



## Республиканская физическая олимпиада 2022 года (3 этап)

Экспериментальный тур

### *Решения задач 9 класс (для жюри)*

Задания экспериментального тура данной олимпиады предоставляют для участников большие возможности для самостоятельного выбора параметров установок, диапазонов исследования, методов измерений. Иными словами – проявить свои творческие способности. Кроме того, результаты измерений сильно зависят от предоставленного оборудования, которое может различаться в разных областях нашей Республики.

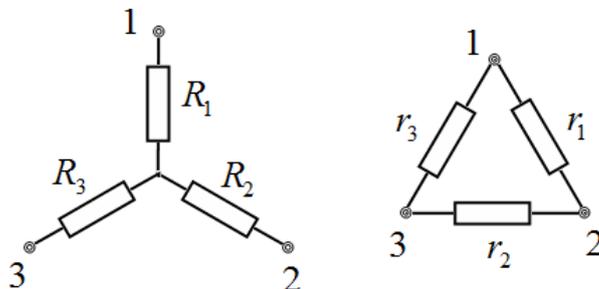
Поэтому, относитесь к приведенным ниже результатам, как к ориентировочным. Желательно (или даже обязательно) провести собственные измерения. Поэтому здесь приводятся только основные теоретические положения и результаты некоторых измерений, полученные авторами данных заданий. Методы обработки результатов измерений являются в большинстве своем, стандартными, поэтому подробно не описываются.



## Задание 9-1. «Звезда» и «треугольник».

### Часть 1. Схемы по отдельности.

1.1 Расчет схем проводится элементарно с использованием законов параллельного и последовательного соединения проводников.



Так сопротивления между выводами подчиняются соотношениям:

$$R_{12} = R_1 + R_2, \quad R_{23} = R_2 + R_3, \quad R_{31} = R_3 + R_1 \quad (1)$$

$$r_{12} = \frac{r_1(r_2 + r_3)}{r_1 + r_2 + r_3}, \quad r_{23} = \frac{r_2(r_1 + r_3)}{r_1 + r_2 + r_3}, \quad r_{31} = \frac{r_3(r_1 + r_2)}{r_1 + r_2 + r_3}$$

1.2 Экспериментальные измерения в данном случае предельно просты. Однако, численные значения зависят от сопротивлений предоставленных приборов. Результаты измерений соответствуют записанным теоретическим зависимостям, поэтому их легко проверять «на глаз». Незначительные отклонения от теоретических зависимостей могут быть обусловлены сопротивлением соединительных проводов. Поэтому желательно их проверить, перед тем как выдавать участникам олимпиады.

### Часть 2. Эквивалентность схем.

2.1 Формулы для пересчета «треугольника» в «звезду» следуют из определения эквивалентности, приведенными в условии задачи. После небольших алгебраических усилий, можно получить формулы пересчета:

$$R_1 = \frac{r_1 r_3}{r_1 + r_2 + r_3}, \quad R_2 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2 + r_3}, \quad R_3 = \frac{r_2 r_3}{r_1 + r_2 + r_3}. \quad (2)$$

2.2 Вариантов подбора необходимых сопротивлений бесконечно много, поэтому следует просто приведенные участниками олимпиады данные проверить по формулам (2), соответствуют ли они им. Заметим, что подобрать нужные сопротивления схем методом «научного тыка» достаточно сложно, необходимы предварительные теоретические оценки.

## **Задание 9-2. Конструирование весов.**

### **Часть 1. Без воды и гвоздя.**

**1.1** Объяснение эффекта стабилизации заключается в том, что при повороте коромысла правое и левое плечи сил тяжести изменяются по-разному. Чем меньше угол изгиба спицы, тем больше чувствительность весов, но тем меньше диапазон измеряемых масс. Поэтому нужно выбрать разумный компромисс.

**1.2** Вариантов построение великое множество, т.к. можно варьировать:

- место и угол изгиба;
- массу балансирующих грузов;
- точку подвеса измеряемых масс;
- положение линейки.

Понятно, что угол отклонения спицы не должен быть слишком велик. Допустимый диапазон отклонения конца спицы вдоль линейки не более 10 см.

**1.3** Практически во всех случаях (но может, кто-то придумает экзотический случай, градуировочный график (зависимость отклонения конца спицы по линейке–шкале) линейный. Критерием оценивания может служить измерение зависимости показаний весов от массы подвешенных скрепок: уместились ли все данные в один диапазон, насколько точно измерена масса скрепки: они тоже бывают разные. Взвесьте скрепки, которые Вы выдали ученикам.

**1.4** При разумно собранной установке зависимость показаний весов от числа скрепок линейная, что позволяет провести графическую обработку.

### **Часть 2. Дополнительная стабилизация.**

**2.1-2.4** Выполняется аналогично первой части. При оговоренных условиях коэффициент наклона градуировочного графика должен быть меньше.



# Республиканская физическая олимпиада 2022 года (3 этап)

Экспериментальный тур

## *Решения задач 10 класс (для жюри)*

Задания экспериментального тура данной олимпиады предоставляют для участников большие возможности для самостоятельного выбора параметров установок, диапазонов исследования, методов измерений. Иными словами – проявить свои творческие способности. Кроме того, результаты измерений сильно зависят от предоставленного оборудования, которое может различаться в разных областях нашей Республики.

Поэтому, относитесь к приведенным ниже результатам, как к ориентировочным. Желательно (или даже обязательно) провести собственные измерения. Поэтому здесь приводятся только основные теоретические положения и результаты некоторых измерений, полученные авторами данных заданий. Методы обработки результатов измерений являются в большинстве своем, стандартными, поэтому подробно не описываются.



### Задание 10-1. Потери энергии.

В данном случае вариаций численных результатов меньше, кроме того, результаты не так очевидны, поэтому приведем результаты наших измерений. Конечно результаты зависят от массы использованного шарика.

1. Коэффициент трения можно измерить с помощью наклонной плоскости, в качестве которой можно использовать линейку, покрытую бумагой. Необходимо измерить угол наклона линейки, при котором начинается скольжение коробка по бумаге. Тогда

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha . \quad (1)$$

По нашим измерениям  $\mu = 0,33$ . Скорее всего этот коэффициент должен лежать в диапазоне 0,3 – 0,4.

2. Отношение масс измеряется методом рычага, в качестве которого опять же используется линейка. У нас  $\frac{m_{\text{кор}}}{m_{\text{шар}}} \approx 0,64$ .

3. результаты измерений зависимости длины пути  $x$ , проходимым коробком от начальной высоты шарика для столкновения типа В, когда шарик попадет в коробку, приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

h	x					<x>
30	18,5	19,5	18,5	19,0	18,5	<b>18,8</b>
26	17,5	16,0	17,0	17,0	16,5	<b>16,8</b>
23	14,5	14,0	14,0	14,5	14,5	<b>14,3</b>
21	13,0	13,0	13,5	13,0	13,0	<b>13,1</b>
19	12,0	11,5	12,0	12,0	12,0	<b>11,9</b>
15	9,0	9,5	10,0	9,5	10,5	<b>9,7</b>
12	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	<b>7,0</b>
10	6,0	6,0	5,5	6,0	6,0	<b>5,9</b>
8	4,5	4,5	4,5	4,7	4,4	<b>4,5</b>
5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	<b>2,1</b>

Для каждой высоты проведено 5 измерений пройденного пути, рассчитано среднее значение.

График полученной зависимости показан на рисунке.

**Получена практически линейная зависимость.**



Для второго случая, когда шарик ударяет по торцу коробки и отскакивает, получены следующие результаты.

h	x						<x>
3,5	7,0	6,5	6,0	6,5	6,0		<b>6,4</b>
5	10,0	10,0	9,5	10,5	10,5		<b>10,1</b>
8	17,5	17,3	17,0	16,5	17,5		<b>17,2</b>
10	21,0	20,0	21,5	21,0	22,0		<b>21,1</b>
12	25,5	25,0	26,0	25,5	26,5		<b>25,7</b>
15	33,0	34,0	33,5	33,5	33,0		<b>33,4</b>
17	37,5	38,0	37,5	38,0	38,0		<b>37,8</b>

График этой зависимости на следующем рисунке. Эта зависимость также линейна.



4. Рассчитаем какая доля механической энергии остается. Начальная энергия шарика

$$E_0 = m_{\text{шар}} g h \quad (1)$$

Энергия после удара расходуется на преодоление трения, поэтому равна (для случая, когда шарик остается в коробке)

$$E_1 = \mu(m_{\text{шар}} + m_{\text{кор}}) g s. \quad (2)$$

В этом случае доля остающейся энергии равна

$$\eta = \mu \left( 1 + \frac{m_{\text{кор}}}{m_{\text{шар}}} \right) \frac{s}{h} = 0,36$$

Тогда коэффициент потерь равен

$$k = 1 - \eta = 0,64,$$

С погрешностью порядка 7% (рассчитано по МНК).

Экспериментальный тур.

10 класс. Решения задач. Бланк для жюри.

В случае удара по торцу (шарик не попадает в коробку):

$$\eta = \mu \frac{m_{\text{кор}}}{m_{\text{шара}}} \frac{s}{h} = 0,49$$

Тогда коэффициент потерь равен

$$k = 1 - \eta = 0,51,$$

**5.** Основные причины потерь: не упругость удара и вращение шарика, на кинетическую энергию которого расходуется часть потенциальной энергии. При попадании шарика в коробку большая часть энергии переходит в тепловую (на деформацию пластилина).

## Задание 10-2. Теплоемкость и скорость остывания.

### Часть 1. Подготовительная.

1.1 Для достижения наибольшего эффекта следует взять цилиндр с максимальной теплоемкостью.

1.2 Время установления показаний термометра составляет величину порядка 1 мин.

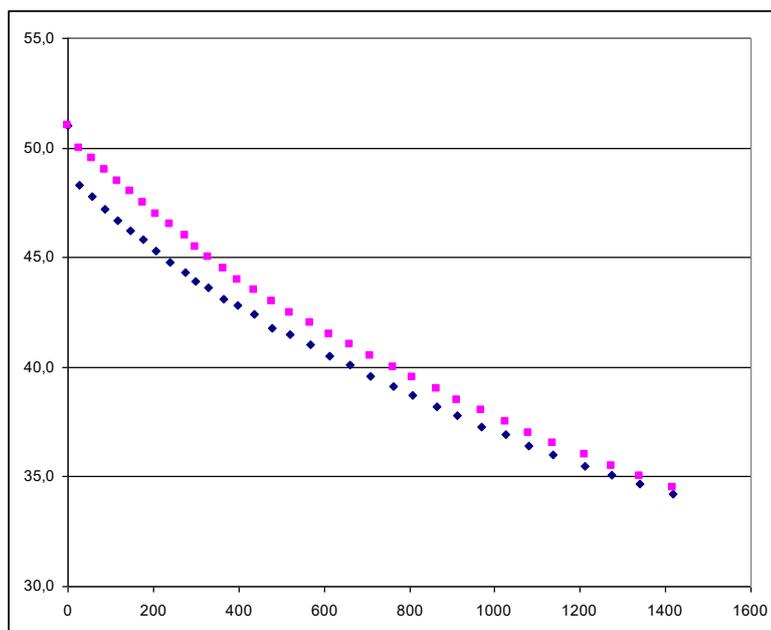
1.3 После опускания горячего цилиндра при начальной температуре  $70^\circ$  в воду при температуре  $20^\circ$  через минуту температура воды достигла максимального значения  $36,1^\circ$ , а потом стала опускаться. Это значит, что за это время температура цилиндра сравнялась с температурой воды.

1.4 Цилиндр остыл на  $34^\circ$ , а вода нагрелась на  $16^\circ$ . Это означает, что теплоемкость цилиндра в  $\frac{34}{16} \approx 2$  Раза меньше теплоемкости воды.

### Часть 2. Остывание

2.1 Результаты измерений зависимости температур воды и воды с цилиндром показаны в таблице и на графиках.

T1	T2	t, с
51,0	51,0	0
50,5		5
50,0	48,3	28
49,5	47,8	56
49,0	47,2	86
48,5	46,7	118
48,0	46,2	146
47,5	45,8	175
47,0	45,3	205
46,5	44,8	238
46,0	44,3	274
45,5	43,9	298
45,0	43,6	330
44,5	43,1	365
44,0	42,8	399
43,5	42,4	438
43,0	41,8	479
42,5	41,5	521
42,0	41,0	568
41,5	40,5	614
41,0	40,1	662



**2.2** По измеренным данным следует определить скорости остывания для двух случаев

$$K_{1,2} = \left( \frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{1,2}$$

Тогда отношение теплоемкостей будет равно обратному отношению этих коэффициентов  $\frac{C_1}{C_2} = \frac{K_2}{K_1}$ .

**2.3** Требуемый график строится в полулогарифмическом масштабе как зависимость  $\ln(T - T_0)$  от времени. Анализ приведенных данных показывает, что необходимые условия выполняются в диапазоне температур 40-30°

Допустимо также построение графика зависимости скорости остывания  $\left( \frac{\Delta T}{\Delta t} \right)$  от разности температур воды и воздуха

**2.4** Расчет показал, что теплоемкость цилиндра составляет 20% от теплоемкости воды и равна примерно  $c = 80 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ .



## Республиканская физическая олимпиада 2022 года (3 этап)

Экспериментальный тур

### *Решения задач 11 класс (для жюри)*

Задания экспериментального тура данной олимпиады предоставляют для участников большие возможности для самостоятельного выбора параметров установок, диапазонов исследования, методов измерений. Иными словами – проявить свои творческие способности. Кроме того, результаты измерений сильно зависят от предоставленного оборудования, которое может различаться в разных областях нашей Республики.

Поэтому, относитесь к приведенным ниже результатам, как к ориентировочным. Желательно (или даже обязательно) провести собственные измерения. Поэтому здесь приводятся только основные теоретические положения и результаты некоторых измерений, полученные авторами данных заданий. Методы обработки результатов измерений являются в большинстве своем, стандартными, поэтому подробно не описываются.



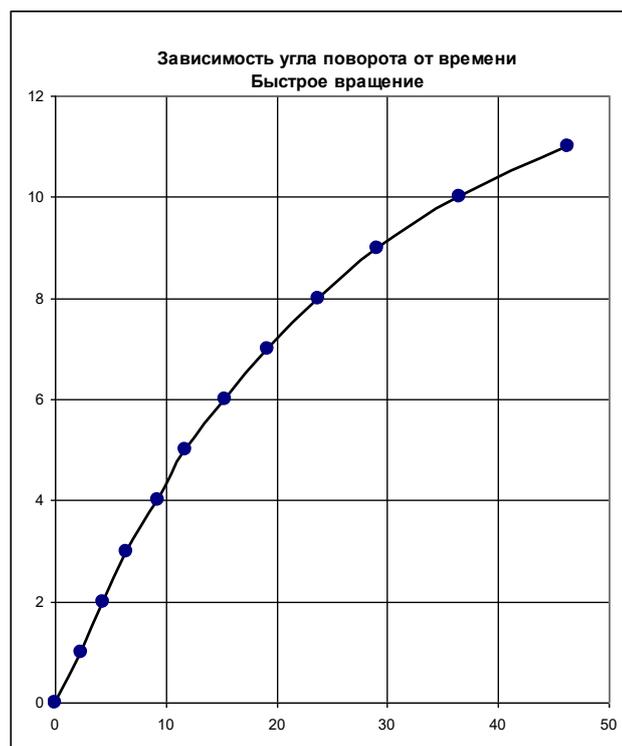
## 11 класс

### Задание 11-1. Подбери зависимость!

1. Результаты измерений зависимостей угла поворота жидкости от времени приведены в таблицах и соответствующих графиках.

Таблица 1. «Быстрое» вращение.

t, с	$\varphi$ ,	$\varphi/t$	$\omega$	$\ln \omega$
0	0			
2,33	1	0,43	0,458	-0,782
4,37	2	0,46	0,481	-0,732
6,49	3	0,46	0,409	-0,894
9,26	4	0,43	0,376	-0,978
11,81	5	0,42	0,326	-1,120
15,39	6	0,39	0,270	-1,308
19,21	7	0,36	0,239	-1,432
23,76	8	0,34	0,202	-1,597
29,09	9	0,31	0,156	-1,856
36,55	10	0,27	0,116	-2,154
46,32	11	0,24	0,274	



**Таблица 2. «Медленное» вращение.**

t, с	φ,	φ/t	ω	ln ω
	кол. об.			
0	0			
1,06	0,25	0,24	0,242	-1,421
2,07	0,5	0,24	0,281	-1,270
2,84	0,75	0,26	0,303	-1,194
3,72	1,00	0,27	0,281	-1,270
4,62	1,25	0,27	0,250	-1,386
5,72	1,5	0,26	0,221	-1,509
6,88	1,75	0,25	0,226	-1,486
7,93	2,00	0,25	0,200	-1,609
9,38	2,25	0,24	0,186	-1,683
10,62	2,50	0,24	0,193	-1,645
11,97	2,75	0,23	0,235	



В таблицах также посчитаны угловые скорости вращения воды в сосуде  $\omega$ . Расчеты этой величины проведены по симметрично схеме:

$$\omega(t_k) = \frac{\varphi_{k+1} - \varphi_{k-1}}{t_{k+1} - t_{k-1}}$$

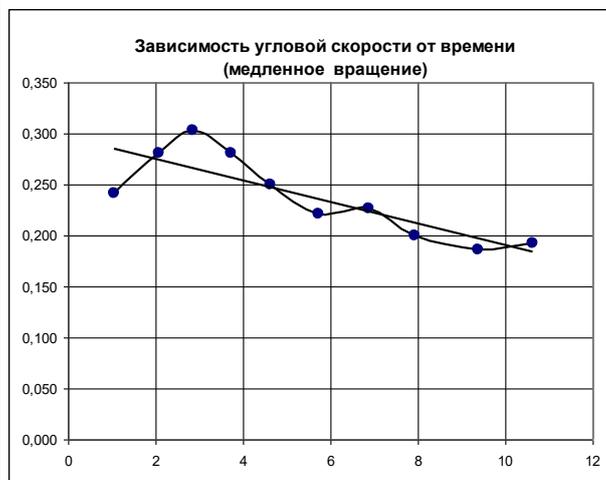
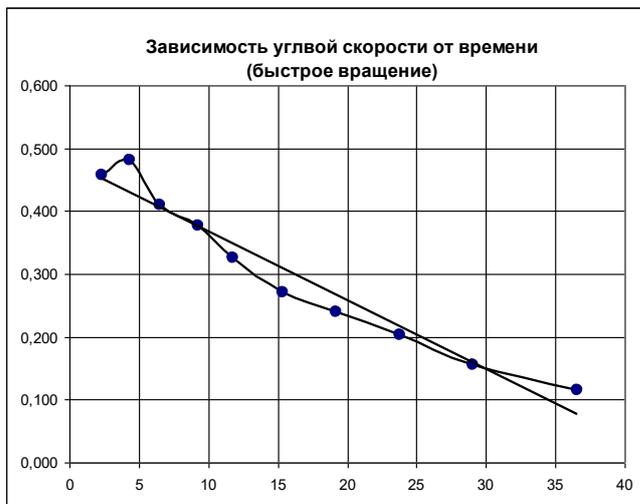
**2.** Чтобы выделить области применимости модели, полученные зависимости необходимо линеаризовать.

Так область применимости модели равномерного движения определяется видом построенных графиков: им соответствуют диапазоны, где эти зависимости можно считать линейными и проходящими через начало координат. С этой точки зрения для быстрого вращения является область первых 10 с. Для медленного вращения в пределах погрешности измерения такой областью можно считать весь временной диапазон.

Для проверки модели равноускоренного движения можно построить зависимость угловой скорости от времени, которая теоретически описывается линейной функцией

$$\omega = \omega_0 - \beta t.$$

Ниже приведены графики этих зависимостей.



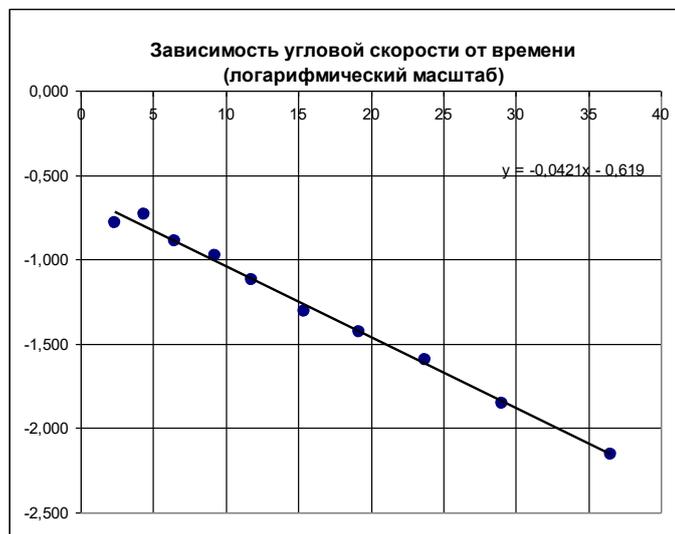
Из этих графиков следует, что:

При быстром вращении модель не применима потому, что четка видна нелинейность зависимости;

При медленном вращении малость изменения угловой скорости (вспомните, движение почти равномерное) не позволяет на фоне неизбежных ошибок измерения выделить линейный участок.

Для проверки модели экспоненциального затухания надо построить полученную зависимость в полупологарифмическом масштабе. Что сделано на следующем рисунке.

Этот график свидетельствует, что эта модель хорошо описывает быстрое движение жидкости практически во всем диапазоне.



3. Таким образом, быстрое вращение лучше всего описывается моделью экспоненциально затухания. Медленное вращение – моделью равномерного движения.

4. Параметр этой модели  $\gamma = -0,042c^{-1}$  есть постоянная затухания. Погрешность найденного значения 8%. Наиболее наглядный смысл имеет обратная величина – имеющая смысл характерного времени затухания.

Экспериментальный тур.

11 класс. Решения задач. Бланк для жюри.

## Задание 11-2. Знай свои деньги!

### Часть 1. Теоретическая.

**1.1** Не сложно показать, что если на груз математического маятника действует помимо силы тяжести еще одна постоянная сила, то период колебаний такого маятника описывается формулой

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{mg + F}} = \frac{T_0}{\sqrt{1 + \frac{F}{mg}}}. \quad (1)$$

Где  $T_0$  - период колебаний того же маятника, но при отсутствии внешней силы.

**1.2** Из формулы (1) следует, что отношение дополнительной силы к силе тяжести можно рассчитать по формуле

$$\frac{F}{mg} = \left(\frac{T_0}{T}\right)^2 - 1. \quad (2)$$

Эта формула и положена в основу данной работы.

### Часть 2. Пробный эксперимент.

**2.1** В работе удобно использовать бифилярный подвес поддона. Кроме того, следует прикрепить дополнительную диагональную нить, чтобы исключить поперечные колебания.

**2.2** Для измерения отношения силы магнитного притяжения к силе тяжести следует воспользоваться формулой (2). Для этого надо с большой точностью измерить два периода колебаний – с магнитом и без него. Для повышения точности и правильной оценки погрешностей необходимо провести несколько измерений большого числа колебаний. Мы провели 5 измерений времен 20 колебаний. После стандартной обработки получены следующие значения:

$$T_0 = (0,936 \pm 0,08)c$$

$$T_1 = (0,628 \pm 0,07)c$$

Далее с помощью формулы (2) рассчитано отношение сил:

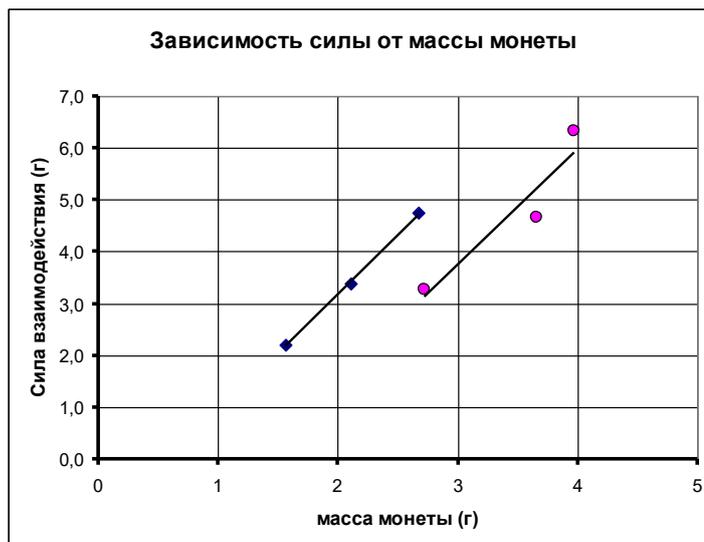
$$\frac{F}{mg} = 1,22 \pm 0,06$$

### Часть 3. Взаимодействие монет с кольцевым магнитом.

**3.1** Масса картонного поддона измерена с помощью правила рычага, в качестве которого использована линейка. Результат измерения  $m_0 = 0,36g$ .

**3.2** Результаты измерения сил, действующих на различные монеты, приведены в следующей таблице. Рядом приведен график полученной зависимости.

Номинал, коп.	Масса (г)	F (г)
0	<b>0,56</b>	
1	1,56	2,205
2	2,11	3,379
5	2,67	4,744
10	2,72	3,278
20	3,66	4,658
50	3,97	6,319



Из построенного графика можно сделать следующие выводы:

**3.3** Предположение о том, что сила притяжения пропорциональна объему (а, следовательно, и массе, не выполняется).

**3.4** Так как для монет, изготовленных из разных материалов точки явно ложатся на разные кривые, следует, что различные сплавы, из которых сделаны монеты обладают разными магнитными свойствами.

#### Часть 4. Монетница.

Притяжение монетницы действует на расстоянии порядка 1 мм.

**4.1** Силы, действующие на монеты разного достоинства, приведены в следующей таблице.

Номинал, коп.	масса	F, мН
10	2,72	0,737
20	3,66	1,35
50	3,97	2,11

**4.2** И в этом случае нельзя считать, что магнитная сила пропорциональна объему монеты. Слишком маленькие силы не позволяют делать более обоснованные выводы.