

***Республиканская  
физическая  
олимпиада  
(III этап)  
2007 год***

***Экспериментальный тур  
Решения задач***

*Заметки для организаторов олимпиады и членов жюри (здесь и далее выделены курсивом):*

*1. Мы «авторские» решения предложенных задач, в которых количество измерений превышает ожидаемое от участников (у нас времени было побольше), комментарии даны кратко (мы уверены, что вам они не очень нужны).*

*2. Во многих задачах наши результаты могут отличаться от ваших, основная причина возможных отличий – не идентичность оборудования. Рекомендуем самостоятельно провести прикидочные измерения на использованном вами оборудовании. Надеемся, однако, что основные тенденции, выявленные нами, проявятся и у вас.*



## 9 класс.

### Задание 1. «Очень малые сопротивления»

Данное задание требует особой тщательности измерений, особенно важно следить за наличием контакта между проволокой реохорда и проводом, соединяющим его с измерительным прибором. Для проведения измерений в качестве «щупа» можно использовать небольшой кусочек жесткой проволочки – нами использовалась медная проволочка от канцелярской скрепки. Обращаем внимание на необходимость использования двух одинаковых соединительных проводков (лучше чтобы они были стальными – у них сопротивление немного больше, чем у медных) при подключении амперметра в Части 3.

Во всех измерениях, связанных с изменением длины части реохорда, удобно перемещать контакт до тех пор, пока стрелка прибора не совпадет с одним из делений шкалы – в этом случае следует определять положение контакта  $x$ . Таким образом достигается большая точность измерений (нет необходимости «высматривать доли делений шкалы амперметра и вольтметра).

#### Часть 1.

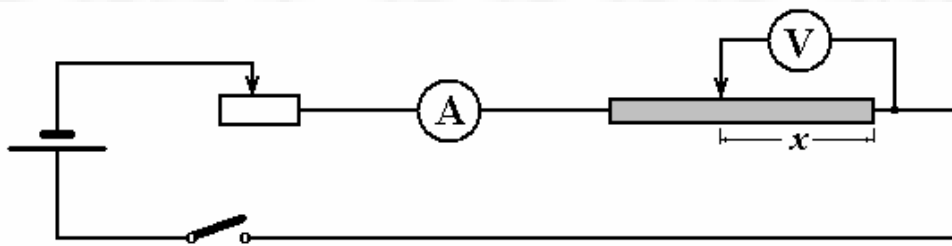


Рис. 1

При указанном соединении сила тока в цепи практически не зависит от величины  $x$ , что свидетельствует о крайней малости сопротивления проволоки реохорда по сравнению с сопротивлением вольтметра. Об этом же свидетельствуют и малые величины измеряемых напряжений. Поэтому измерения следует проводить при больших токах. Так как напряжения малы, то при токах порядка 1А удастся получить значения всего в двух-трех точках.

Результаты измерений приведены в Таблице 1 и на графике 1.

$U, B$	$x, мм$	
	$I = 1,1A$	$I = 1,3A$
0,2	175	101
0,4	385	243
0,6		376

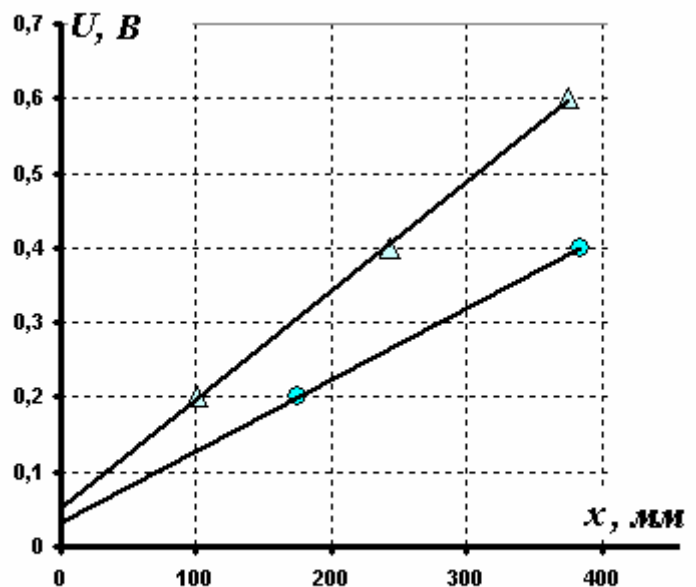


Рис. 1 Зависимость напряжения от длины участка проволоки

График, построенный по трем точкам линеен, поэтому и вторая зависимость также построена как линейная. Важно отметить, что при  $x \rightarrow 0$  эти прямые не проходят через нуль, что является следствием заметного сопротивления контакта  $R_{\text{конт.}}$  между концом проволоки реохорда и соединительным проводом. Важно отметить, что при  $x \rightarrow 0$  прямые приходят практически в одну точку.

Легко показать, что данная зависимость определяется законом Ома для участка цепи

$$U = I(rx + R_{\text{конт.}}). \quad (1)$$

Для определения искомого сопротивления единицы длины проволоки реохорда следует воспользоваться выражением

$$r = \frac{1}{I} \frac{\Delta U}{\Delta x}. \quad (2)$$

Расчет по этой формуле приводит к следующим результатам (коэффициенты наклона  $\frac{\Delta U}{\Delta x}$  можно снять с графиков, можно воспользоваться таблицей):

Для тока  $I = 1,3 \text{ A}$ :

$$r = \frac{1}{1,3} \cdot \frac{0,6 - 0,2}{376 - 101} \approx 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{мм}}$$

Для тока  $I = 1,1 \text{ A}$ :

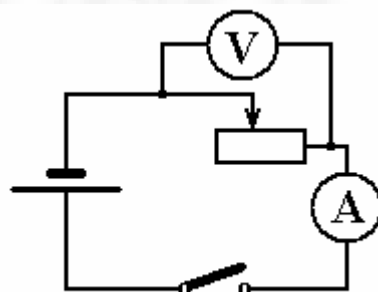
$$r = \frac{1}{1,1} \cdot \frac{0,4 - 0,2}{385 - 175} \approx 1,05 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{мм}}$$

Таким образом, сопротивление единицы длины проволоки реохорда равно

$$r \approx 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{мм}}$$

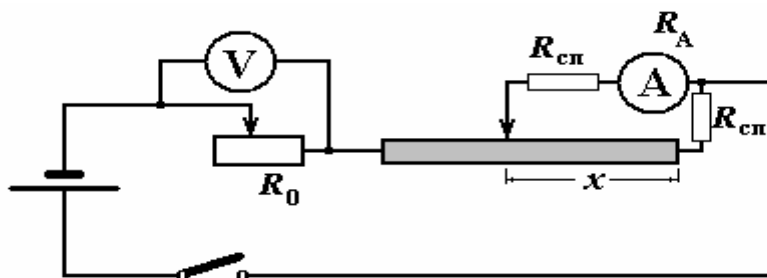
## Часть 2.

Для установки требуемого значения сопротивления реостата следует использовать очевидную схему. Двигая движок реостата следует добиться того, чтобы отношение  $\frac{U}{I}$  стало равным требуемому значению 1,3 Ом.



## Часть 3. Амперметр и соединительные провода.

Для описания исследуемой зависимости построим эквивалентную схему, в которой явно укажем сопротивления исследуемых соединительных проводов.



Понятно, что общий ток в цепи  $I_0 = \frac{U}{R_0}$  делится между амперметром и параллельной ветвью в отношении обратном к их сопротивлениям. Поэтому

$$\frac{U}{R_0} = I_A \left( \frac{R_{cn} + R_A}{R_{cn} + rx} + 1 \right). \quad (3)$$

Для экспериментальной проверки этой формулы ее удобно линеаризовать, к виду

$$\frac{I_A}{\frac{U}{R_0} - I_A} = \frac{R_{cn} + rx}{R_{cn} + R_A} = \frac{r}{R_{cn} + R_A} x + \frac{R_{cn}}{R_{cn} + R_A}. \quad (4)$$

Заметим, что эту пропорцию можно записать сразу – как отношение токов. Формула (4) допускает прямую экспериментальную проверку.

При проведении измерений по указанной схеме оказалось, что напряжение на реостате изменяется незначительно (в пределах от 1,55 В до 1,75 В), провести точные измерения весьма затруднительно, поэтому можно приближенно считать, что эта зависимость линейна. Такое слабое изменение напряжения свидетельствует, что сумма сопротивлений реостата и источника заметно больше сопротивления проволоки реохорда. Результаты измерений приведены в таблице 2 и на графике 2. В последнее графе приведены рассчитанные значения отношений токов (взяты при среднем значении напряжения  $\tilde{U} = 1,65 В$ ).

Таблица 2.

$x, мм$	$I_A, А$	$\frac{I_A}{\frac{\tilde{U}}{R_0} - I_A}$
0	0,35	0,38
9	0,4	0,46
22	0,45	0,55
35	0,5	0,65
50	0,55	0,76
66	0,6	0,90
81	0,65	1,05
105	0,7	1,23
130	0,75	1,44
160	0,8	1,70
197	0,85	2,03
227	0,9	2,44
270	0,95	2,98
325	1	3,71
390	1,05	4,79

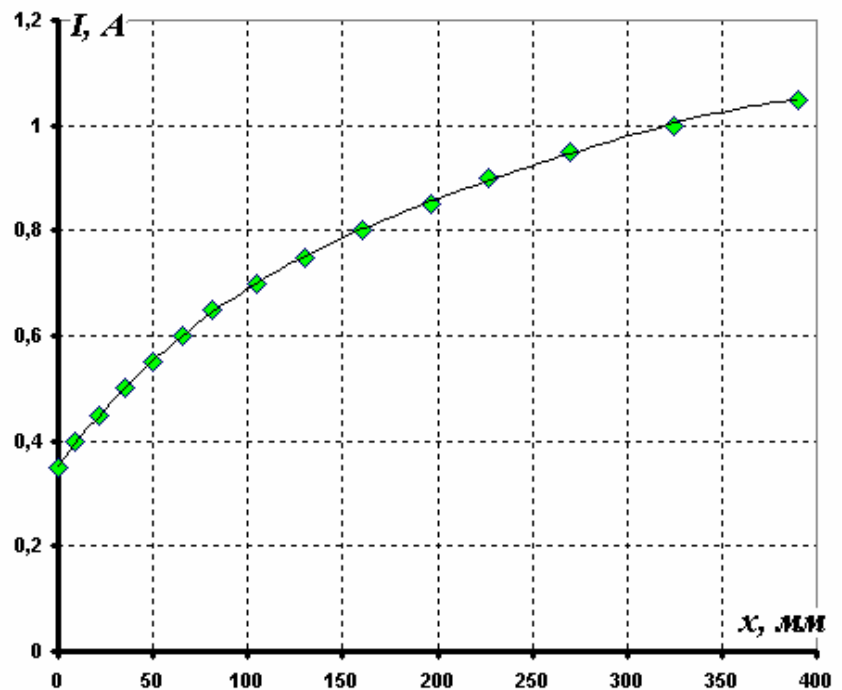


Рис. 2 Зависимость силы тока от длины участка проволоки

Хорошо видно, что зависимость не линейна и не проходит через начало координат. Последнее свидетельствует, что сопротивление соединительного провода сравнимо с сопротивлением вольтметра.

На графике 3 приведена «линеаризованная» зависимость отношения токов от длины участка проволоки.

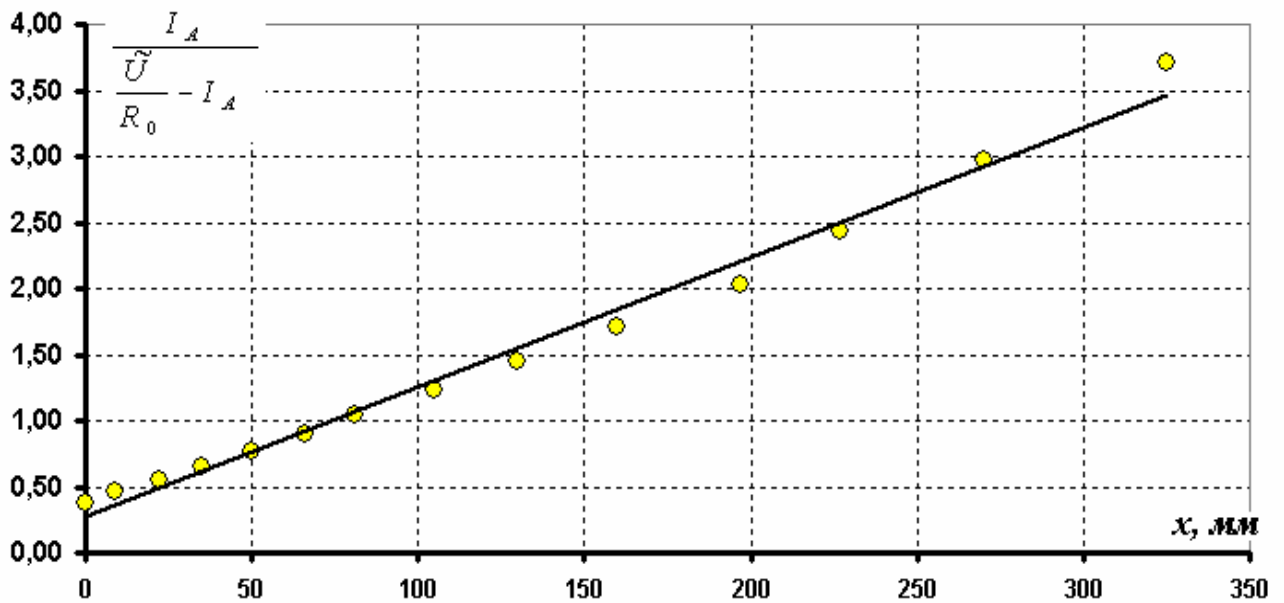


Рис. 3 Зависимость отношений сил токов о длины участка проволоки

Видно, что данная зависимость близка к линейной (хотя отклонения от линейности хорошо заметны). Тем не менее, можно считать, что полученная формула (4) справедлива.

Чтобы доказать, что нелинейность связана с незначительным изменением суммарной силы тока в цепи, на рис. 4 построена аналогичная зависимость, рассчитанная по тем же экспериментальным данным, но с учетом незначительного изменения напряжения на реостате (для него использовалась линейная аппроксимация).

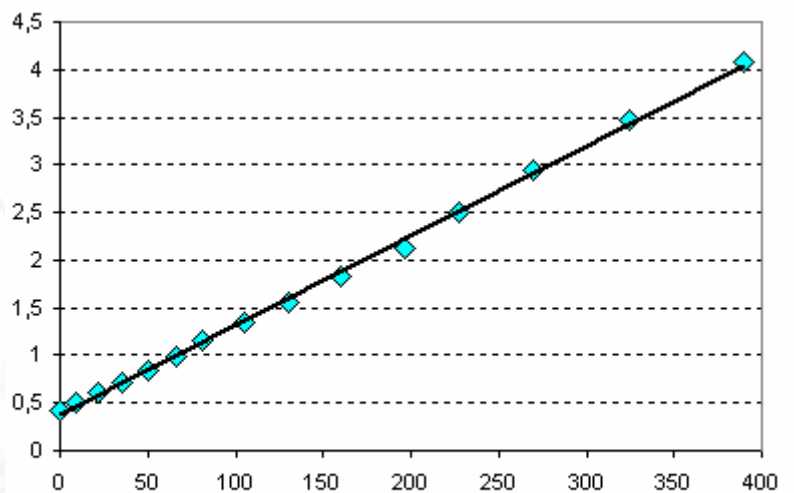


Рис. 4 Расчет с изменяющимся напряжением

Запишем зависимость (4) в виде  $Y = ax + b$ , где  $a = \frac{r}{R_{cn} + R_A}$ ,  $b = \frac{R_{cn}}{R_{cn} + R_A}$  - параметры линейной зависимости. Из графика (или по МНК) можно найти численные значения этих параметров:  $a \approx 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^{-1}$ ,  $b \approx 0,27$ . Из выражений для этих коэффициентов находим, что

$$R_{cn} = \frac{b}{a} r \approx 0,03 \text{ Ом};$$

$$R_A = \frac{r}{a} - R_{cn} \approx 0,08 \text{ Ом}.$$

## Задание 2. «Неупругий удар»

### Часть 1 – Теоретическая.

1.1 Приведенная формула следует из закона сохранения импульса.

1.2 Приведенная формула следует из формулы (1) и выражения для кинетической энергии движущегося тела.

1.3 Приведенные формулы следуют из закона сохранения механической энергии.

### Часть 2. Отношение скоростей.

Требуемые результаты измерений приведены в таблице 1 и на графиках рис. 1. (для каждого угла отклонения проведено два измерения)

Таблица 1.

$x_0, \text{мм}$	$\eta = 1$		$\eta = 2$	
	$x_1, \text{мм}$	$x_1, \text{мм}$	$x_1, \text{мм}$	$x_1, \text{мм}$
200	105	105	150	150
180	100	95	140	140
160	85	80	125	120
140	80	80	110	110
120	70	70	100	100
100	60	55	85	85
80	50	50	70	70
60	40	40	55	55
40	30	30	40	40

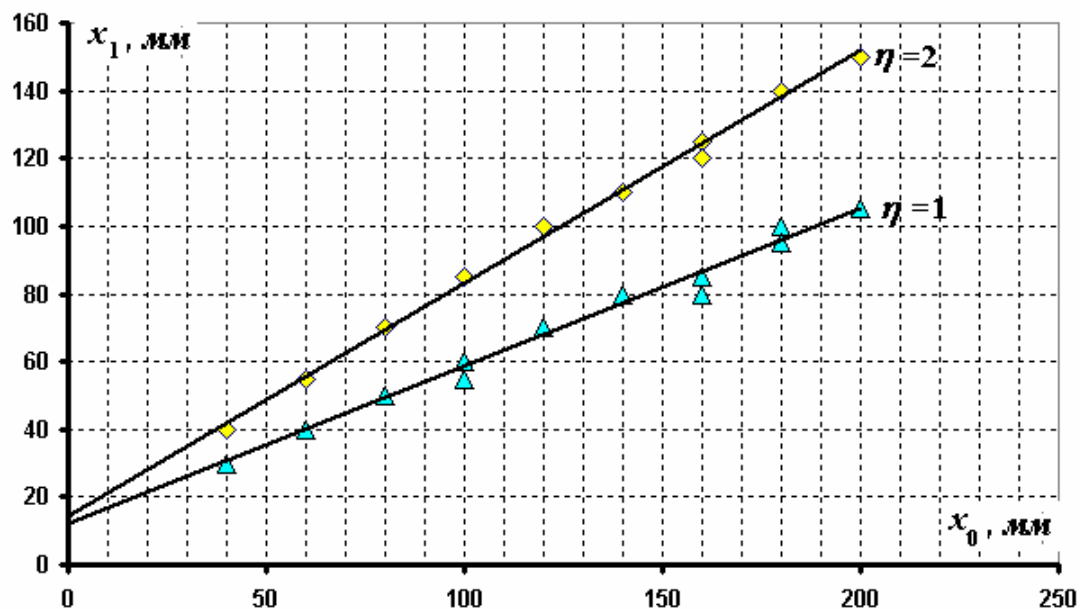


Рис. 1 Зависимость отклонения после удара от начального отклонения

Так как отклонения пропорциональны скоростям, то отношение отклонений равно

отношению скоростей:  $\frac{v_1}{v_0} = \frac{x_1}{x_0}$ . Полученные данные подтверждают гипотезу о равенстве

отношения скоростей. Однако прямые, не проходят через начало координат, что связано с конечностью размеров шариков, то есть с наличием отклонения при соприкосновении шариков в нижнем положении. Величина этого начального отклонения равна приблизительно  $\delta x_0 \approx 12 \text{ мм}$  в обоих случаях.

Измеренные по графикам коэффициенты наклона

$$\left( \frac{\Delta x_1}{\Delta x_0} \right)_{\eta=1} \approx 0,47 \quad \text{и} \quad \left( \frac{\Delta x_1}{\Delta x_0} \right)_{\eta=1} \approx 0,69,$$

равные отношению скоростей близки к теоретическим значениям 0,50 и 0,67, соответственно.

Следовательно, формула (1) подтверждается.

*В наших измерениях длины подвесов составляли 55 см. Отметим, что при отклонениях больших 20 см – линейность теряется, что связано, с тем, что такие отклонения не являются малыми.*

### Часть 3. Потери энергии.

Для проведения измерений необходимо подвешивать шарики различных масс. При этом для каждой пары разных шариков можно (и нужно) получить два результата: первый раз отклонять один шарик, а второй – другой.

Все измерения проведены при начальном отклонении  $x_0 = 120 \text{ мм}$ .

Как и ранее, отношение скоростей до и после удара равно отношению отклонений

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{x_1}{x_0}. \quad (1)$$

Теоретическое значение данного отношения равно

$$\left( \frac{v_1}{v_0} \right)_T = \frac{m_0}{m_0 + m_1} = \frac{\eta}{\eta + 1}. \quad (2)$$

Долю энергии перешедшей в тепло можно рассчитать по экспериментальным данным следующим образом:

$$\delta = \frac{Q}{E_0} = \frac{m_0 v_0^2 - (m_0 + m_1) v_1^2}{m_0 v_0^2} = 1 - \frac{\eta + 1}{\eta} \left( \frac{x_1}{x_0} \right)^2. \quad (3)$$

Теоретическое значение этого отношения равно

$$\begin{aligned} \delta_T &= \frac{m_0 v_0^2 - (m_0 + m_1) v_1^2}{m_0 v_0^2} = 1 - \frac{(m_0 + m_1)}{m_0} \left( \frac{v_1}{v_0} \right)^2 = 1 - \frac{(m_0 + m_1)}{m_0} \left( \frac{m_0}{m_0 + m_1} \right)^2 \\ &= 1 - \frac{m_0}{m_0 + m_1} = \frac{m_1}{m_0 + m_1} = \frac{1}{\eta + 1} \end{aligned} \quad (4)$$

В таблице 2 приведены полученные результаты, как экспериментальных измерений, так и расчетов по приведенным выше формулам (1) и (3). На рис. 2, 3 построены графики полученных зависимостей, там приведены теоретические кривые, рассчитанные по формулам(2) и (4)



Таблица 2.

Отношение масс $\eta$	Конечное отклонение $x_1$ , мм	Отношение скоростей	Потери энергии, $\delta$
1	70	0,58	0,32
2	100	0,83	-0,04
0,5	40	0,33	0,67
1,33	80	0,67	0,22
0,75	65	0,54	0,32
4	110	0,92	-0,05
0,25	20	0,17	0,86
1	70	0,58	0,32
2	100	0,83	-0,04
0,5	35	0,29	0,74
1,33	85	0,71	0,12
0,75	65	0,54	0,32
4	105	0,88	0,04
0,25	20	0,17	0,86

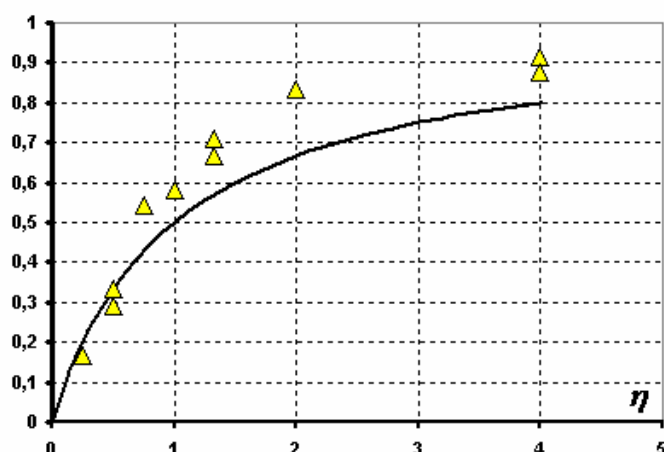


Рис. 2 Зависимость отношения скоростей от отношения масс (без поправки на начальное смещение)

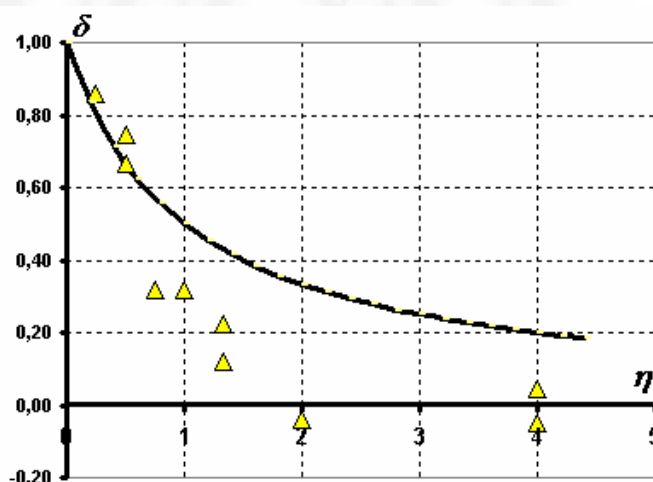


Рис.3 Зависимость доли потерь от отношения масс (без учета поправки на начальное смещение)

Видно, что экспериментальные и теоретические зависимости различаются существенно и систематически. Более того, в некоторых случаях получен абсурдный результат – потери энергии отрицательны?

Причина подобных расхождений заключается в том, что не учтена поправка на отклонение нитей в положении равновесия. Эту поправку можно учесть, уменьшив величину конечного отклонения  $x_1$ , мм на поправку  $\delta x_0 \approx 12$  мм, найденную во второй части данной работы.

В таблице 3 проведен перерасчет экспериментальных значений с учетом данной поправки. Ниже построены графики (Рис. 4-5) с ее учетом.

Таблица 3.

Отношение масс $\eta$	Конечное отклонение $x_1, \text{мм}$	С учетом поправки $x_1 - \delta$	Отношение скоростей	Потери энергии, $\delta$
1	70	58	0,48	0,53
2	100	88	0,73	0,19
0,5	40	28	0,23	0,84
1,33	80	68	0,57	0,44
0,75	65	53	0,44	0,54
4	110	98	0,82	0,17
0,25	20	8	0,07	0,98
1	70	58	0,48	0,53
2	100	88	0,73	0,19
0,5	35	23	0,19	0,89
1,33	85	73	0,61	0,35
0,75	65	53	0,44	0,54
4	105	93	0,78	0,25
0,25	20	8	0,07	0,98

Как видно, учет указанной поправки приводит к согласованию экспериментальных и теоретических зависимостей.

Рис. 4 Зависимость отношения скоростей от отношения масс (с поправкой на начальное смещение)

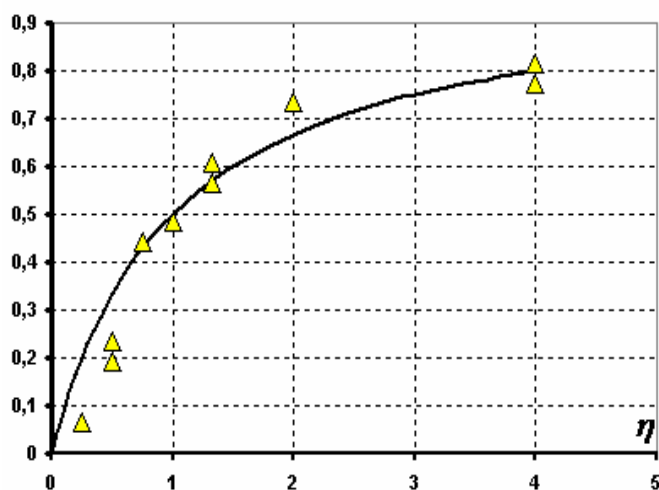
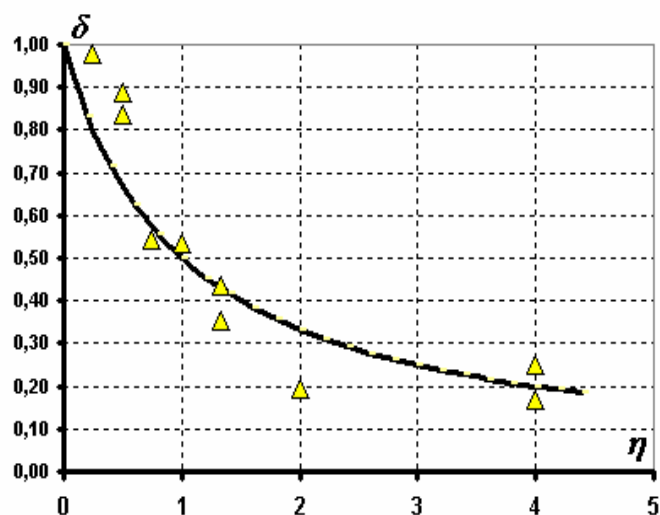


Рис. 5 Зависимость доли потерь от отношения масс (с поправки на начальное смещение)

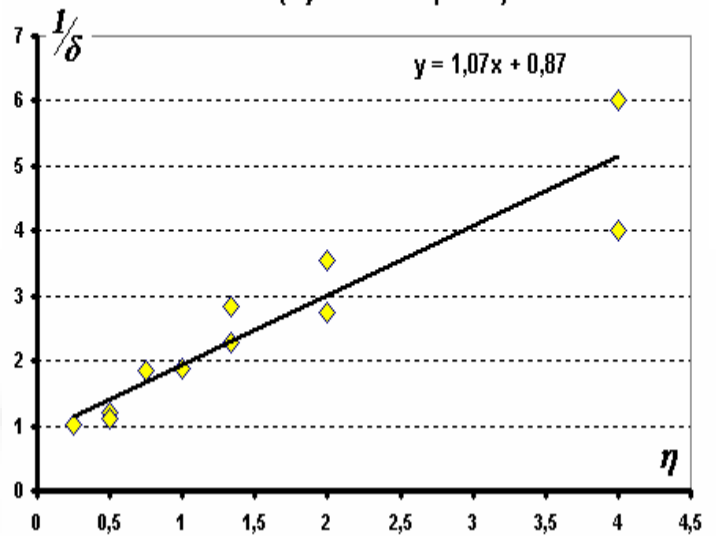


Линеаризованная энергетическая зависимость  
(с учетом поправки)

Еще более впечатляющим и разумным способом проверки является линеаризация зависимости (4) посредством очевидного преобразования

$$\frac{1}{\delta} = \eta + 1.$$

На рис. 6 приведена данная зависимость (с учетом поправки) и приведено ее уравнение – очень хорошее соответствие экспериментальных данных и теоретической зависимости.



## 10 класс.

### Задание 1. «Лед и воздух»

*Желательно при замораживании кубиков льда в каждый из них вложить кусочек нитки, за которую потом очень удобно привязывать образовавшийся кусочек льда. Масса грузика должна быть примерно равна массе кусочка льда – так маленький кусочек льда весит примерно 5-6 грамм. Также хорошо бы заранее просверлить небольшие отверстия в линейках – где и как описано в условии.*

Нами использовалась гирька из набора массой 5,0 г.

Определение массы подвешенного груза с помощью уравновешенных весов не представляет труда: отношение масс обратно пропорционально отношению плеч. Измерять массу кусочка льда после падения каждой капли затруднительно, поэтому измерения (то есть уравновешивание линейки посредством перемещения точки подвеса груза) проводилось примерно после падения трех капель.

В таблице приведены результаты измерений и расчетов.

**Таблица результатов измерений и расчетов.**

Номер капли $n$	минуты	секунды	Время отрыва капли	Время образования капли $\tau_k$	Плечо грузика	Масса кусочка льда после падения капли	Рассчитанная масса $m_{n-1}$
0			0		367	4,61	
1	1	14	74	74	363	4,50	4,62
2	2	26	146	72	358	4,36	4,525
3	3	41	221	75			4,43
4	4	56	296	75	350	4,14	4,335
5	6	12	372	76			4,24
6	7	33	453	81			4,145
7	8	54	534	81			4,05
8	10	24	624	90	342	3,92	3,955
9	11	53	713	89			3,86
10	13	29	809	96	336	3,75	3,765
11	15	3	903	94			3,67
12	16	45	1005	102	329	3,56	3,575
13	18	28	1108	103			3,48
14	20	18	1218	110	322	3,37	3,385
15	22	7	1327	109			3,29
16	24	0	1440	113	315	3,17	3,195
17	25	57	1557	117			3,1
18	27	55	1675	118	306	2,92	3,005
19	29	52	1792	117			2,91
20	31	55	1915	123	299	2,73	2,815
21	33	46	2026	111			2,72
22	35	48	2148	122	291	2,51	2,625
23	37	53	2273	125			2,53
24	40	0	2400	127	283	2,29	2,435
25	42	11	2531	131			2,34
26	44	31	2671	140	275	2,06	2,245

Используя данные этой таблицы можно выполнить все требуемые задания.

На рис. 1 показана зависимость времен отрыва от номера капли.

*Здесь проводить сглаживающую линию не следует – дробного числа капель не бывает!*

Полученная зависимость не линейна – время образования капель возрастает, так как уменьшается приток теплоты из воздуха при уменьшении размера кусочка льда.

Зависимость же массы льдинки от числа упавших капель практически линейна Рис.2, что говорит о том, что все капли приблизительно одинаковы. Массу отдельной капли можно определить как коэффициент наклона этого графика. По данным, приведенным в таблице, масса одной капли равна  $m_0 \approx 0,10\text{г}$ .

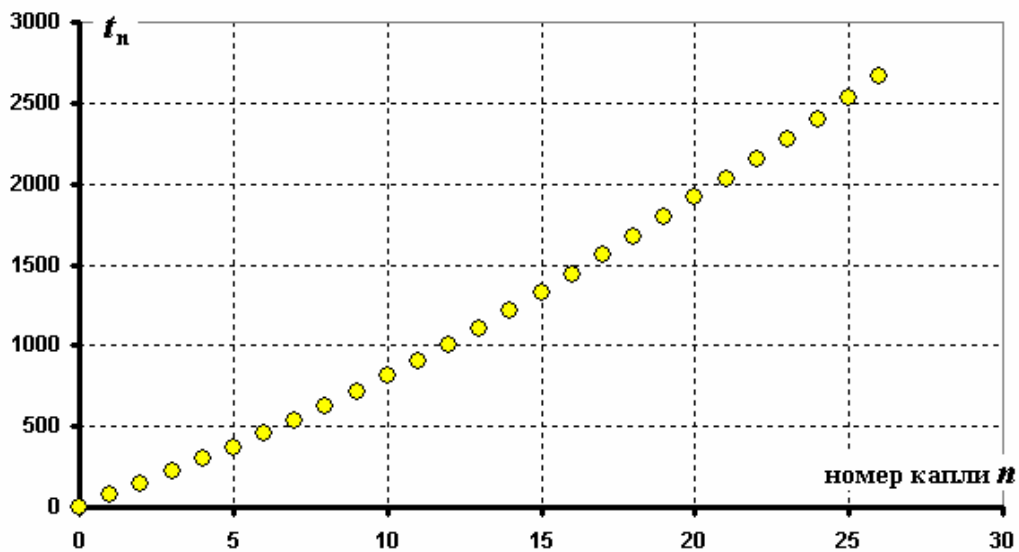


Рис. 1 Времена отрыва капель

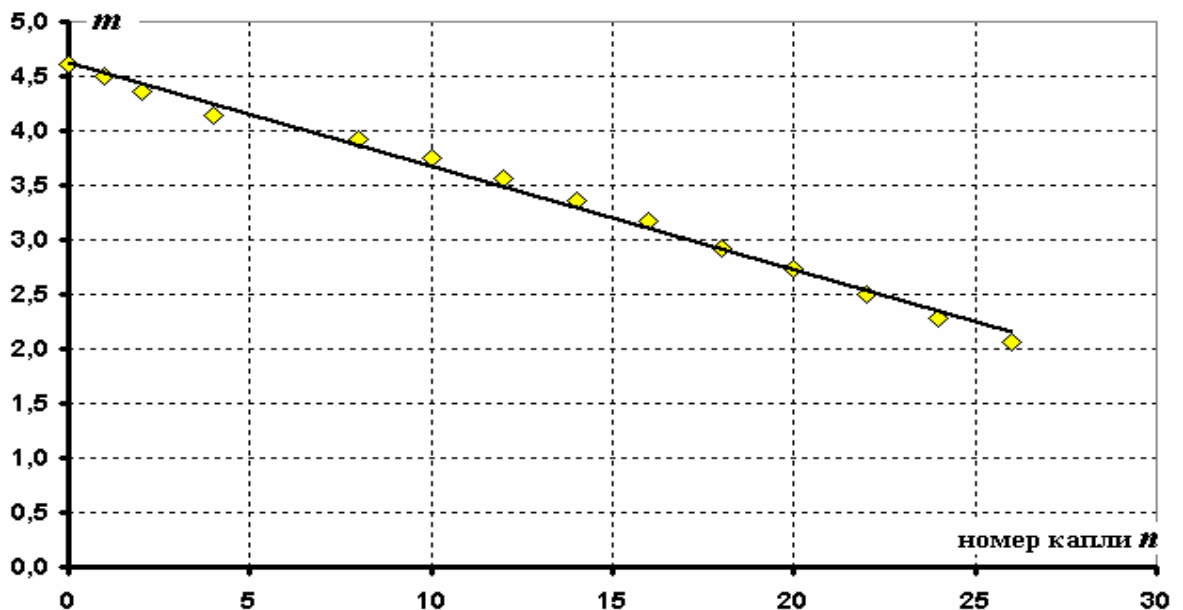


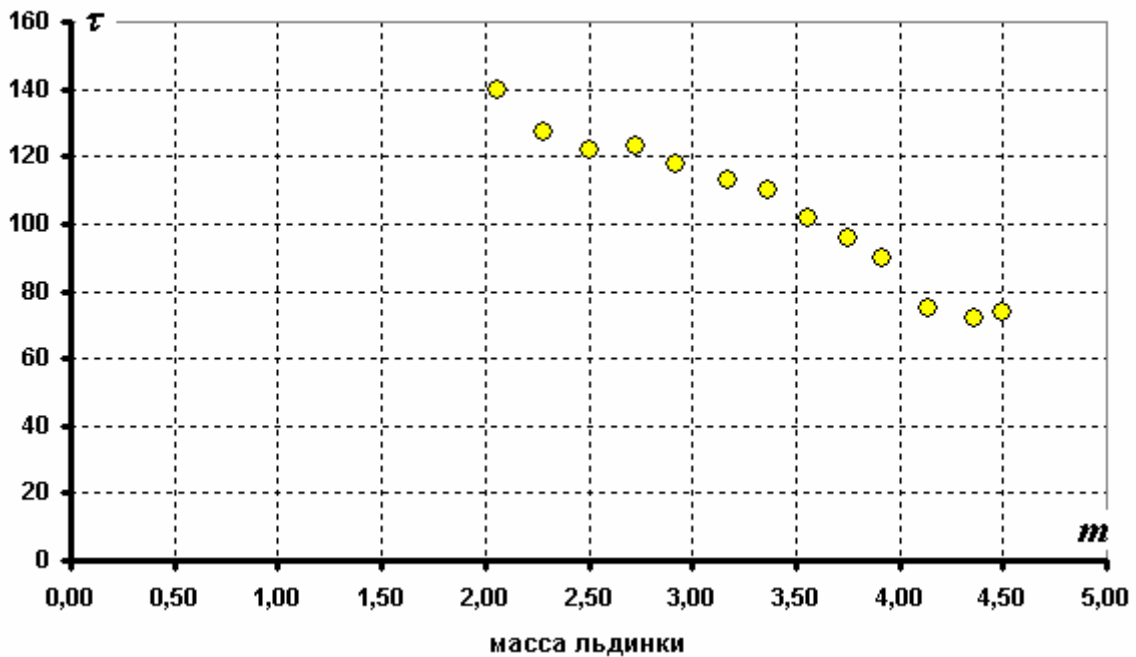
Рис. 2 Зависимость массы льдинки от числа упавших капель

Можно выдвинуть гипотезу, что поток теплоты от воздуха к капле пропорционален площади поверхности капли, которая приблизительно пропорциональна  $q \approx Am^{2/3}$ . Так на образование одной капли (постоянной массы) требуется одно и тоже количество теплоты, то  $Am^{2/3}\tau \approx const$ , то есть

$$\tau = Cm^{-2/3}. \quad (1)$$

На рис. 4 представлен график зависимости времени образования капли от массы льдинки.

**Рис. 4** Время образования капли от массы льдинки



Из-за значительного разброса проанализировать эту зависимость невозможно. Поэтому можно (и нужно) увеличить точность и число точек, если вместо измеренных масс, взять их значения, рассчитанные по полученной зависимости 2. Использование метода наименьших квадратов для этой зависимости приводит к линейной функции зависимости массы льдинки от числа упавших с нее капель

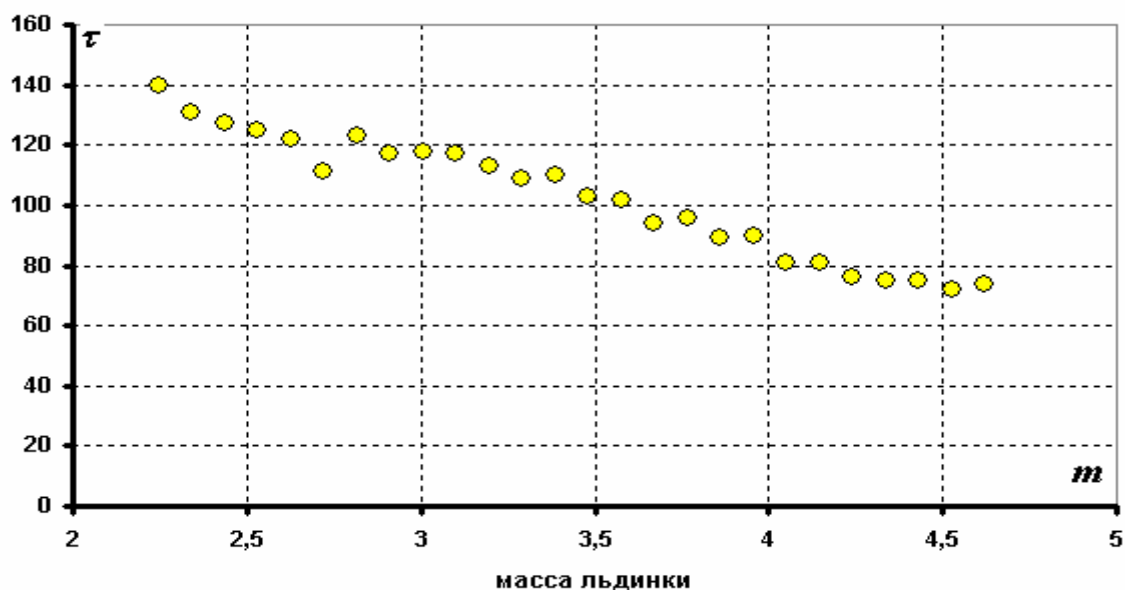
$$m_n = 4,62 - 0,095n \quad (2)$$

Теперь можно построить зависимость времени образования капли номер  $n$  от массы капли (рассчитанной) после падения предыдущей капли.

Результаты расчета такой зависимости приведены в последней колонке таблицы.

Построенный по этим данным график зависимости  $\tau_n(m_{n-1})$  показан на рис. 5.

Рис. 5 Время образования капли от рассчитанной массы льдинки



Этот график более информативен, и его можно использовать для анализа применимости формулы (1). Для этого зависимость следует привести к линейному виду. Оптимальной, конечно является использование логарифмического масштаба, но можно использовать и другие методы линеаризации. После логарифмирования формулы (1) получим

$$\ln \tau = \ln C - \frac{3}{2} \ln m$$

На рис. 6 построена зависимость  $\ln \tau$  от  $\ln m$ . Хорошо заметно, что на начальном этапе экспериментальные точки достаточно близки к прямой, коэффициент наклона которой приблизительно равен -1,5, что говорит о том, что предложенная модель достаточно корректно описывает экспериментальные данные на начальных этапах плавления. Возможно, что отклонения от нее на больших временах связаны с существенным изменением формы капли.

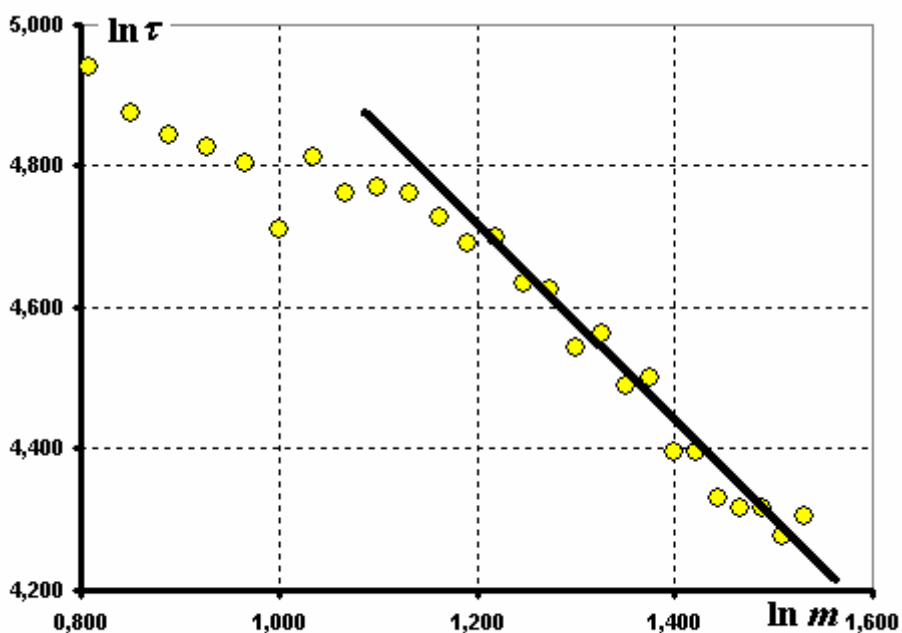


Рис. 6 Время образования капли, логарифмический масштаб

## Задание 2. «Колебания стержня»

Задача не блещет оригинальностью, поэтому ограничимся приведением результатов измерений, построением требуемых графиков и небольшим комментарием. Тем более, что формулы хорошо выполняются.

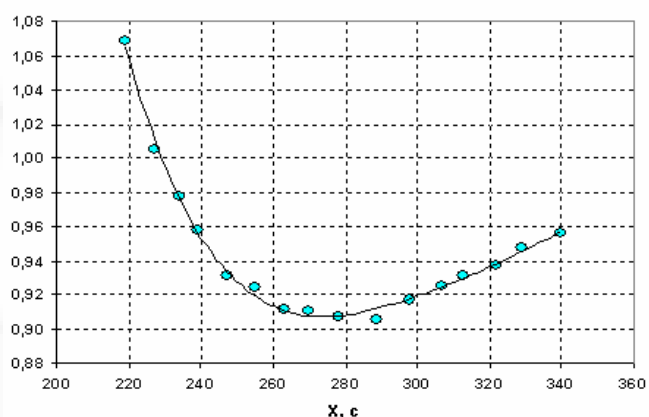
Дурацкий совет организаторам: взвесьте половинку ластика на весах, запомните результат и никому не говорите, как вы его получили!

Колебания без груза внизу.

Таблица 1.

X, с	Время 20 колебаний, с		Период, T, с
10	19,15	19,09	0,96
21	19,01	18,89	0,95
28	18,71	18,78	0,94
37	18,7	18,56	0,93
43	18,53	18,48	0,93
52	18,3	18,38	0,92
61	18,14	18,1	0,91
72	18,19	18,11	0,91
80	18,22	18,2	0,91
87	18,2	18,26	0,91
95	18,59	18,39	0,92
103	18,59	18,65	0,93
111	19,23	19,07	0,96
116	19,62	19,47	0,98
123	20,09	20,11	1,01
131	21,37	21,37	1,07

Период колебаний маятника без груза

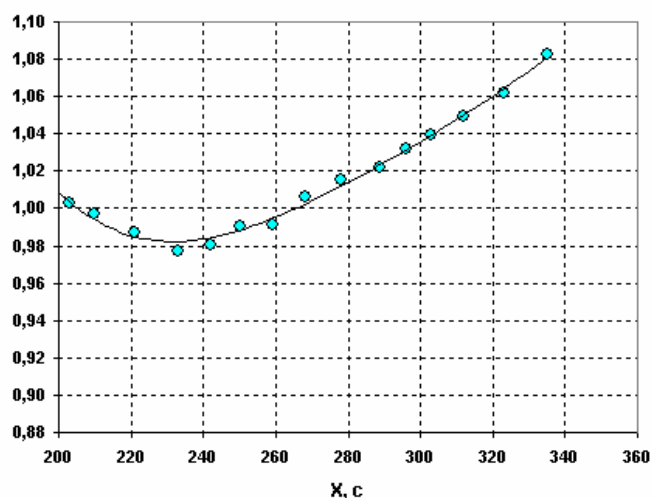


Колебания с грузом внизу.

Таблица 2.

X, с	Время 20 колебаний, с		Период, T, с
15	21,61	21,7	1,083
27	21,3	21,16	1,062
38	21,03	20,93	1,049
47	20,82	20,75	1,039
54	20,62	20,66	1,032
61	20,49	20,39	1,022
72	20,35	20,25	1,015
82	20,13	20,11	1,006
91	19,84	19,82	0,992
100	19,81	19,81	0,991
108	19,59	19,62	0,980
117	19,53	19,57	0,978
129	19,72	19,78	0,988
140	19,93	19,95	0,997
147	20,1	20,03	1,003
153	20,38	20,32	1,018
159	20,56	20,53	1,027

Период колебаний маятника с грузом





## 11 класс.

### Задание 1 «Радуга»

Отметим основные моменты решения этой задачи:

1. Прежде всего, нужна тщательная юстировка – особенно при изменении малых изменений показателя преломления. Важно не сдвинуть с места ни лампочку, ни линзу, ни пробирку, ни прозрачную линейку.
2. В качестве подставок под пробирку и под линейку можно использовать пластилин – лучше запастись им, каждому по два куска!
3. Полное затемнение не нужно, но лучше когда в комнате сумрачно, тогда на экране лучше видна радуга. Наблюдать блик и измерять его положение можно и при дневном свете.
4. Прозрачную линейку лучше располагать на расстоянии порядка 50 см, а глаз за ней еще на сантиметров 25 дальше.

### Теперь о решении.

1. Измерение фокусного расстояния линзы традиционная лабораторная работа. Лучше всего использовать формулу линзы и получить несколько изображений.

2. Для измерения среднего показателя преломления проще всего измерить расстояние  $d$  от задней поверхности пробирки до экрана, на котором фокусируются лучи.

Рассмотрение хода луча в параксиальном приближении приводит к формуле

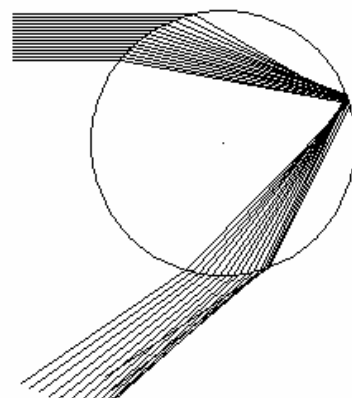
$$d = R \frac{2 - n}{n - 1}. \quad (1)$$

из которой легко определить  $n$ .

3. Радуга образуется лучами, испытавшими два преломления на поверхности пробирки и одно отражение от внутренней поверхности. Важно отметить, что резкий блик возможен только из-за наличия максимума в зависимости угла отклонения  $\alpha$  этого луча от точки попадания луча на поверхность пробирки.

Экспериментальное доказательство – перекрыть дальнюю половинку пробирки и радуга исчезает.

Численное значение угла  $\alpha \approx 42^\circ$ .



Зная среднее значение показателя преломления  $n = 1,33$ , формула, приведенная в условии, принимает вид

$$\delta\alpha = -2 \frac{\Delta n}{\bar{n}} \sqrt{\frac{4 - \bar{n}^2}{\bar{n}^2 - 1}} = -2,56\Delta n.$$

Угол  $\delta\alpha$  измеряется легко. Необходимо расположить линейку перпендикулярно найденному направлению на блик на известном расстоянии от пробирки. В наших измерениях это расстояние равнялось  $L = 520$  мм. Если смещение блика на линейке равно

$\delta x$ , то изменение угла, очевидно равно  $\delta\alpha = \frac{\delta x}{L}$ . Таким образом, формула для расчета

изменения показателя преломления имеет вид

$$\Delta n = \frac{\delta x}{2,56L}.$$

4. При изменении цвета блика от темно красного, до синего (виден плохо, сразу за зеленым) смещение блика оказалось равным примерно 15 мм, что соответствует

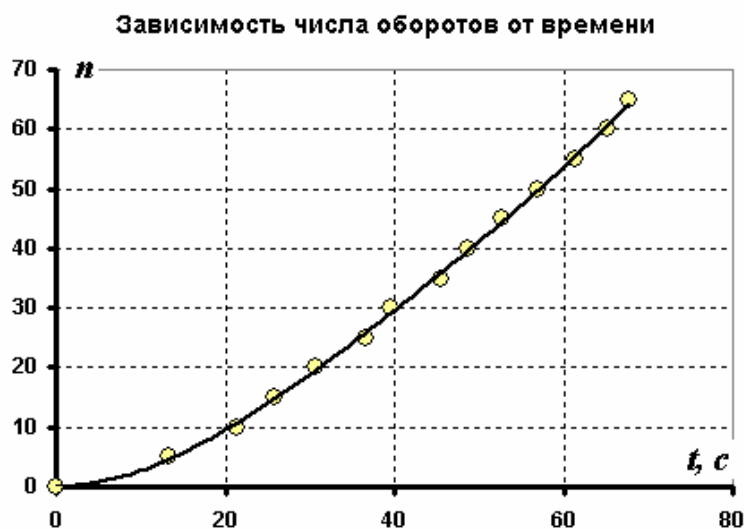
изменению показателя преломления на  $\Delta n = 1,1 \cdot 10^{-2}$  (что, кстати, примерно совпадает с табличными данными).

5. При добавлении геля в воду блик монотонно смещается в пределах до примерно  $\delta x = -25 \div 30 \text{ мм}$ . Следовательно, показатель преломления возрастает на величину порядка  $\Delta n \approx 2,5 \cdot 10^{-2}$ .

## Задание 2. «Кручение и верчение»

Проведение эксперимента не вызывает затруднений. Таблица 1 результатов измерений времени раскручивания (начальная закрутка равнялась 68 оборотов – так уж получилось) до нужного числа оборотов приведена ниже. Рядом построен график закона движения.

Число сделанных оборотов $n$	Время раскручивания $t, \text{с}$
5	13,23
10	21,38
15	25,85
20	30,65
25	36,6
30	39,54
35	45,59
40	48,7
45	52,69
50	56,89
55	61,3
60	65,15
65	67,73

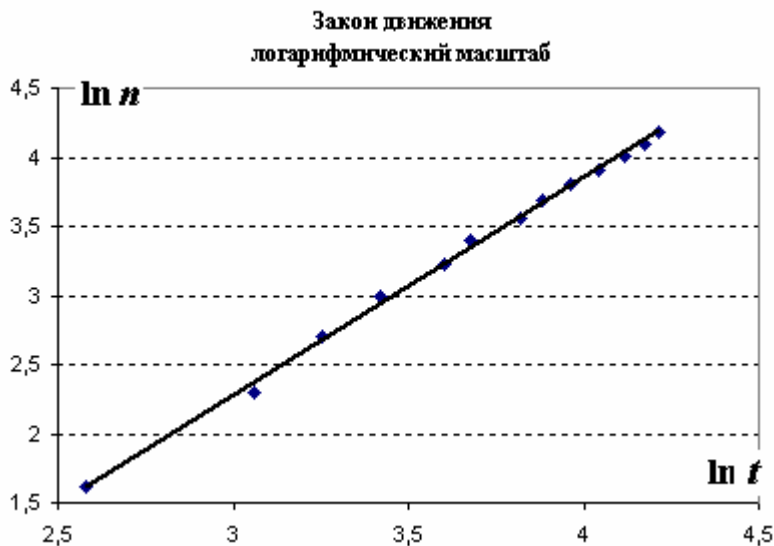


Зависимость явно не линейна, но и не квадратична. Для подгонки под степенную функцию строим график в логарифмическом масштабе.

С высокой степенью точности – линейная зависимость. Рассчитанный по МНК коэффициент наклона (он же показатель степени в законе движения) равен **1,56**. Что очень близко к  $\frac{3}{2}$ .

Таким образом, эмпирический закон движения имеет вид

$$n = Ct^{\frac{3}{2}}$$



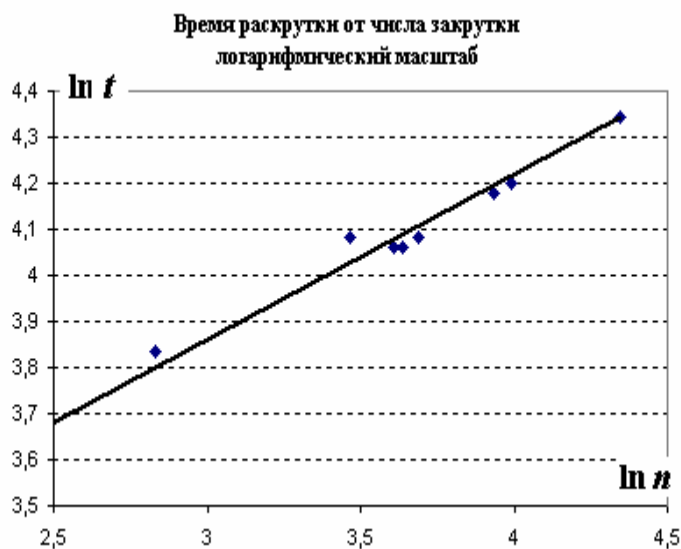
(почти третий закон Кеплера – может не случайно?)

Аналогичные значения были получены и для других начальных закруток.

### Часть вторая – время раскручивания.

Поступаем аналогично: таблица, график, логарифмический масштаб, МНК. Вот результаты.

Число оборотов закрутки N	Время раскрутки t, с
5	12,14
10	19,55
15	24,75
20	28,98
25	32,95
30	38,63
35	41,59
40	45,74
45	51,13
50	55,08
55	56,49



Расчет коэффициента наклона дал значение **0,36**, что приводит к примерной степенной зависимости вида

$$T = CN_0^{\frac{1}{3}}$$

*Красиво, но не понятно!*