Республиканская физическая олимпиада (III этап) 2008 год

Решения задач экспериментального тура.

10* класс (двенадцатилетняя школа).

Задание 1. **«Пузырек»**

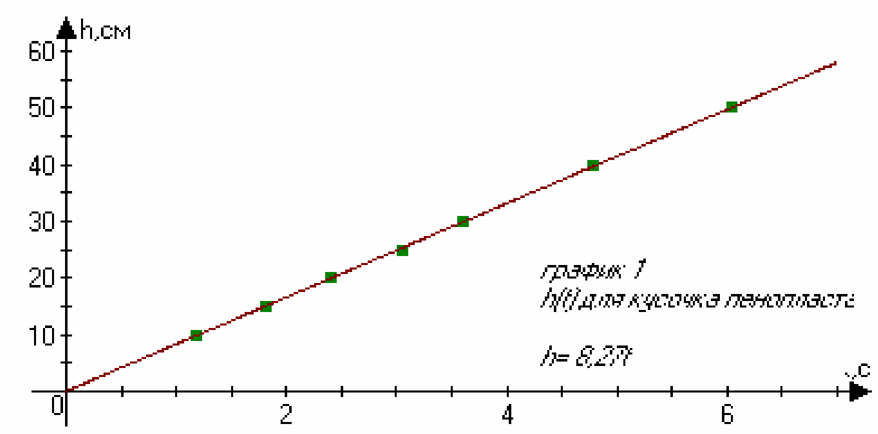
Задание 1.1.

В трубке, заполненной водой, плавает маленький кусочек пенопласта. Исследуйте, является ли движение кусочка пенопласта равномерным при его всплывании.

Выполнение.

С помощью медицинской резинки отмечаем определенный отрезок трубки. Поставив трубку вертикально, отмечаем промежуток времени, за который кусочек всплывет на данном этапе. Повторяем измерения, меняя длину отрезка.
Данные измерений и вычислений в таблице 1 и на графике 1.

h,см	*t, с*							*< t >,с*	*v, см/с*
10	1,1	1,22	1,14	1,2	1,12	1,18	1,28	1,18	8,47
15	1,79	1,76	1,82	1,83	1,82	1,79	1,84	1,81	8,3
20	2,43	2,25	2,42	2,5	2,43	2,42	2.43	2,41	8,3
25	3,18	3.04	3,06	3,02	2,98	3,06	3,05	3,06	8,3
30	3,52	3,68	3,67	3,53	3,5	3,67	3,6	3,6	8,3
40	4,87	4,36	4,77	4,95	4,87	4,85	4,87	4,79	8,35
50	6,03	6,08	6,05	6,04	6,08	6,04	6,05	6,05	8,3

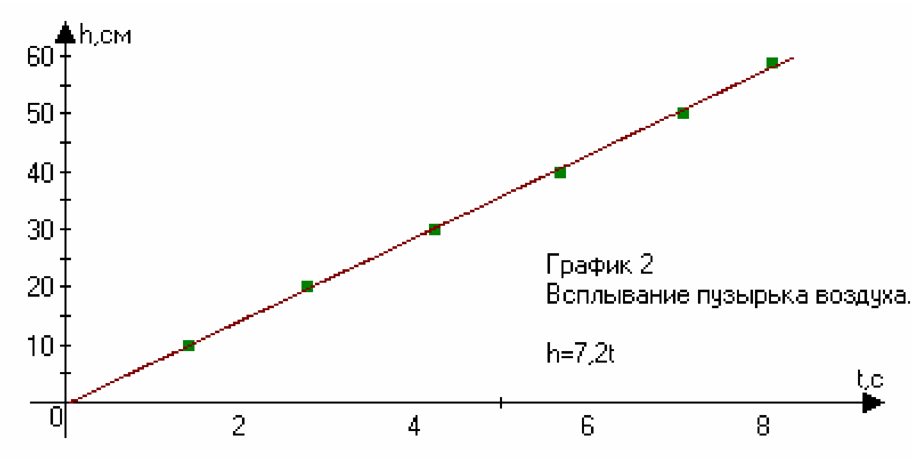


Задание 1.2.

Удалите пенопласт и оставьте маленький пузырек воздуха высотой несколько миллиметров.
Если трубку поставить вертикально, пузырек начнет всплывать. Исследуйте, движение пузырька воздуха. Равномерно ли движение пузырька?

Выполнение.
Проделав те же эксперименты, что и с кусочком пенопласта, получили следующие данные (таблица 2, график 2).

h,см	10	20	30	40	50	59
t,c	1,41	2,78	4,25	5,68	7,12	8,1

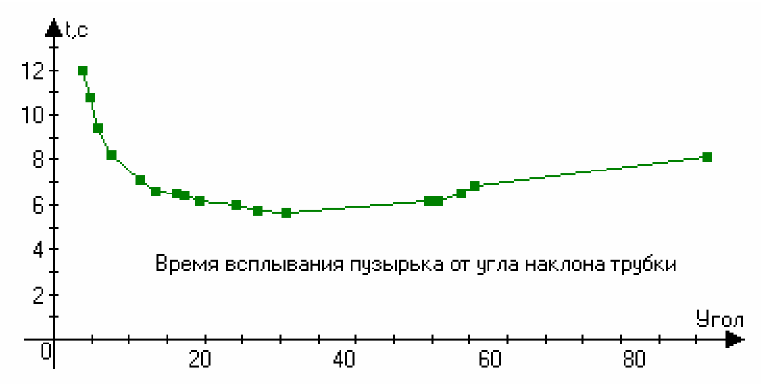


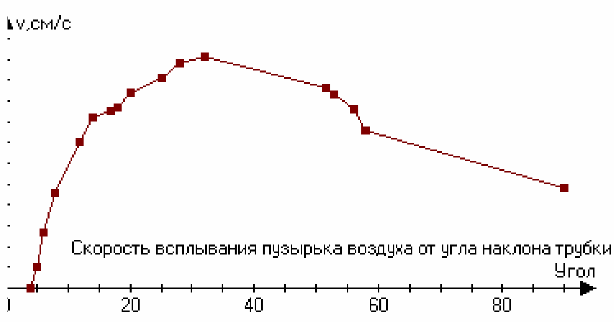
<u>Задание 2.1.</u>

Изменяя наклон трубки к горизонту, исследуйте зависимость скорости всплывания пузырька воздуха от угла наклона трубки к горизонту.

<u>Выполнение.</u>
Данные опыта приведены в таблице 3 и на графиках 3,4

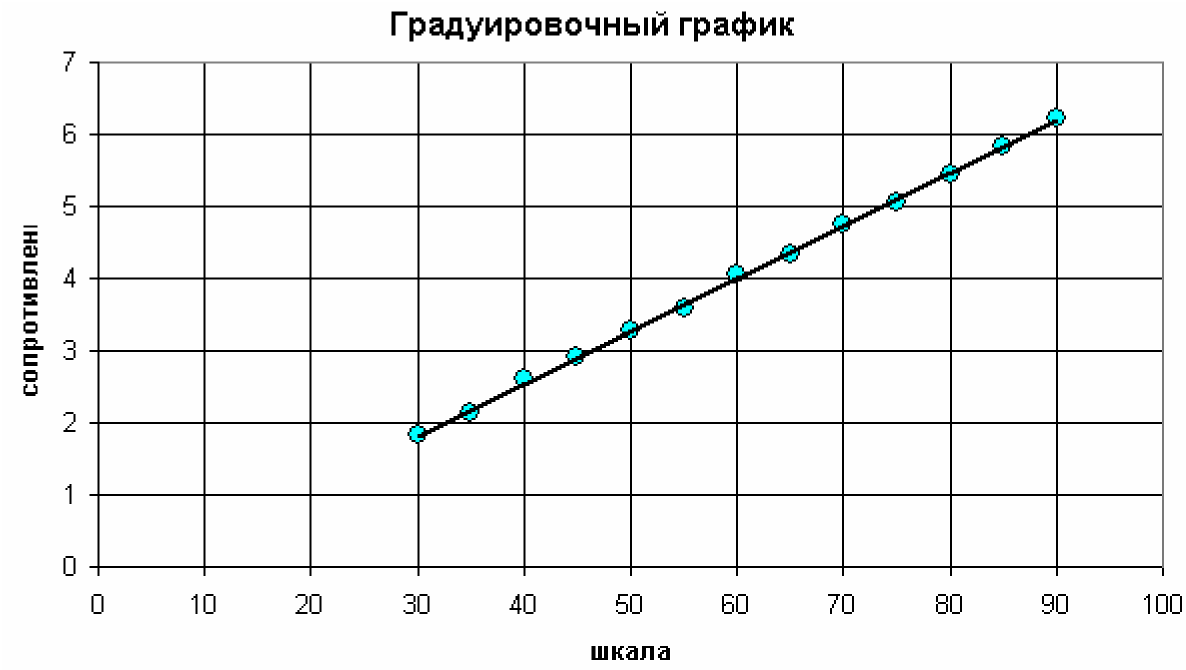
α	4	5	6	8	12	14	17	18	20
t,c	12	10.8	9.45	8,2	7,07	6,6	6,47	6,47	6,18
v,см/с	5	5.5	6,35	7,3	8,5	9,1	9,27	9,36	9,7
α	25	28	32	51.5	53	56	58	90	
t,c	5,97	5,77	5,68	6,12	6,2	6,47	6,8	8,1	
v,см/с	10,	10,4	10,5 6	9,8	9,67	9,3	8,8	7,4	





Задание 2. *Параллельное соединение проводников.*

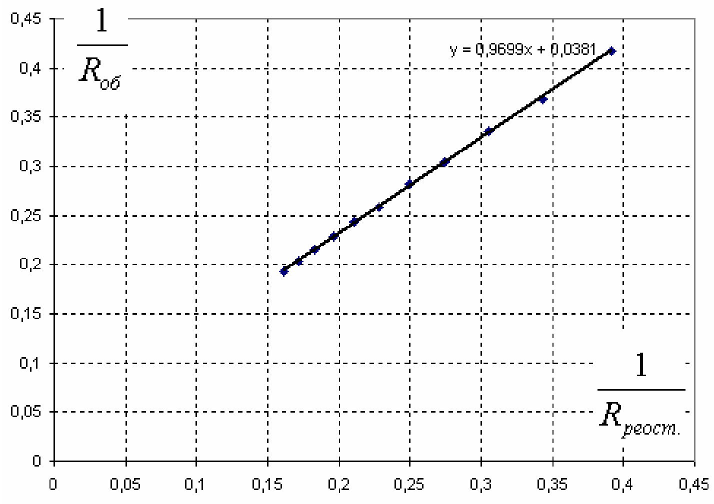
1. Градуировка приводит, очевидно, к линейной зависимости. Сам график зависит от крепления шкалы реостата. Методика измерений – очевидна и здесь не приводится! Пример, на рисунке.



2. Удобно построить зависимость $\frac{1}{R_{об}}$ от проводимости реостата (его сопротивление следует определять с помощью градуировочного графика) $\frac{1}{R_{реост.}}$. Линейность этого графика с коэффициентом наклона равным 1, свидетельствует о выполнении закона параллельного соединения проводников

$$\frac{1}{R_{об}} = \frac{1}{R_{реост.}} + \frac{1}{R_x}.$$

Пример построения графика на рисунке.



10 класс (11-летняя школа).

Задание 1. «Формула Торричелли»

1.1 Пусть начальная высота жидкости в сосуде h_0, внутренний диаметр сосуда D, диаметр отверстия d (рис.1). В момент, когда высота жидкости в сосуде равна h, скорость вытекания жидкости из сосуда, согласно формуле Торричелли $\upsilon(h) = \sqrt{2gh}$.

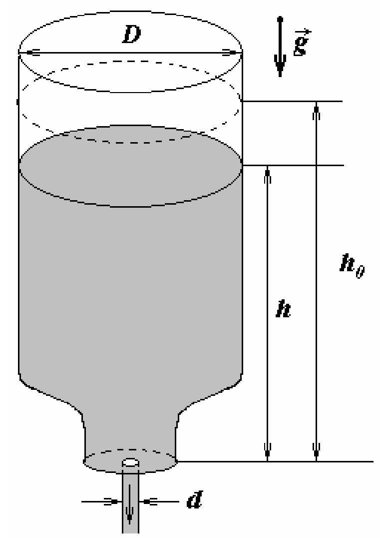


Рис. 1

Соответственно, за малый промежуток времени Δt из отверстия вытечет вода объемом (считаем, что в течение этого малого промежутка времени скорость вытекания остается постоянной величиной)

$$\Delta V = \frac{\pi d^2}{4}\upsilon(h)\Delta t = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{2hg}\,\Delta t.$$

Это вызовет понижение уровня воды в сосуде на величину

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{S} = \frac{d^2}{D^2}\sqrt{2hg}\,\Delta t. \qquad (1)$$

Используя выражение, приведенное в условии, вычислим приращение Δh как разность $h(t+\Delta t) - h(t)$ при условии $\Delta t \to 0$

$$\Delta h = h_0\left(((1 - b(t+\Delta t))^2 - (1+bt)^2\right) = 2h_0(1-bt)b\Delta t. \qquad (2)$$

Из формулы, приведенной в условии, найдем, что $(1-bt) = \sqrt{\frac{h}{h_0}}$), с учетом чего (2) преобразуется к виду

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = 2h_0(1-bt)b = 2h_0 b\sqrt{\frac{h}{h_0}} = b\sqrt{\frac{2h_0}{g}}\sqrt{2gh} = \{(1)\} = \frac{d^2}{D^2}\sqrt{2hg}. \qquad (3)$$

1.2 Из (3) следует выражение для коэффициента b через параметры установки

$$\boxed{b = \frac{d^2}{D^2}\sqrt{\frac{g}{2h_0}}}. \qquad (4)$$

Из (4) следует важный вывод: для соблюдения постоянства коэффициента b следует проводить измерения только в цилиндрической части бутылки, т.е. до тех пор, пока вода не опустилась до сужающейся (нижней) части бутылки.

Часть 2. Закон вытекания.

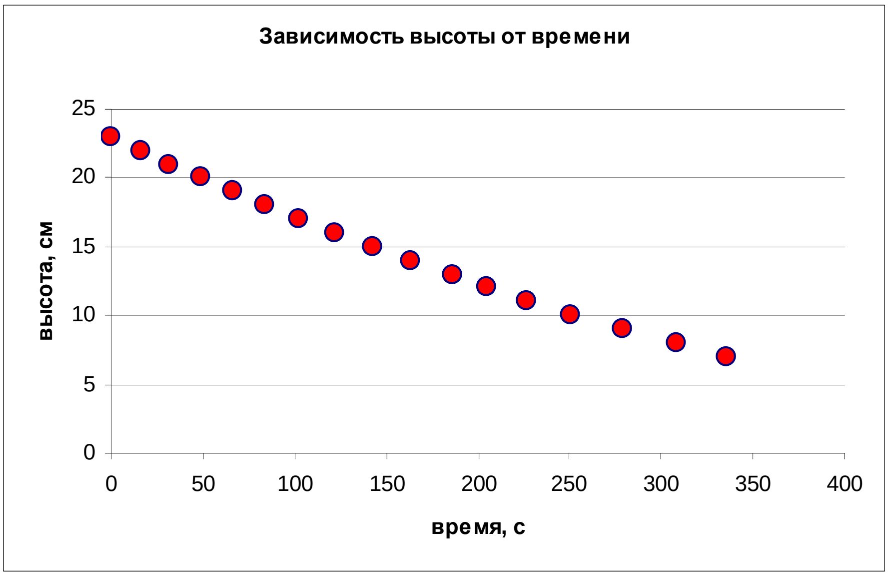
2.1 Аккуратно заливаем воду в бутылку и измеряем зависимость высоты уровня воды в сосуде H от времени t.

В таблице приведены экспериментальные данные для пластиковой бутылки объемом 1 литр при диаметре пробки 1,6 мм.

Построим график приведенной зависимости.

Как видим из графика, полученная зависимость явно нелинейна, поскольку в конце процесса выливания скорость жидкости явно уменьшается.

H, см	t, с
23	0
22	16
21	32
20	49
19	67
18	84
17	102
16	122
15	143
14	164
13	186
12	205
11	227
10	251
9	279
8	308
7	336

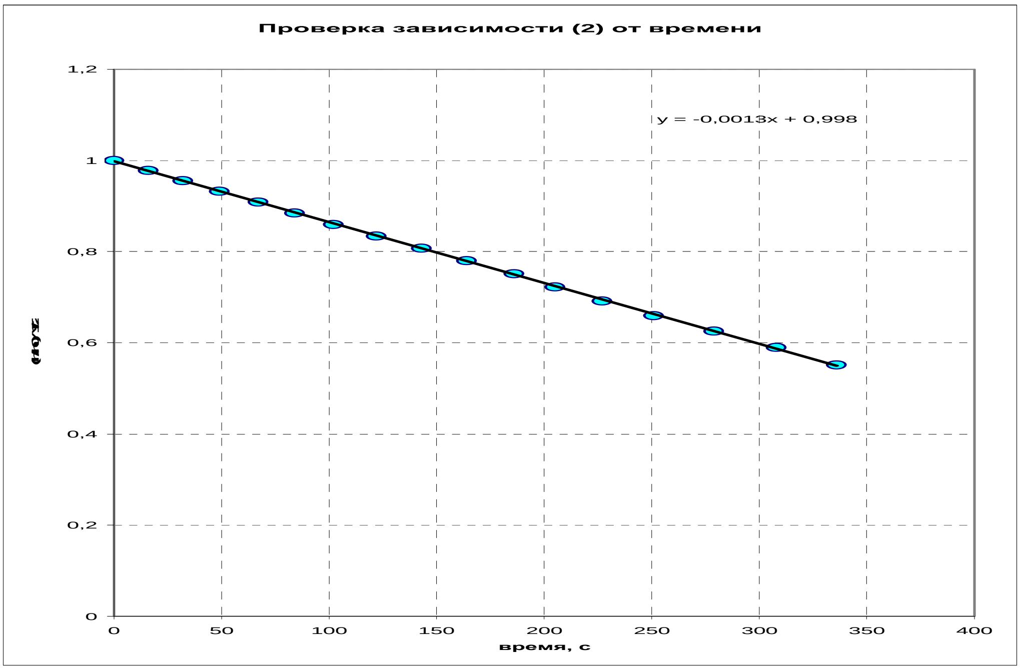


2.2 Как следует из пункта 2.1, для проверки выполнимости закона (2) необходимо линеаризовать систему, т.е. преобразовать выражение (2) таким образом, чтобы полученная зависимость представляла бы собой прямую линию.

В нашем случае это удобно сделать следующим образом

$$\sqrt{\frac{h(t)}{h_0}} = 1 - bt,$$

где значение коэффициента b найдено в пункте 1.2. Соответственно, построим зависимость величины $\sqrt{\frac{h(t)}{h_0}}$ от времени.



Как видим из полученной диаграммы, в данном случае экспериментальные точки достаточно хорошо ложатся на прямую, что подтверждает справедливость зависимости (2).

2.3 Для определения оптимального значения коэффициента можно применить метод МНК для линейной зависимости. Так, для экспериментальных данных, приведенных в таблице, это значение составляет $b = 0{,}0013c^{-1}$.

2.4. В качестве причин возможных отклонений следует назвать наличие у жидкости вязкости (внутреннего трения), возможное неламинарное течение (завихрений) при приближении уровня воды к отверстию, поверхностное натяжение жидкости.

Часть 3. Другие отверстия.

3.1 Как следует из полученных зависимостей, время τ вытекания обратно пропорционально значению коэффициента $\boxed{b = \dfrac{d^2}{D^2}\sqrt{\dfrac{g}{2h_0}}}$, который при прочих равных условиях прямо пропорционален квадрату диаметра отверстия. Отсюда следует, что

$$\tau \propto \frac{1}{d^2}.$$

Таки образом, отношение времен вытекания воды из бутылки при разных диаметрах отверстий определяется отношением обратных квадратов их радиусов

$$\tau_1 : \tau_2 : \tau_3 = \frac{1}{d_1^2} : \frac{1}{d_2^2} : \frac{1}{d_3^2}.$$

Соответственно, в нашем случае

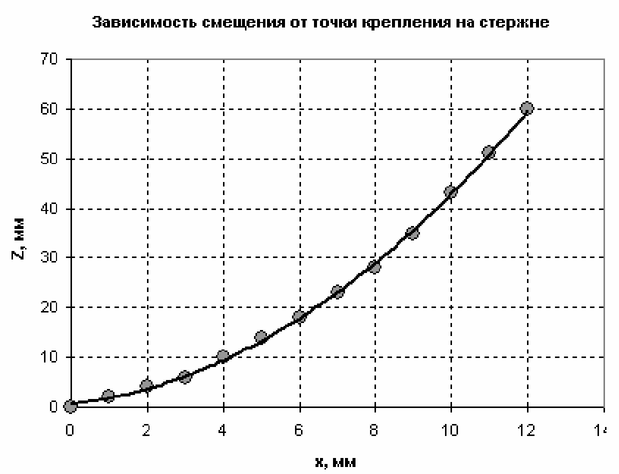
$$\tau_1 : \tau_2 : \tau_3 = \frac{1}{1} : \frac{1}{4} : \frac{1}{9} = 36 : 9 : 4.$$

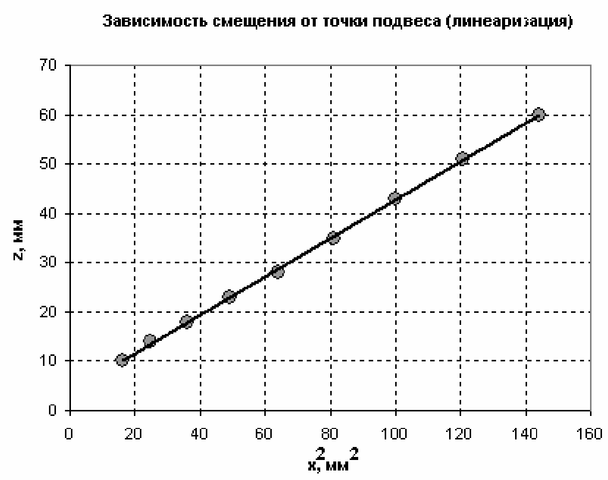
С учетом погрешности эксперимент дает близкие значения.

Задание 2. Изгиб стержня.

При подвешивании груза к палочке зависимость деформации от положения практически линейна, что подтверждает закон Гука. Пример на рисунке.

При подвешивании малого груза к стержню, смещение конца палочки оказывается примерно пропорционально квадрату координаты точки подвеса, что подтверждает линеаризованная зависимость.





В этом случае можно показать, что величина прогиба оказывается пропорциональной кубу координаты точки подвеса.

11 класс.

Задание 1. «Качательные» колебания.

При колебательном движении механическая энергия системы складывается из кинетической и потенциальной энергий всех тел, образующих систему.

Будем считать, что кинетической энергией деревянной палочки и центрирующего кусочка пластилина на ее конце можно пренебречь в силу малости их массы ($m \approx 5г$) по сравнению с массой грузика ($M \approx 100г$).

Тогда кинетическая энергия системы будет определяться только кинетической энергией грузика (цилиндра), которая при качении может быть найдена как сумма его кинетических энергий поступательного и вращательного движений

$$E_K = \frac{M\upsilon^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}, \tag{1}$$

где υ — скорость поступательного движения грузика (рис. 1), M — его масса, ω — угловая скорость вращения грузика, J — момент инерции грузика (цилиндра) относительно оси, проходящей через его центр масс.

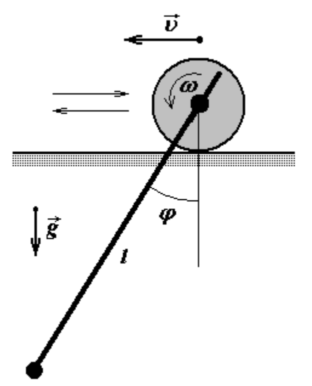


Рис. 1

С учетом того, что качение грузика по горизонтальной поверхности происходит без проскальзывания, можем записать

$$\upsilon = \omega R. \tag{2}$$

С учетом (2) перепишем (1) в виде

$$E_K = \frac{M\omega^2 R^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = \frac{J'\omega^2}{2},$$

где $J' = J + mR^2$.

Запас потенциальной энергии системы при отклонении от положения равновесия определяется только увеличением потенциальной энергии палочки, поскольку грузик движется по горизонтальной поверхности. Иными словами, здесь уже нельзя пренебречь массой палочки m

$$E_П = mg\frac{l}{2}(1-\cos\varphi) = mg\frac{l}{2}2\sin^2(\frac{\varphi}{2}) \approx \frac{mgl}{2}\frac{\varphi^2}{2}, \tag{3}$$

где φ — угол отклонения палочки от вертикали в процессе малых ($\varphi \to 0$) крутильных колебаний, l — расстояние от точки крепления палочки на грузике до центра масс палочки (фактически до ее середины). Массой центрирующего грузика на кончике палочки пренебрежем.

В пренебрежении действием силы трения запишем закон сохранения механической энергии при колебательном движении

$$\frac{mgl}{2}\frac{\varphi^2}{2} + \frac{J'\omega^2}{2} = const,$$

дифференцируя который приходим к уравнению гармонических колебаний

$$\varphi''(t) + \Omega^2\varphi(t) = 0,$$

где $\Omega = \sqrt{\frac{mgl}{2J'}}$.

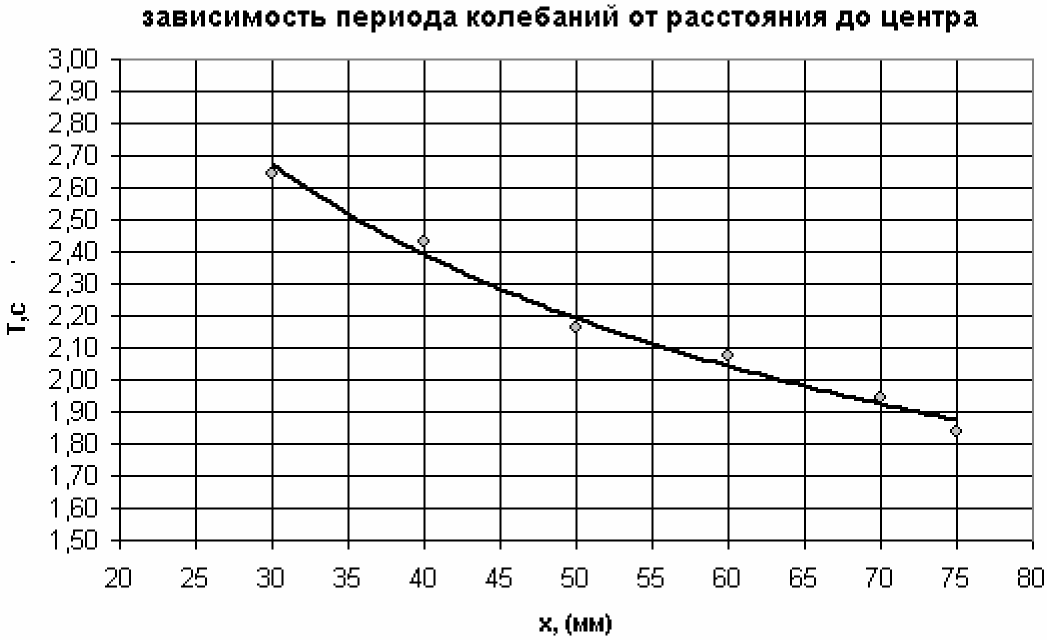
Соответственно, период малых крутильных колебаний цилиндра с легкой палочкой по горизонтальной поверхности

$$T = \frac{2\pi}{\Omega} = 2\pi\sqrt{\frac{2J'}{mgl}}. \tag{4}$$

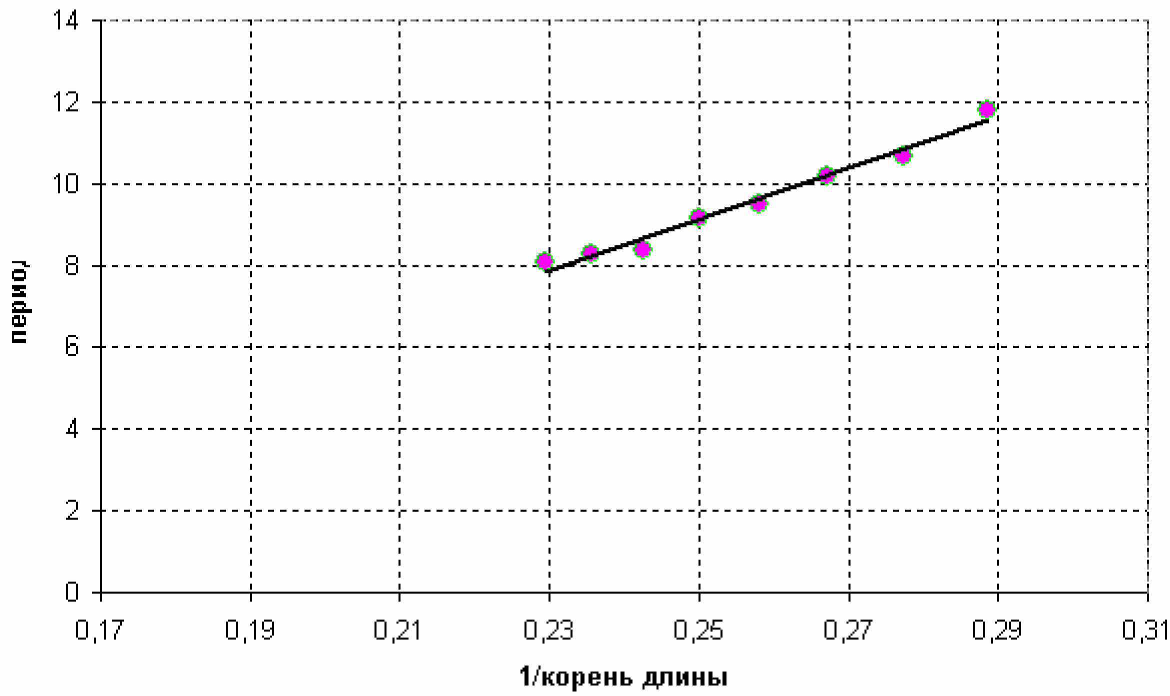
Как следует из (4), период колебаний T обратно пропорционален расстоянию от оси цилиндра до центра масс системы

$$T \propto \frac{1}{\sqrt{l}}.$$

Построим график полученной зависимости по экспериментальным точкам:



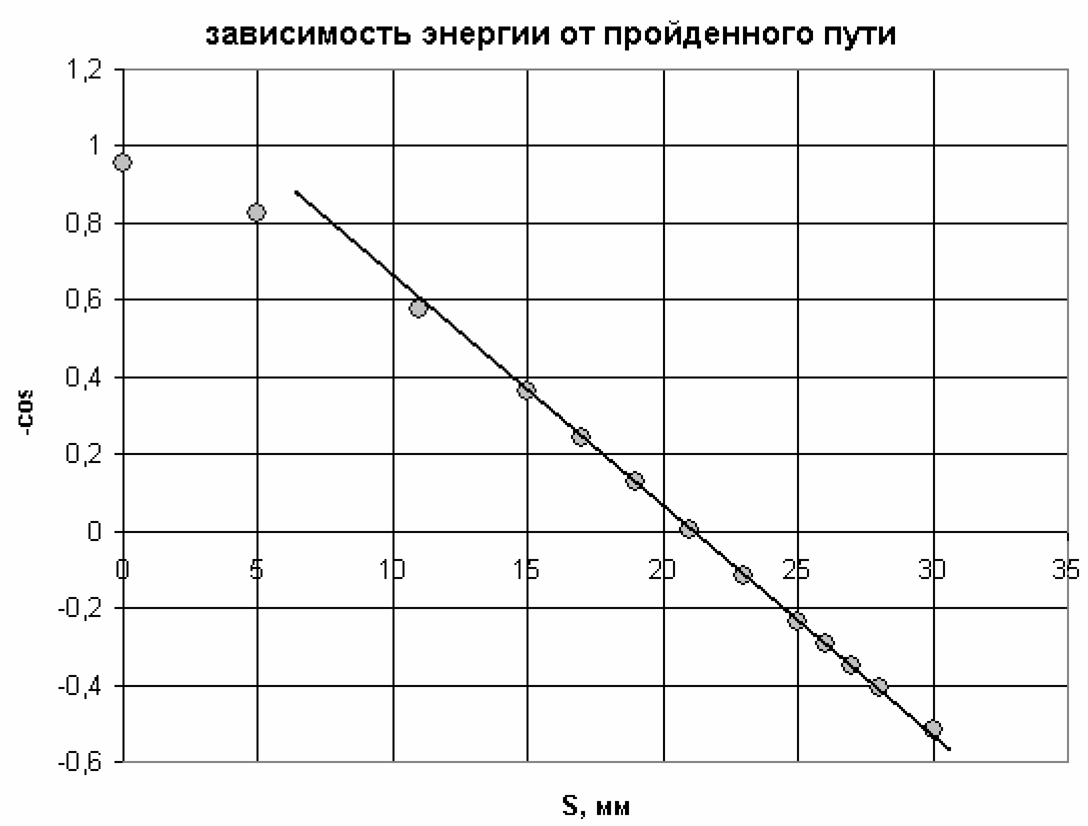
То, что показатель степени примерно равен ½ можно показать, построив зависимость квадрата периода от величины обратной расстоянию до центра, либо периода колебаний от $\frac{1}{\sqrt{l}}$, получается вполне приличная линейная зависимость.



2. Будем считать, что сила трения качения остается постоянной. Тогда ее работа прямо пропорциональна пути, пройденному цилиндром по горизонтальной поверхности. Если

отклонение от положения равновесия равно Δx, то энергия в крайних положениях пропорциональна $-\cos\varphi$, где $\varphi = \dfrac{\Delta x}{R}$ - угол отклонения стержня от вертикали.

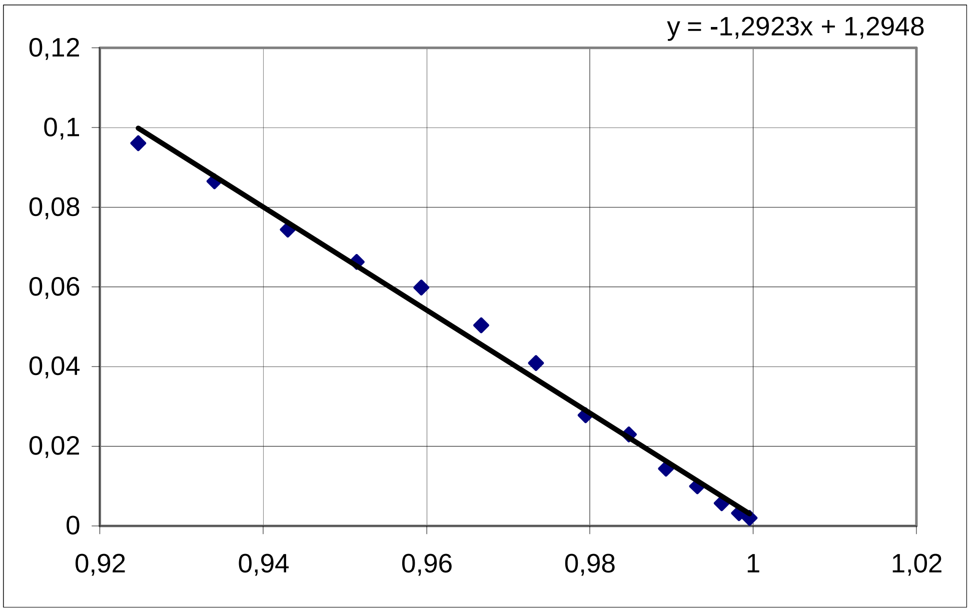
График зависимости показан на рисунке.



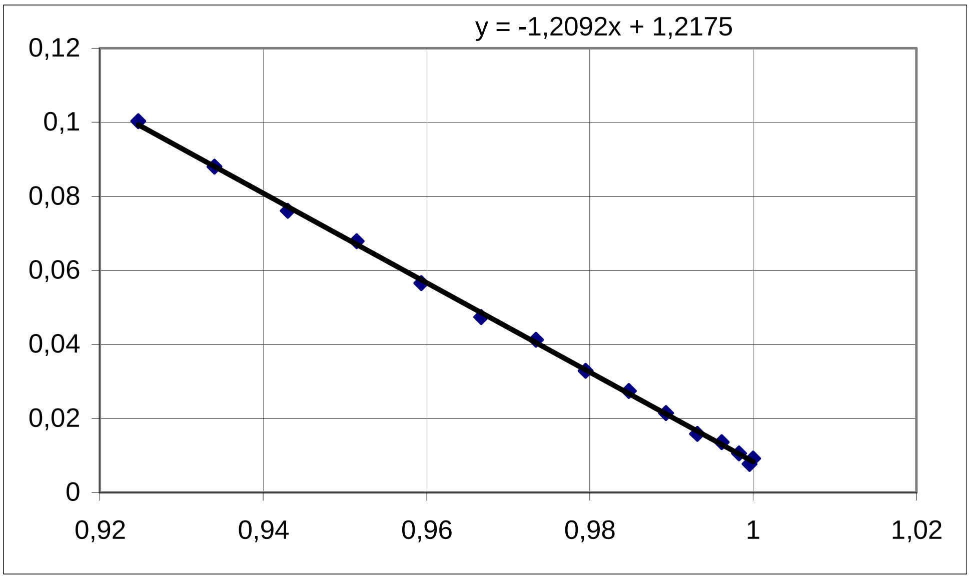
По наклону графика можно определить коэффициент трения качения (отношение масс цилиндра и стержня определяется из периода колебаний).

<u>Задание 2. </u> Интерференция на бумаге.

Справедливость формулы, приведенной в подсказке, подтверждается результатами измерений. На рисунках приведены графики зависимости $\frac{1}{D^2}$ от $\cos\alpha$. Эти же графики позволяют определить периоды решеток.



Для листа №1.

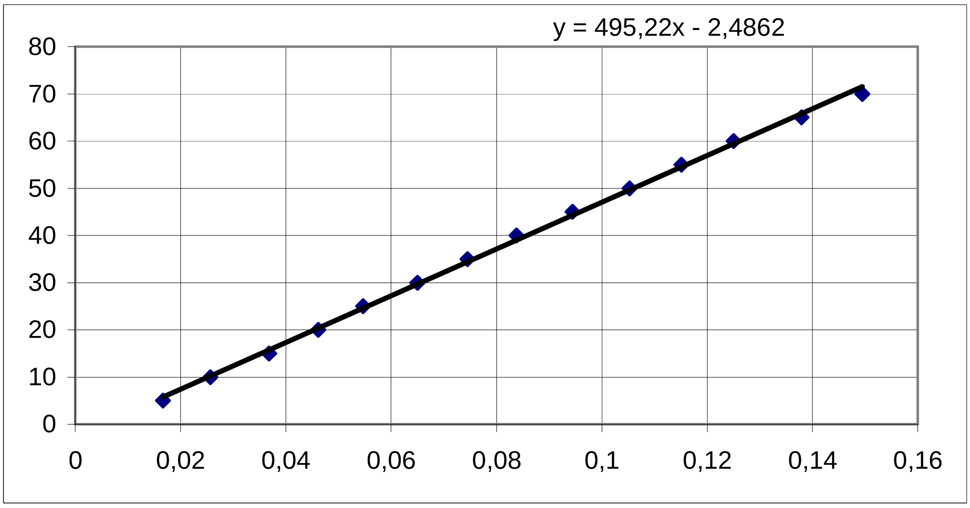


Для листа №2

Наложению колец соответствует схема Юнга. В этом случае ширина полосы оказывается обратно пропорциональной сдвигу пленки δ

$$\Delta x = \frac{D_0^2}{2\delta}$$

Измерения подтверждают этот вывод – На графике зависимость величины обратной ширине полосы от сдвига.



По наклону графика можно определить требуемый параметр.