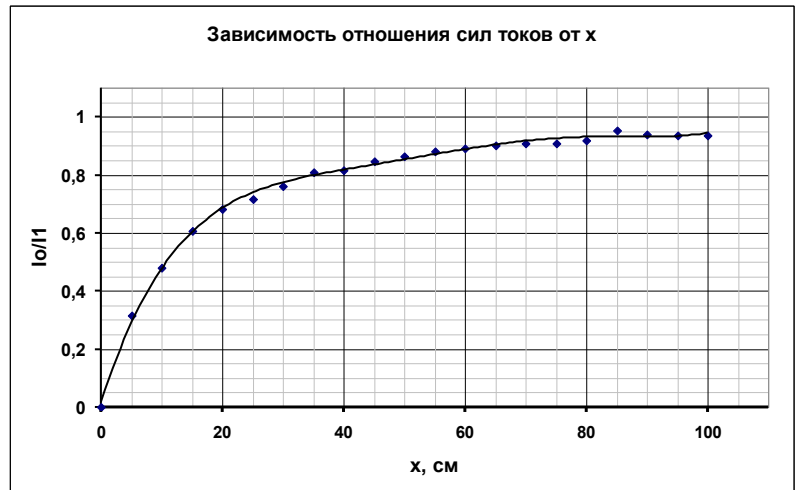
1.5 Результаты измерений зависимости напряжения  $U_0$  и силы тока  $I_1$  от длины участка  $BE$  -  $x$  приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

$X, \text{ см}$	$U_0, \text{ мВ}$	$I_1, \text{ мА}$	$I_0, \text{ мА}$	$l/x$	$I_0/I_1$
0	2900	0	312		
5	2940	100	316	2,000	3,161
10	3010	155	324	1,000	2,088
15	3100	202	333	0,667	1,650
20	3200	235	344	0,500	1,464
25	3310	255	356	0,400	1,396
30	3420	280	368	0,333	1,313
35	3560	310	383	0,286	1,235
40	3710	325	399	0,250	1,227
45	3840	350	413	0,222	1,180
50	4040	375	434	0,200	1,158
55	4230	400	455	0,182	1,137
60	4440	425	477	0,167	1,123
65	4650	450	500	0,154	1,111
70	4910	480	528	0,143	1,100
75	5180	505	557	0,133	1,103
80	5520	545	594	0,125	1,089
85	5930	608	638	0,118	1,049
90	6330	640	681	0,111	1,064
95	6800	685	731	0,105	1,067
100	7200	725	774	0,100	1,068



1.6 График зависимости отношения сил токов  $I_1/I_0$  от длины участка проволоки  $x$  показан на рисунке.



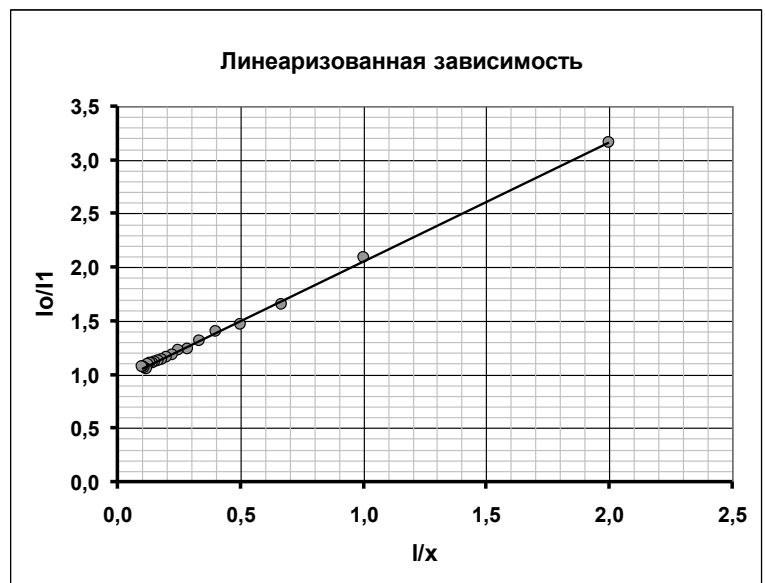
1.7 Теоретическая зависимость, описывающая эту кривую, определяется формулой (3), которая допускает простую линеаризацию

$$\frac{I_0}{I_1} = 1 + \frac{l}{x}. \quad (6)$$

Расчеты введенных переменных

$Y = \frac{I_0}{I_1}$  и  $X = \frac{l}{x}$  приведены в

Таблице 1. График этой линеаризованной зависимости показан на рисунке.



1.8 Коэффициенты линеаризованной зависимости, рассчитанные по МНК, равны

$$a = 1,11 \pm 0,02$$

$$b = 0,94 \pm 0,01$$

(7)

1.9 Из формулы (6) следует, что теоретические значения этих коэффициентов равны

$$a = b = 1.$$

1.10 Полученные экспериментальные значения достаточно близки к теоретическим. Основной причиной полученных различий являются:

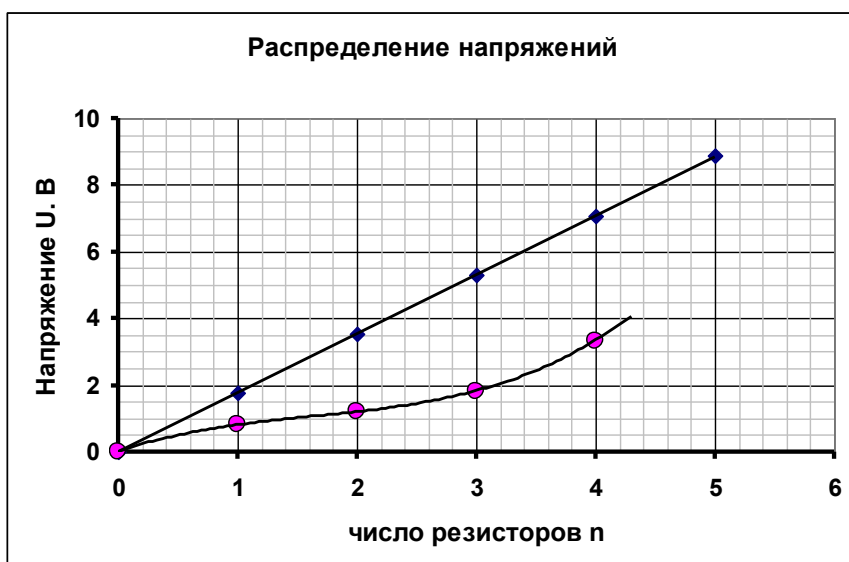
- погрешности измерений (прежде всего силы тока);
- систематические погрешности, связанные с неучтенными сопротивлениями проводов и контактов.

**Часть 2. Делитель напряжения.**

2.1 Результаты требуемых измерений приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

$n$	Мультиметр	Вольтметр	Линейризация	
	$U_n, В$	$U_n, В$	$X = 5 - n$	$Y = \frac{U}{U_n} - \frac{5}{n}$
0	0	0	5	
1	1,76	0,80	4	6,25
2	3,53	1,21	3	4,94
3	5,30	1,82	2	3,28
4	7,08	3,34	1	1,44
5	8,86		0	0



Графики полученных зависимостей показаны на рисунке.

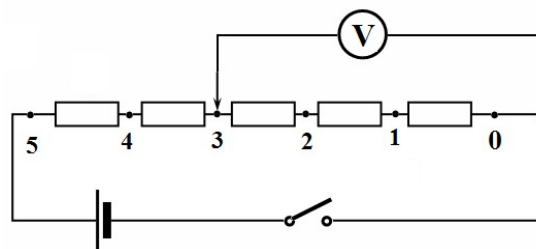
2.2 Собственное сопротивление мультиметра значительно превышает сопротивления резисторов, поэтому его можно считать бесконечно большим. В этом случае напряжение источника поровну «делится» между резисторами, поэтому теоретическая формула для напряжения, измеренного мультиметром, имеет примитивный вид

$$U_n = \frac{n}{5} U_s. \quad (8)$$

Измеренное значение напряжения источника  $U_s = 8,9 В$ , поэтому коэффициент наклона линейной зависимости должен быть равен  $\frac{\Delta U}{\Delta n} = 1,78$ , что хорошо совпадает с экспериментальным значением.

2.3 Основной причиной различия результатов измерений, проведенных разными приборами, является конечное сопротивление вольтметра  $R_V$ , считать которое бесконечно большим в данном случае нельзя.

2.4 Рассчитаем значение напряжения на вольтметре, если его сопротивление равно  $R_V$ . Будем считать, что напряжение источника остается постоянным. В этом случае измеряемое напряжение описывается функцией



$$U_n = U_s \frac{R_x}{(5-n)R + R_x}, \quad (9)$$

где  $n$  - число резисторов, на которых измеряется напряжение,  $R$  - сопротивление одного резистора;

$$R_x = \frac{nRR_V}{nR + R_V}. \quad (10)$$

сопротивление параллельно соединенных вольтметра и  $n$  резисторов. Преобразуем формулу (9), чтобы привести ее к линейной зависимости:

$$\frac{U_s}{U_n} = 1 + (5-n)\frac{R}{R_x} = 1 + (5-n)\frac{R}{nRR_V} (nR + R_V) = \frac{5}{n} + (5-n)\frac{R}{R_V}. \quad (11)$$

Интересно отметить, что при  $R_V \gg R$  формула (11) переходит в формулу (8).

Из соотношения (11) следует, что величина  $Y = \frac{U_s}{U_n} - \frac{5}{n}$  пропорциональна величине

$$X = 5 - n.$$

В последних столбцах Таблицы 2 приведены рассчитанные значения этих величин. График зависимости между ними показан на рисунке и подтверждает проведенные теоретические построения.

