



*А.И. Слободянюк
Н.В. Козловский
Л.Г. Маркович*

*Республиканская
физическая
олимпиада
(III этап)
2011 год.*



*Экспериментальный тур
Решение*

Задание 1.

Последовательное и параллельное соединение ... проводников.

Для проведения измерений удобно использовать следующую схему.

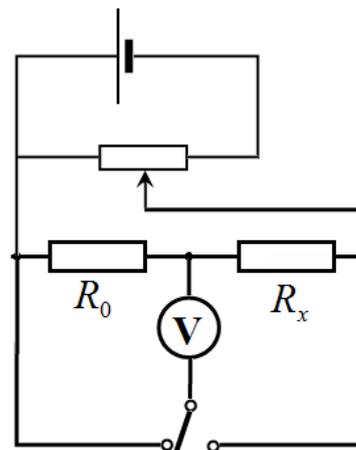
При переключении ключа измеряются:

- напряжение U_0 на резисторе с известным сопротивлением R_0 ;

- напряжение U_1 на исследуемом участке цепи R_x .

По измеренному напряжению U_0 и известному сопротивлению R_0 рассчитывается сила тока в цепи

$$I = \frac{U_0}{R_0}.$$

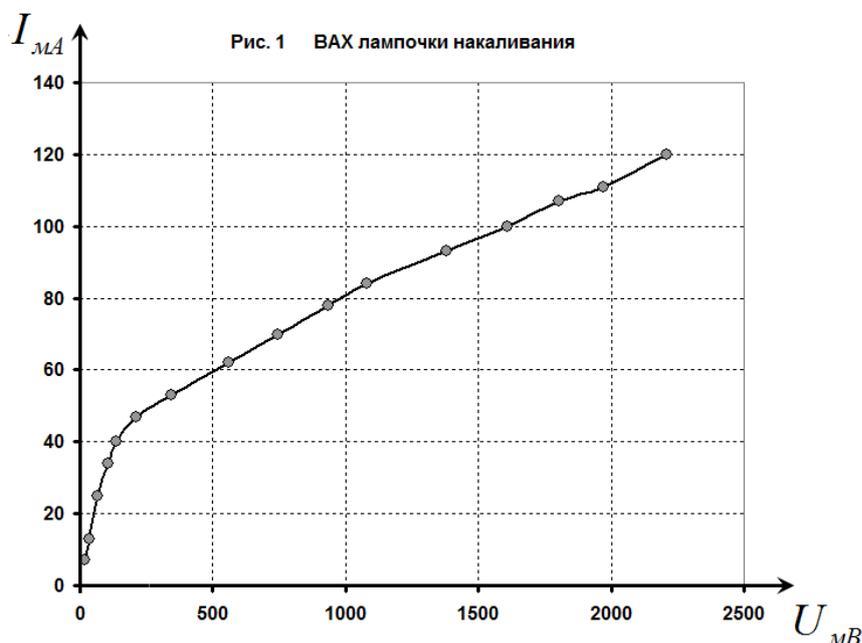


Часть 1. Электрическая лампочка.

Таблица результатов измерений зависимости силы тока через лампочку от напряжения на ней представлены в таблице 1. График ВАХ лампочки показан на рис. 1.

Таблица 1.

$U, \text{ мВ}$	$I, \text{ мА}$
18	7
35	13
65	25
104	34
135	40
212	47
343	53
562	62
744	70
934	78
1082	84
1381	93
1608	100
1805	107
1972	111
2210	120



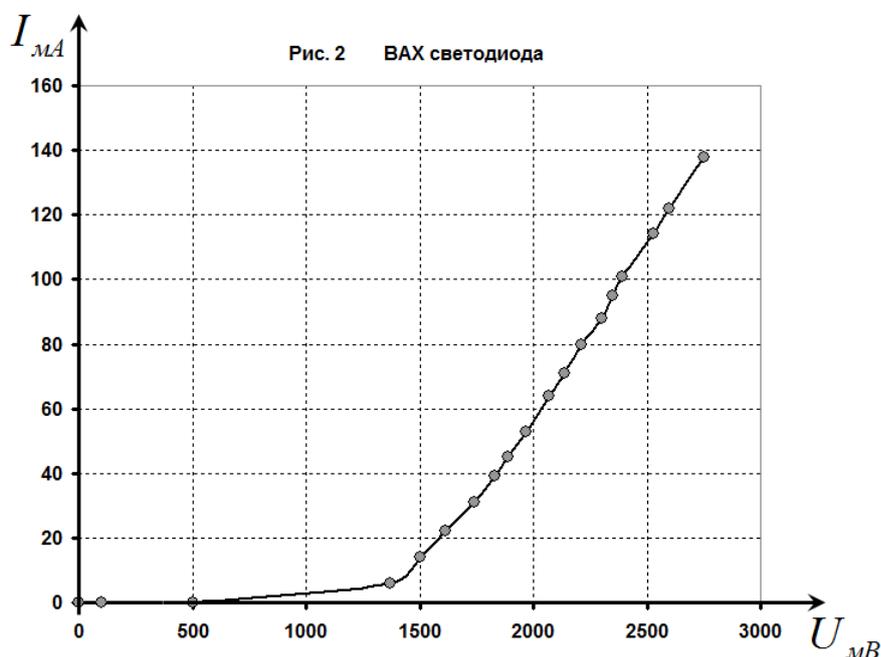
При увеличении силы тока нить накаляется, ее сопротивление возрастает, поэтому сила тока возрастает медленнее, чем по линейному закону.

Часть 2. Светодиод.

Таблица результатов измерений зависимости силы тока через светодиод от напряжения на ней представлены в таблице 1. График ВАХ светодиода показан на рис. 2.

Таблица 2.

$U, мВ$	$I, мА$
0	0
100	0
500	0
1368	6
1502	14
1616	22
1742	31
1832	39
1888	45
1970	53
2070	64
2140	71
2210	80
2300	88
2350	95
2390	101
2530	114
2600	122
2750	138

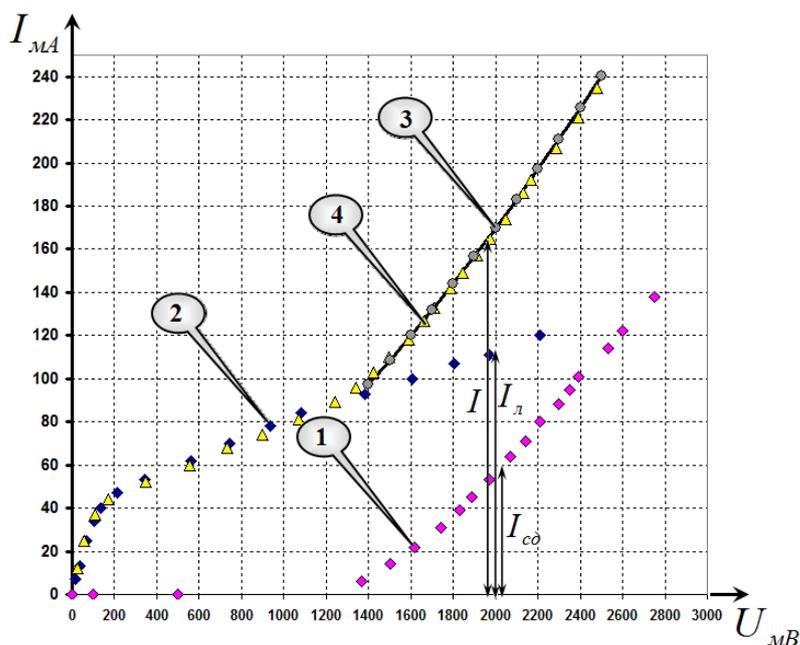


Часть 3. Параллельное соединение.

При параллельном соединении напряжения на обоих элементах одинаковы, а измеряемая сила тока равна сумме токов через каждый элемент. Поэтому для расчета ВАХ параллельно соединенных элементов необходимо на одном бланке построить ВАХ лампочки (1), ВАХ светодиода (2) и сложить их «вертикально», то есть при одном напряжении просуммировать силы токов

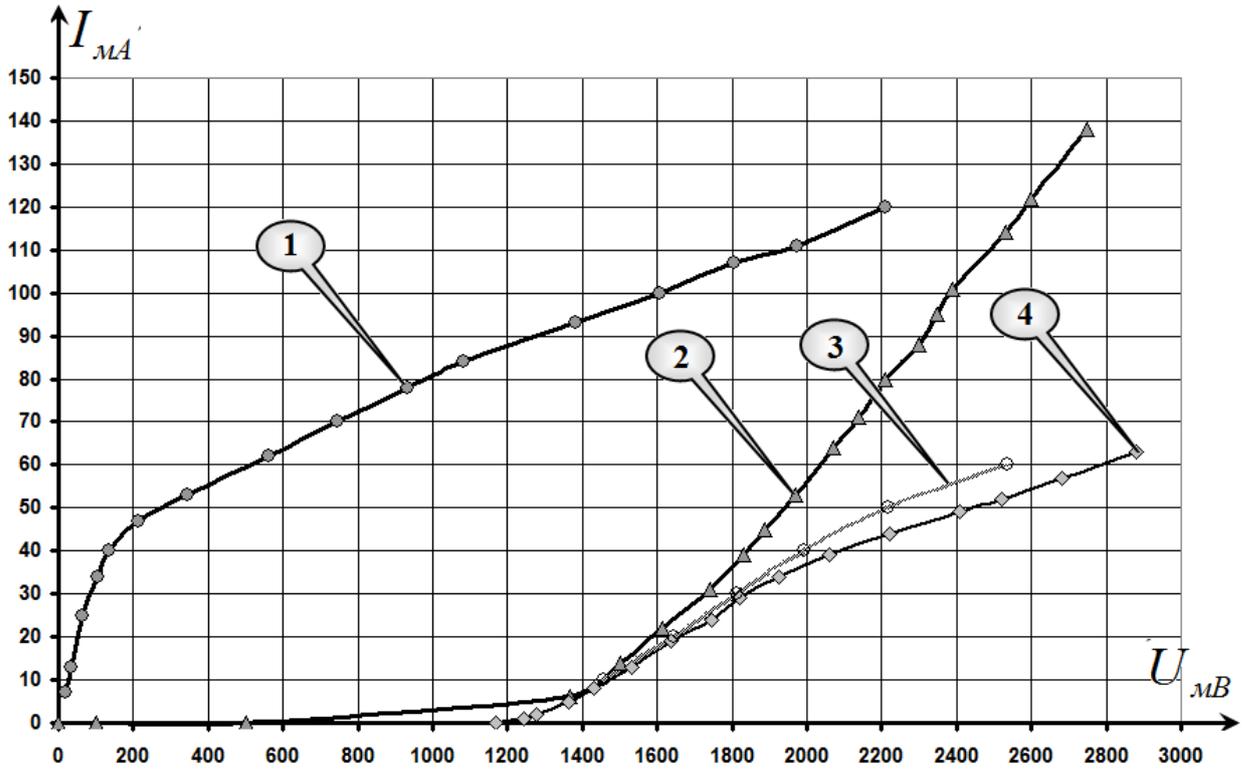
$$I = I_l + I_{cd}.$$

Результат такого построения показан на рисунке (4). На этом же графике представлены результаты измерений (4). Незначительные расхождения вполне объяснимы погрешностями измерений. Возможно также проявление зависимости сопротивления проволочного резистора от силы тока через него (из-за нагрева).



Часть 4. Последовательное соединение.

Аналогичную процедуру можно применить и для расчета ВАХ последовательно соединенных лампочки и светодиода. Только в этом случае из ВАХ следует складывать «горизонтально», то есть при одном и том же значении силы тока складывать напряжения на элементах. Результаты расчетов и проведенных измерений показаны на рис. 4. Все обозначения аналогичны обозначениям на рис. 3.



Задание 2.

Параллельное соединение ... резинок.

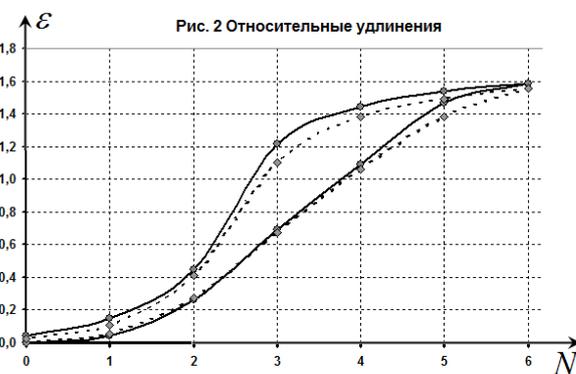
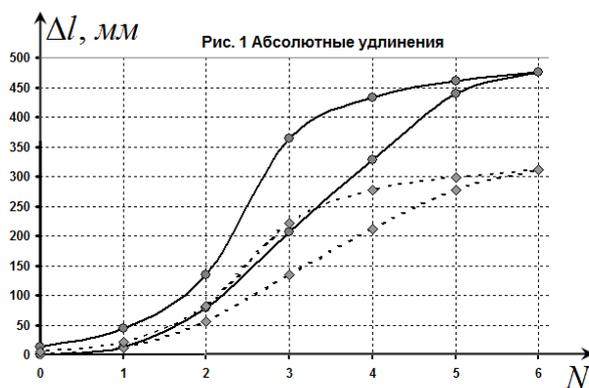
Часть 1. Одна резинка.

В таблице 1 приведены измеренные значения удлинения резинок Δl , а также рассчитанные относительные удлинения $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ при всех значениях числа подвешенных грузов N для двух различных значений начальной длины.

Таблица 1.

$L_0=30\text{ см}$			$L_0=20\text{ см}$		
N	Δl , мм	ε	N	Δl , мм	ε
0	0	0,00	0	0	0,00
1	13	0,04	1	11	0,06
2	79	0,26	2	55	0,28
3	207	0,69	3	135	0,68
4	328	1,09	4	212	1,06
5	439	1,46	5	277	1,39
6	476	1,59	6	311	1,56
6	476	1,59	6	311	1,56
5	461	1,54	5	298	1,49
4	432	1,44	4	277	1,39
3	364	1,21	3	221	1,11
2	135	0,45	2	82	0,41
1	45	0,15	1	21	0,11
0	13	0,04	0	5	0,03

На рис.1 показаны графики полученных зависимостей удлинений резинок от числа подвешенных грузов. На обоих графиках четко наблюдается гистерезис, то есть деформации резинок при разгрузке больше, чем при нагрузке (остаточные деформации). На рис. 2 показаны относительные деформации резинок – они одинаковы (с точностью до ошибок измерения) для двух начальных длин.

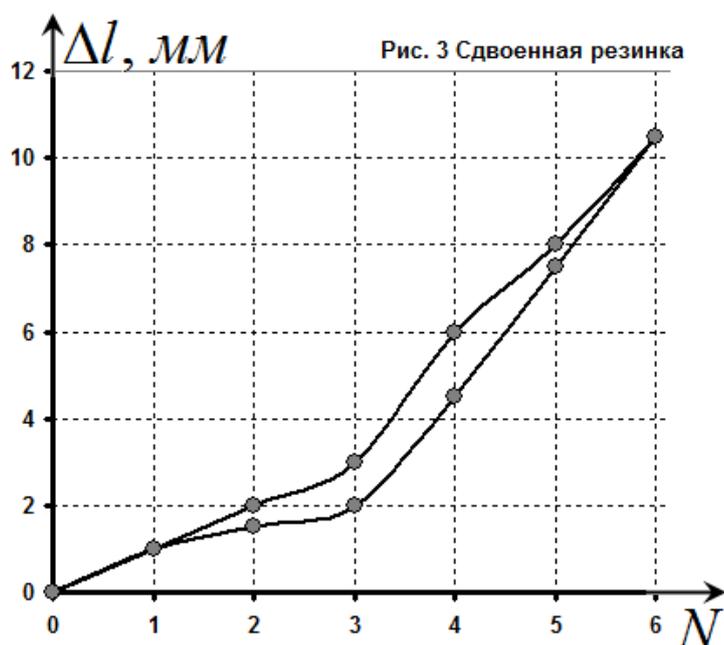


Часть 2. Сдвоенная резинка.

Экспериментально полученные результаты измерений зависимости удлинений сдвоенной резинки от числа подвешенных грузов представлены в таблице 2 и на графике 3 (по условию его строить не требуется).

Таблица 2.

N	Δl , см
0	0,0
1	1,0
2	1,5
3	2,0
4	4,5
5	7,5
6	10,5
6	10,5
5	8,0
4	6,0
3	3,0
2	2,0
1	1,0
0	0,0



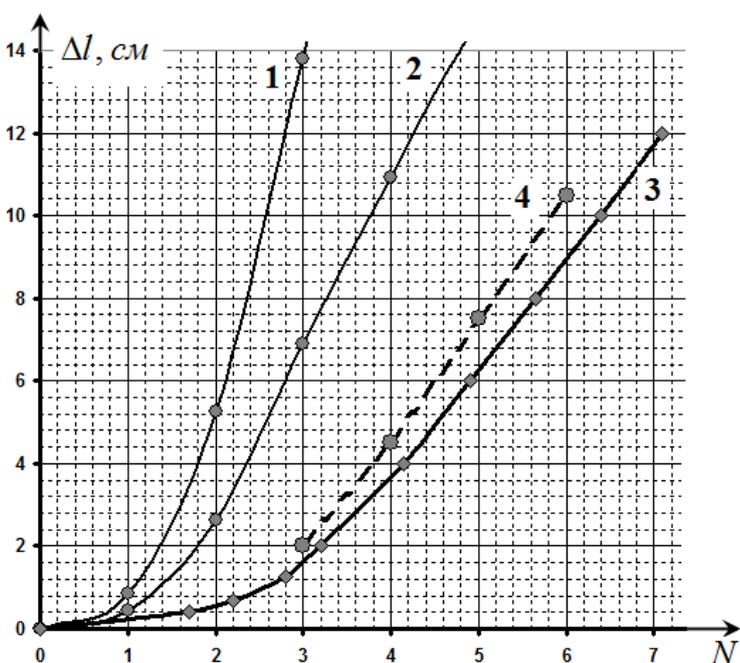
В первой части работы показано, что относительная деформация резинки не зависит от ее длины. Поэтому для построения теоретической зависимости удлинения сдвоенной резинки можно построить графики зависимости удлинения каждой из частей резинок (используя формулу $\Delta l = \varepsilon l_0$) от массы подвешенных грузов. Так как для «параллельно» соединенных резинок удлинения одинаковы, а суммарная сила упругости равна сумме сил упругости обеих резинок, то следует провести «сложение» графиков «по горизонтали».

Иными словами для нескольких значений Δl в интервале от 0 до 10 см просуммировать значения масс, якобы подвешенных грузов. Такие построения показаны на рис. 4, где:

- 1 – удлинения для резинки 20 см;
- 2 – удлинения для резинки 10 см;
- 3 – просуммированный график;
- 4 – экспериментальные значения.

Чтобы не загромождать чертеж, результаты расчетов приведены только для «нагрузки».

Как видно из графика наблюдается соответствие между экспериментальной и рассчитанной зависимостями.



Задание 1. Скатывание.

Часть 1. Скатывание цилиндра.

1.1 Результаты измерений зависимости времен движения t_k для различных пройденных расстояний l_k от начала отсчета приведены в таблице 1 (проведено 4 измерения закона движения и рассчитаны средние значения $\langle t \rangle$). Угол наклона плоскости равен $\alpha = 0,013$.

Таблица 1

Расстояние $l, \text{см}$	Времена движения $t, \text{с}$					$\frac{l}{\langle t \rangle}, \frac{\text{см}}{\text{с}}$
	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_4, \text{с}$	$\langle t \rangle, \text{с}$	
0	0	0	0	0	0	
10	0,74	0,67	0,80	0,68	0,72	13,8
20	1,28	1,31	1,38	1,18	1,29	15,5
30	1,70	1,82	1,77	1,53	1,71	17,6
40	2,14	2,25	2,19	2,08	2,17	18,5
50	2,55	2,64	2,66	2,43	2,57	19,5
60	2,87	2,97	2,95	2,81	2,90	20,7

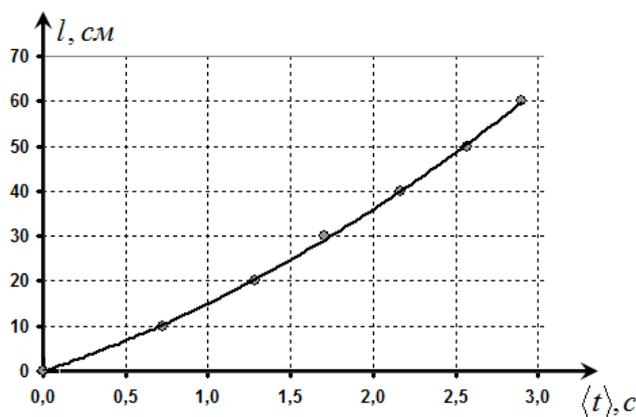


Рис.1 Скатывание цилиндра

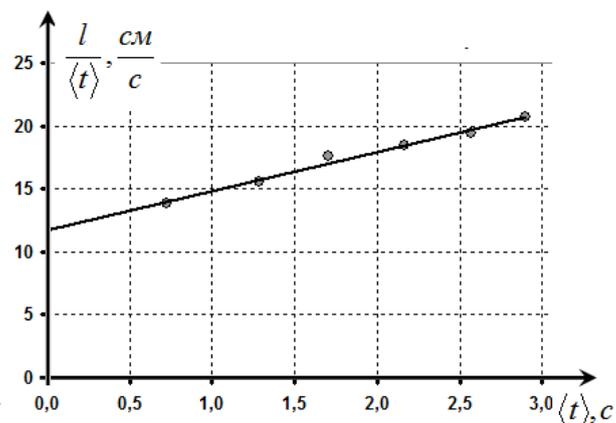


Рис.2 Скатывание цилиндра

На рис. 1 показан график закона движения цилиндра. Полученная кривая похожа на параболу, что делает возможным предположение о равноускоренном движении цилиндра.

1.2 Для проверки закона равноускоренного движения можно провести следующую обработку результатов. При таком предположении закон движения имеет вид

$$l = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (1)$$

Эту функцию можно привести к линейному виду с помощью преобразования

$$\frac{l}{t} = v_0 + \frac{at}{2}, \quad (2)$$

Где отношение $\frac{l}{t}$ имеет смысл средней скорости движение на всем интервале пути l .

Построенный по экспериментальным данным график зависимости (2) показан на рис.2. Хорошо видно, что полученная зависимость близка к линейной, что подтверждает

равноускоренный характер движения. Из формулы два следует, что коэффициент наклона графика равен $\frac{a}{2}$, где a - ускорение цилиндра. Найденный по графику коэффициент наклона равен $3,1 \frac{см}{с^2}$, откуда следует, что ускорение цилиндра равно

$$a \approx 6,2 \frac{см}{с^2}. \quad (3)$$

С использованием метода наименьших квадратов можно определить значение коэффициента наклона

$$k = (3,09 \pm 0,36) \frac{см}{с^2}.$$

Таким образом, погрешность определения ускорения составляет примерно 13%.

1.3 При качении цилиндра его потенциальная энергия $mgh = mgl \sin \alpha$ переходит в кинетическую энергию поступательного и такую же энергию вращательного движения (так как все точки тонкостенного цилиндра находятся на одном расстоянии от оси вращения). Поэтому без учета трения закон сохранения энергии при скатывании цилиндра имеет вид

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = mgl \sin \alpha \quad l = \frac{v^2}{g \sin \alpha}. \quad (4)$$

Используя известную формулу для пути при равноускоренном движении, находим, что ускорение цилиндра равно $a = \frac{g}{2} \sin \alpha$.

Подстановка численных значений дает следующий результат

$$a = \frac{g}{2} \sin \alpha = \frac{980 \cdot 0,013}{2} \approx 6,4 \frac{см}{с^2}, \quad (4)$$

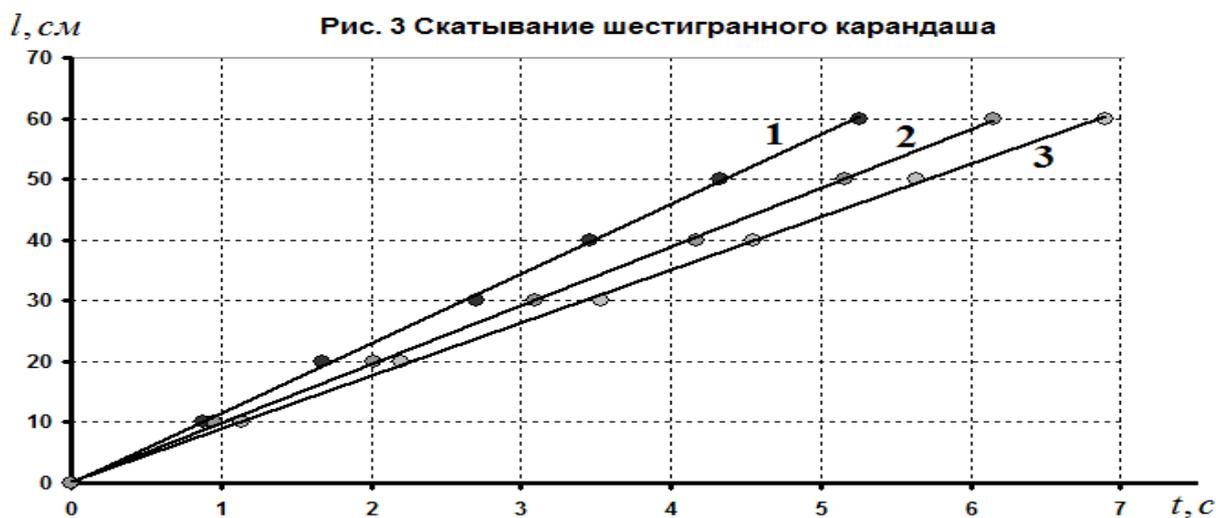
Что в пределах погрешности согласуется с экспериментальным значением (3).

Часть 2. Скатывание шестигранного карандаша.

Результаты измерений законов скатывания шестигугольного карандаша при разных углах наклона плоскости представлены в таблице 2. Ниже показаны графики этих зависимостей.

Таблица 2

Расстояние $l, \text{см}$	Времена движения $t, \text{с}$				
	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_4, \text{с}$	$\langle t \rangle, \text{с}$
$\alpha = 0,063$					
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,85	0,89	0,85	0,93	0,88
20	1,64	1,61	1,65	1,80	1,68
30	2,62	2,68	2,70	2,81	2,70
40	3,33	3,43	3,45	3,62	3,46
50	4,15	4,27	4,40	4,49	4,33
60	5,10	5,25	5,25	5,43	5,26
$\alpha = 0,054$					
0	0	0	0	0	0
10	0,99	0,91	0,95	0,96	0,95
20	1,95	2,01	2,06	2,03	2,01
30	3,03	3,07	3,12	3,18	3,10
40	4,08	4,23	4,17	4,22	4,18
50	5,19	5,16	5,12	5,17	5,16
60	6,06	6,22	6,13	6,18	6,15
70	7,2	7,34	7,25	7,32	7,28
$\alpha = 0,046$					
0	0	0	0	0	0
10	1,12	1,13	1,15	1,14	1,14
20	2,05	2,2	2,28	2,29	2,21
30	3,39	3,46	3,59	3,71	3,54
40	4,26	4,42	4,7	4,81	4,55
50	5,17	5,51	5,95	5,94	5,64
60	6,5	6,76	7,12	7,22	6,90



Графики показывают, что при всех углах наклона движение карандаша является равномерным. В таблице 3 представлены значения средних скоростей движения (найденные по графикам рис. 3), а также отношение этой скорости к углу наклона

$$C = \frac{\langle v \rangle}{\alpha}$$

Таблица 3.

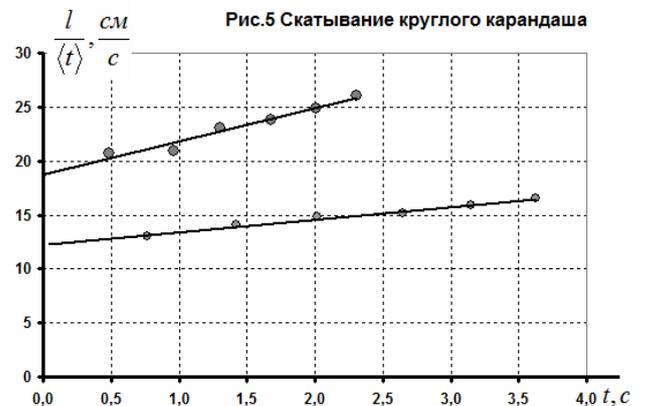
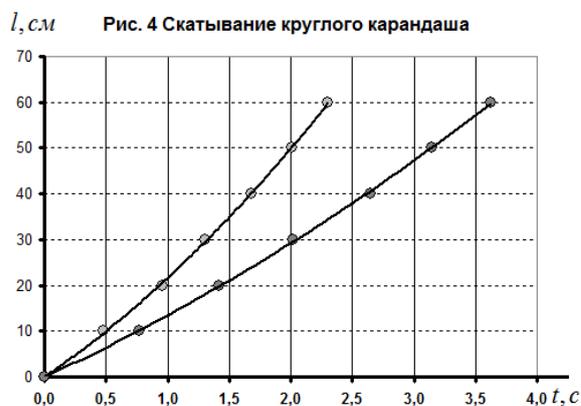
α	$\langle v \rangle, \text{см/с}$	$C = \frac{\langle v \rangle}{\alpha}$
0,063	11,4	182
0,054	9,60	178
0,046	8,70	189

Из таблицы (график по 3 точкам строить излишне) следует что отношение $C = \frac{\langle v \rangle}{\alpha}$

остается примерно постоянным, что подтверждает наличие прямой пропорциональной зависимости между средней скоростью и углом наклона (при столь малых углах синус угла равен самому углу, измеренному в радианах). Среднее значение коэффициента пропорциональности $C=183$.

Основная причина равномерности движения – потери энергии при неупругих ударах граней карандаша о плоскость при перекантовке через ребро!

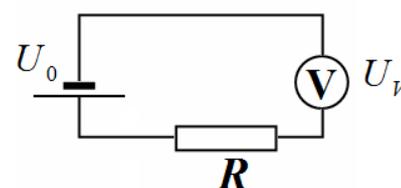
Часть 3. Скатывание круглого карандаша.



На графике 4 показаны законы скатывания круглого карандаша при двух различных углах наклона плоскости (ученики должны провести измерения для одного угла). Видно, что движение не является равномерным. По методике, изложенной в Части 1 данной задачи можно показать (см. рис. 5), что движение близко к равноускоренному. Видимо, и в этом случае трение и сопротивление воздуха не играют существенной роли.

Задание 2. Вольтметр – гальванометр?

1. Для измерения сопротивления вольтметра необходимо сначала измерить напряжение U_0 при его непосредственном подключении к источнику. После этого следует последовательно соединить вольтметр и резистор с известным сопротивлением и измерить его показание U_V . Так как сопротивление вольтметра значительно больше внутреннего сопротивления источника, то напряжение на внешней цепи будет неизменным. Во втором случае измеренные значения напряжений будут связаны с сопротивлениями очевидным соотношением (условие постоянства силы тока):



$$\frac{U_V}{R_V} = \frac{U_0 - U_V}{R}.$$

Из которого следует формула для определения сопротивления вольтметра

$$R_V = \frac{U_V}{U_0 - U_V} R. \quad (1)$$

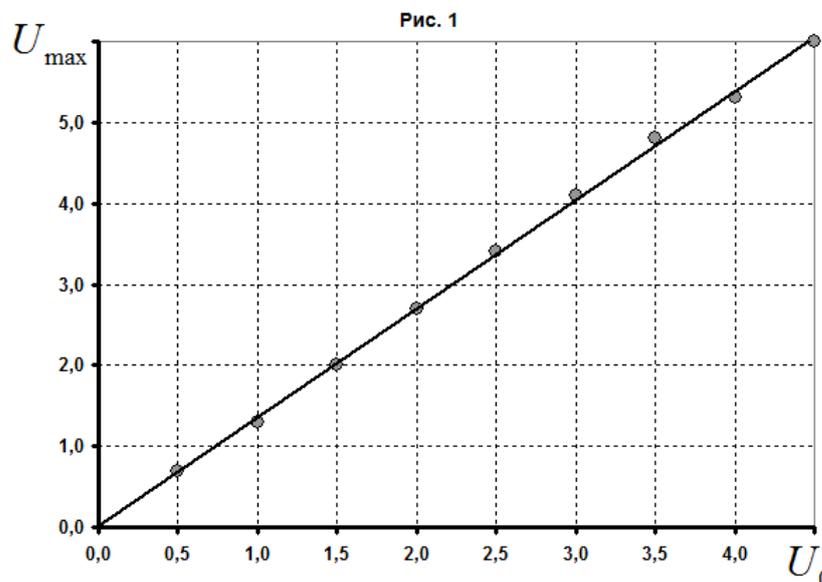
Измерения показывают, что сопротивление школьного вольтметра равно

$$R_V \approx 6,0 \text{ кОм}.$$

2. Результаты измерений величины отброса U_{\max} от приложенного напряжения U_0 приведены в таблице 1 и на графике рис. 1

Таблица 1.

U_0 , В	U_{\max} , В
4,5	6,0
4,0	5,3
3,5	4,8
3,0	4,1
2,5	3,4
2,0	2,7
1,5	2,0
1,0	1,3
0,5	0,7



Эти данные показывают, что величина отброса пропорциональна приложенному напряжению $U_{\max} = KU_0$. Значение коэффициента пропорциональности в этой формуле $K \approx 1,4$.

Заметим, что и во всех последующих схемах также выполняется пропорциональность между величиной отброса и приложенным напряжением.

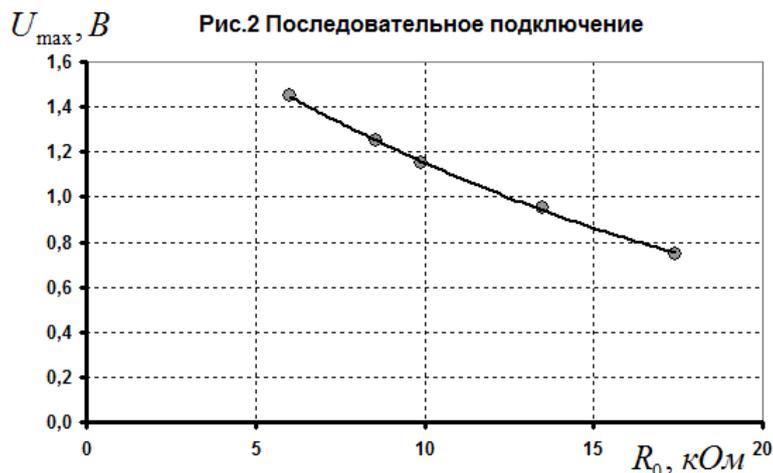
От учеников проверки этого не требуется.

3. **Последовательное подключение.** К вольтметру последовательно можно подключить каждый резистор, два резистора последовательно, два резистора параллельно, не подключать ничего (итого 5 вариантов).

Результаты измерений представлены в таблице 2 и на графике.

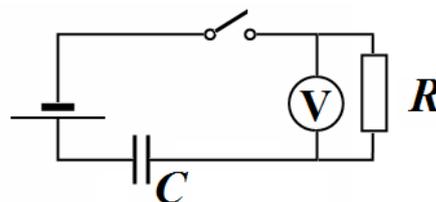
Таблица 2.

$R_0, \text{кОм}$	$U_{\text{max}}, \text{В}$
6,0	1,45
9,9	1,15
13,5	0,95
8,6	1,25
17,4	0,75



Не смотря на то, что в данном случае через вольтметр протекает один и тот же заряд, величина отброса зависит от сопротивления цепи, следовательно, величина отброса определяется не только зарядом, протекшим через вольтметр, но и силой тока.

4. **Параллельное подключение.** В этом случае также можно использовать 5 различных вариантов подключения. Распределение зарядов, протекших через вольтметр и резистор, будет таким же, как и распределение токов, поэтому при зарядке конденсатора заряд, прошедший через вольтметр, рассчитывается по формуле

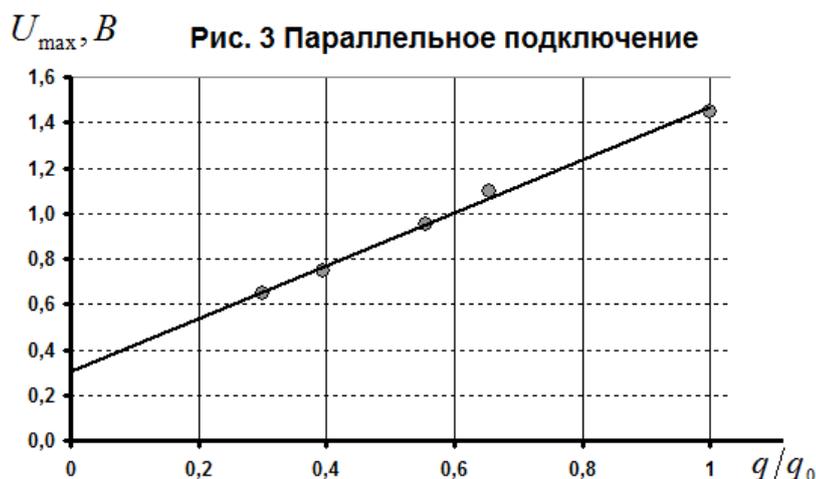


$$q = q_0 \frac{R}{R + R_V} \quad (2)$$

В таблице 2 приведены результаты измерений зависимости величины отброса от заряда, прошедшего через вольтметр (в относительных единицах q/q_0). График требуемой зависимости показан на рис. 3.

Таблица 2.

$R, \text{кОм}$	q/q_0	$U_{\text{max}}, \text{В}$
0	1,00	1,45
3,9	0,39	0,75
7,5	0,56	0,95
2,57	0,30	0,65
11,4	0,66	1,10



Как следует из полученного графика зависимость отброса от величины заряда линейная, но не прямо пропорциональная! Следовательно, на величину отброса также влияют сила тока и длительность импульса.

5. Таким образом, в данных условиях использовать вольтметр в качестве измерителя электрического заряда **нельзя!**

Задание 1. Измерение малой теплоемкости.

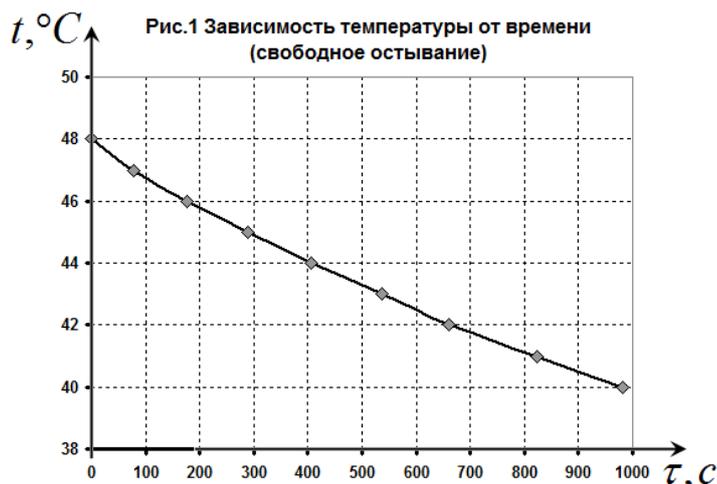
Часть 1. Изучение тепловых потерь в окружающую среду.

1.1 Температура воздуха в комнате равна $t_0 = (16,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$.

1.2 Результаты измерения зависимости температуры воды в стакане приведены в Таблице 1. График зависимости показан на рис.1 (хотя по условию задачи его построение не требуется)

Таблица 1.

$t, ^\circ\text{C}$	τ, c	$\ln(t - t_0)$
48	0	3,47
47	78	3,43
46	176	3,40
45	289	3,37
44	405	3,33
43	536	3,30
42	620	3,26
41	823	3,22
40	981	3,18



Для определения коэффициента теплоотдачи следует построить зависимость логарифма разности температур воды и окружающего воздуха от времени. Из формулы (2) условия задачи следует, что эта зависимость имеет вид

$$\ln(t - t_0) = \ln(t_n - t_0) - \frac{\gamma}{c_1 m_1} \tau. \quad (1)$$

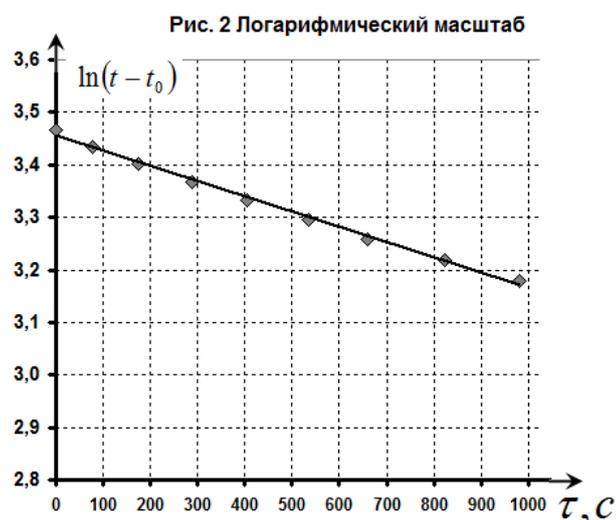
поэтому является линейной.

На рис. 2 показан график этой зависимости, построенный по экспериментальным данным. Экспериментальные данные подтверждают теоретическую зависимость. По МНК можно найти коэффициент наклона графика, который оказался равным $a = -(2,90 \pm 0,13) \cdot 10^{-4} \text{c}^{-1}$. Теоретическое значение этого коэффициента равно $a = -\frac{\gamma}{c_1 m_1}$. Что дает возможность

вычисления коэффициента теплоотдачи

$$\gamma = -a c_1 m_1 = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{c}^{-1} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 0,20 \text{кг} = 0,24 \frac{\text{Вт}}{\text{К}},$$

С погрешностью $\Delta\gamma = \gamma \frac{\Delta a}{a} = 0,01 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}$.



Часть 2. Теплоемкость тела.

Из уравнения теплового баланса для передачи теплоты от воды к телу

$$C_0(t_x - t_0) = c_1 m_1 (t - t_x)$$

следует, что после установления теплового равновесия в сосуде установится температура равная

$$t_x = \frac{C_0 t_0 + c_1 m_1 t}{C_0 + c_1 m_1}.$$

Следовательно, тело получит (а вода отдаст) количество теплоты равное

$$Q = C_0(t_x - t_0) = C_0 \left(\frac{C_0 t_0 + c_1 m_1 t}{C_0 + c_1 m_1} - t_0 \right) = \frac{C_0 \cdot c_1 m_1}{C_0 + c_1 m_1} (t - t_0) \approx C_0 (t - t_0).$$

Здесь учтено, что теплоемкость воды в сосуде значительно больше теплоемкости тела.

Таким образом, параметр β в уравнении (3) условия просто равен искомой теплоемкости тела C_0 .

Уравнение (5) в условии совпадает с уравнением (1), если в нем положить $\gamma_1 = \gamma + \frac{C_0}{\delta\tau}$.

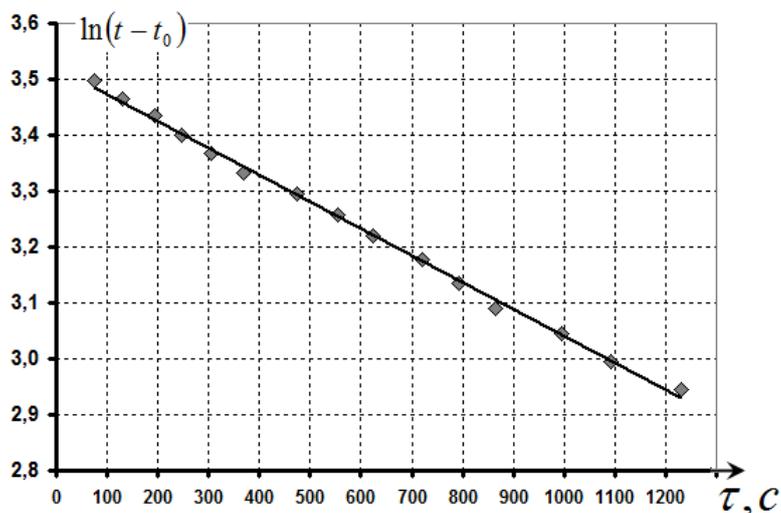
Поэтому его решение имеет вид (2). Следовательно, для определения параметра γ_1 можно воспользоваться методикой, примененной ранее для нахождения параметра γ .

В таблице 2 приведены результаты измерений зависимости температуры от времени при постоянном опускании исследуемого тела в стакан. На рис.3 построен график экспериментальной зависимости в логарифмическом масштабе.

Таблица 2.

$t, ^\circ\text{C}$	τ, c	$\ln(t - t_0)$
51	0	3,56
50	20	3,53
49	76	3,50
48	129	3,47
47	195	3,43
46	247	3,40
45	306	3,37
44	370	3,33
43	475	3,30
42	553	3,26
41	623	3,22
40	720	3,18
39	792	3,14
38	865	3,09
37	995	3,04
36	1092	3,00
35	1231	2,94

Рис. 3 Логарифмический масштаб



Коэффициент наклона данного графика, найденный по МНК равен

$$a_1 = -(4,82 \pm 0,17) \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$$

Следовательно, параметр

$$\gamma_1 = -a_1 c_1 m_1 = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 0,20 \text{ кг} = 0,40 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}$$

с погрешностью $\Delta\gamma_1 = 0,01 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}$.

Разность этих параметров равна

$$\gamma_1 - \gamma = \frac{C_0}{\delta\tau} = (0,16 \pm 0,02) \frac{Вт}{К},$$

откуда следует, что теплоемкость исследуемого тела равна

$$C_0 = (\gamma_1 - \gamma)\delta\tau = (9,6 \pm 1,2) \frac{Дж}{К}.$$

Заметим, что при массе использованного нами железного болта массой примерно равной 20 г, получается практически табличное значение $\bar{C}_0 = c m = 0,46 \frac{Дж}{г \cdot К} \cdot 20г = 9,2 \frac{Дж}{К}$.

Таким образом, предложенная методика позволила измерить теплоемкость тела, которая значительно меньше теплоемкости воды в сосуде. При стандартной методике (опустить тело в сосуд и измерить уменьшение температуры), этого достичь невозможно!

Задание 2. «Резиновый маятник»

Часть 1. «Удлинение резинки»

Таблица 1. Зависимость длины резинки от количества грузов

N	$l, \text{см}$
0	21,0
1	24,0
2	28,0
3	35,0
4	43,0
5	51,0
6	60,0
5	56,3
4	50,0
3	40,5
2	32,0
1	26,0
0	21,0

В Таблице 1 приведены измеренные значения длины резинки l в зависимости от количества N подвешенных к ней грузов. Масса каждого подвешенного груза имеет стандартное значение $m = 100\text{г}$.

При выполнении данного пункта следует последовательно нагружать, а затем разгружать резинку, поскольку ее деформация при этом оказывается различной.

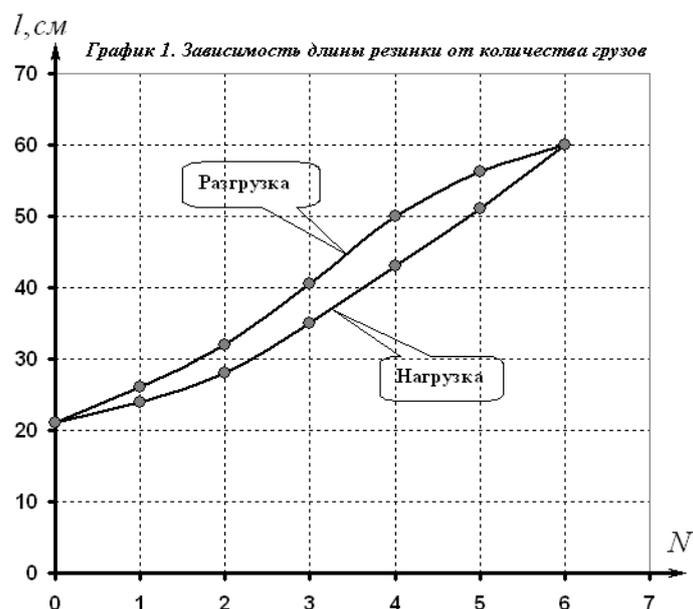
По результатам измерений строим График 1. зависимости длины резинки от количества (массы) подвешенных грузов.

Из анализа полученной зависимости видим, что резинка имеет характерную «петлю гистерезиса», обусловленную различным поведением ее удлиненных молекул при увеличении и уменьшении нагрузки.

Наклон различных участков

графика, характеризующий дифференциальную жесткость (коэффициент упругости при малых деформациях) системы также имеет различные значения даже в пределах одной ветви графика.

Строго говоря, для получения зависимости деформации резинки от массы, следует поднять ось абсцисс на отметку $l_0 = 21\text{см}$, однако характер кривой это не изменит.



Часть 2. «Математический маятник»

При подвешивании различного количества грузов в данном случае следует учесть, что помимо удлинения резинки под действием силы тяжести грузов, происходит увеличение расстояния до центра масс за счет размеров самих грузов.

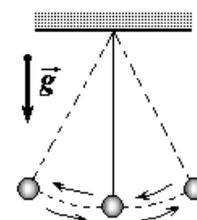


Таблица 2. Измерение периода колебаний математического маятника

N	$l, \text{см}$	$l + \Delta l, \text{см}$	$T_1, \text{с}$	$T_2, \text{с}$	$T_3, \text{с}$	$T_{\text{эксн}}, \text{с}$	$T_{\text{теор}}, \text{с}$
1	26,0	28,0	5,28	5,41	5,36	1,07	1,06
2	30,0	34,0	6,04	6,07	5,91	1,20	1,17
3	38,0	44,0	6,84	6,90	6,78	1,37	1,33
4	48,4	56,4	7,71	7,72	7,66	1,54	1,51
5	56,6	66,6	8,44	8,29	8,39	1,67	1,64
6	64,1	76,1	9,14	9,15	9,18	1,83	1,75

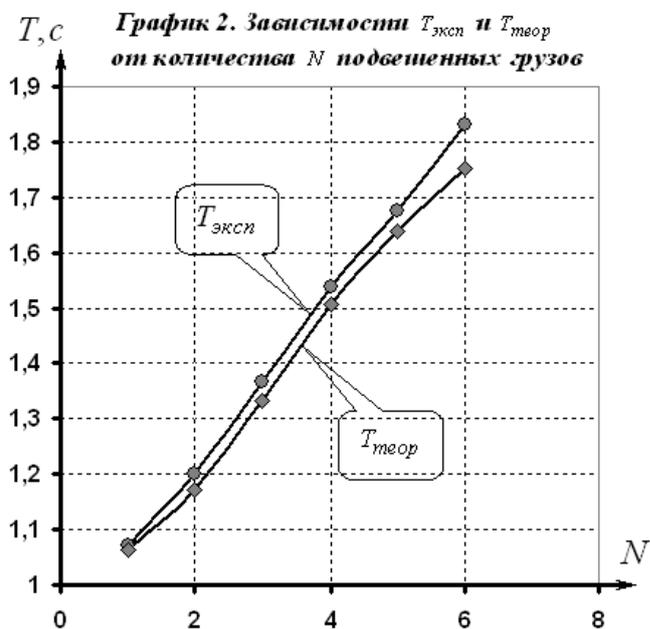
Вследствие этого к длине резинки l в деформированном состоянии следует добавить поправку Δl , равную половине длины цепочки грузов. Напомним, что высота одного грузика (от крючка до крючка) составляет $h = 4,0\text{ см}$.

В Таблице 2 приведены данные измерений для количества грузов от одного до шести. Для увеличения точности измерений проводилось по три измерения для пяти колебаний (T_1, T_2, T_3) системы при данном количестве грузов, после чего полученные результаты усреднялись. Результат усреднения представлен в таблице как $T_{\text{эксн}}$.

Для проверки соответствия эксперимента и теории в последнем столбце таблицы 2 проведено вычисление периода колебаний $T_{\text{теор}}$ по формуле Гюйгенса.

График 2. зависимости $T_{\text{эксн}}$ и $T_{\text{теор}}$ от количества N подвешенных грузов (массы) представлен ниже.

Как видно из графика, экспериментальные точки «ложатся» несколько выше теоретических, что обусловлено влиянием сил сопротивления, «неточечностью» системы грузиков, изменением длины резинки при колебаниях и др.



Часть 3. «Пружинный маятник»

3.1 Измерение периода колебаний $T_{\text{эксн}}$ системы в зависимости от числа грузов проводим по стандартной методике, измеряя длительность пяти полных колебаний. Измерения производим три раза, усредняя полученные результаты, находим $T_{\text{эксн}}$. Данные измерений приведены в таблице 3.

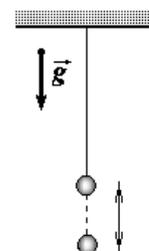


Таблица 3. Измерение периода вертикальных колебаний

N	$T_1, \text{с}$	$T_2, \text{с}$	$T_3, \text{с}$	$T_{\text{эксн}}, \text{с}$
1	1,66	1,68	1,72	0,34
2	3,12	2,89	2,88	0,59
3	4,49	4,55	4,70	0,92
4	5,08	5,12	5,02	1,01
5	4,81	4,69	4,81	0,95
6	4,20	4,26	4,19	0,84

Как следует из таблицы, период колебаний пружинного маятника сначала возрастает, а потом убывает. Это может быть объяснено соответствующим изменением коэффициента упругости резинки в процессе ее деформации.

3-2. Для определения значения дифференциального коэффициента упругости k будем подвешивать небольшой дополнительный груз $\Delta m = 20\text{г}$ при каждом значении N . Измеряя удлинение Δl под действием силы тяжести дополнительного груза, найдем искомое значение по формуле $k = \frac{\Delta mg}{\Delta l}$. Данные измерений представлены в Таблице 4.

Таблица 4.
коэффициента

N	$\Delta l, \text{мм}$	$k, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$T_{\text{теор}}, \text{с}$
1	0,7	28,6	0,37
2	1,0	20,0	0,63
3	1,7	11,8	1,00
4	1,6	12,5	1,12
5	1,0	20,0	0,99
6	0,8	25,0	0,97

Нахождение
упругости k

Как следует из Таблицы 4, наше предположение получило экспериментальное подтверждение — изменение коэффициента упругости соответствует изменениям периода колебаний в пункте 3.1.

Для сравнения полученных зависимостей рассчитаем период колебаний $T_{\text{теор}}$ пружинного маятника по

формуле $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$.

Результаты расчетов представлены в Таблице 4.

На графике 3 представлены полученные зависимости для $T_{\text{экс}}$ и $T_{\text{теор}}$.

Интересно, что в данном случае «сверху» находится теоретическая зависимость, тогда как при выполнении части 2 задания все было наоборот.

Среди возможных причин этого следует отметить внутреннее трение в резине, которое приводит к достаточно быстрому затуханию вертикальных колебаний по сравнению с колебаниями математического маятника.

Примечание: Представленные измерения для всех пунктов задачи проведены для «Резинки рыболовной (диаметр 1 мм)» производства «Белучтехприбор».

