

# Методические рекомендации для учащихся предпрофессиональных классов

для проведения практического этапа Московского конкурса меж-  
предметных навыков и знаний «Интеллектуальный мегаполис. Потен-  
циал» в номинации «Инженерный класс» по направлению «Инженерно-  
техническое»

## Содержание

Рекомендации к выполнению конкурсных вариантов .....	3
Демонстрационный вариант конкурсных заданий .....	5
Критерии оценки заданий.....	7
Методические указания для участников конкурса и преподавателей по выполнению экспериментальных кейсов. ....	10
Выполнение варианта №1 .....	10
Выполнение варианта №2 .....	17
Список рекомендованной литературы .....	20

## Рекомендации к выполнению конкурсных вариантов

Материалы практического этапа Московского конкурса межпредметных навыков и знаний «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал» (далее – Конкурс) предназначены для оценки уровня практической подготовки участников Конкурса.

Для успешного решения задач базового уровня участник должен обладать следующими навыками и знаниями:

### 1. Теория измерения, теория погрешностей

Участник должен хорошо понимать основы измерения физических величин, а также уметь оценивать погрешности при проведении измерений. Можно выделить следующие основные законы и понятия, ключевые для успешного выполнения конкурсного кейса:

*Теория измерений:* Понятие физической величины, измерительного прибора, единицы измерения. Цифровые и аналоговые измерительные приборы.

*Теория погрешностей:* систематическая и случайная погрешность. Среднее арифметическое и стандартное отклонение. Косвенные и прямые измерения. Погрешность суммы и разности двух величин, частного и произведения. Погрешность при умножении на константу. Виды представления погрешностей, относительная и абсолютная погрешность.

### 2. Культура построения графиков

Знание основ визуализации данных и умение строить графики для представления информации. Знание вида графиков основных математических функций – линейная зависимость ( $y=kx+b$ ), квадратичная и кубическая параболы, экспоненциальная и логарифмическая зависимость. Графики основных тригонометрических функций – синус, косинус, тангенс. Выбор оптимального масштаба для построения графика экспериментальной зависимости. Среди материала *повышенного уровня сложности, желательного, но не обязательного для освоения*, следует выделить навыки аппроксимации экспериментальной зависимости и линеаризации экспериментальных зависимостей.

### 3. Знание физики в рамках школьного курса

Для повторения школьного курса физики, в принципе, неплохо подходит кодификатор Единого Государственного Экзамена по физике, который приводится в качестве источника в списке литературы [10]. Материал, выходящий за рамки школьной программы, будет отмечен отдельно, и *иметь выделение курсивом*.

- **Механика**

Кинематика поступательного движения, закон изменения скорости при равноускоренном движении, закон равноускоренного движения. Два основных вида движения – вращательное и поступательное. *Кинематика вращательного движения.*

Динамика. Законы Ньютона. Силы в физике, сила трения, упругая сила (закон Гука), гравитационная и кулоновская сила. Импульсное представление второго закона Ньютона. Кинетическая и потенциальная энергия, законы сохранения в механике. Аналогии между вращательным и поступательным движением. Правило моментов, момент силы. *Основное уравнение динамики вращательного движения, момент инерции как аналог массы. Кинетическая энергия вращающегося тела.*

Механические колебания, превращения энергии при колебаниях. *Дифференциальное уравнение гармонических колебаний. Вращательные и поступательные механические колебания.* Параметры колебательных систем – частота, период колебания, циклическая частота.

- **Молекулярная физика и термодинамика.**

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории и уравнение Менделеева-Клапейрона. Изопроцессы. Первое начало термодинамики. Работа газа. *Эффекты Зеебека и Пельтье.*

- **Электричество и магнетизм**

Закон Ома, зависимость сопротивления от длины проводника, площади поперечного сечения *и температуры.* Определения силы тока. Напряжение и потенциал, электродвижущая сила. Правила Кирхгофа. *Мостовые схемы, сбалансированные и несбалансированные. Проводники, полупроводники, диэлектрики.*

Магнетизм. Сила Ампера, сила Лоренца. *Биметаллы. Электромагнитное реле. Электродвигатели постоянного и переменного тока.*

## **Демонстрационный вариант конкурсных заданий практического этапа Конкурса**

### **Вариант 1**

На основе предлагаемых материалов ( **клубок ниток, набор грузов, штатив универсальный, бумага миллиметровая, масштабно-координатная**) и с использованием приборов (**линейка, секундомер**), произвести измерение ускорения свободного падения  $g$ . Оценка ускорения свободного падения должна быть произведена на основании серии, содержащей не менее трех экспериментов. Предложите экспериментальную методику, позволяющую добиться наилучшей точности.

Следует оценить погрешность для получаемого в Вашем эксперименте ускорения свободного падения. Работа, содержащая корректно оформленный график экспериментальной зависимости, будет поощрена дополнительными баллами в соответствии с критериями проверки, но не более 60 баллов суммарно.

## **Вариант 2**

Используя предложенные измерительные приборы (**линейка, штангенциркуль, два мультиметра**) и материалы (**переменный резистор, лабораторный источник питания 9В, соединительные провода, проволока из исследуемого материала, бумага миллиметровая**), а также приведенные справочные данные (таблица удельных электрических сопротивлений), исследуйте приведенный образец проволоки: определите удельное сопротивление материала проволоки с учетом погрешности и попробуйте установить материал проволоки. Проведите серию измерений.

Работа, содержащая корректно оформленный график экспериментальной зависимости, будет поощрена дополнительными баллами в соответствии с критериями проверки, но не более 60 баллов суммарно

## Критерии оценки заданий

### Общие критерии оценки кейсов

Критерий	Балл
Задание 2.1.	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку и предложил алгоритм проведения эксперимента.	5
Записаны формулы и законы	5
Задание 2.2.	
Проведена серия измерений и снята экспериментальная зависимость	10
Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента.	5
Получено целевое значение физической величины, отличающееся от эталонного не более, чем на 15%.	5
Задание 2.3.	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента.	15
На миллиметровой бумаге построен оформленный в соответствии с требованиями и хорошо читаемый график необходимой зависимости.	15

### Снижаемые баллы

Критерий	Баллы
Описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, однако, рассуждения или формулы содержат ошибки.	(- 5) за каждую ошибку, но не более (-10) баллов суммарно
Был построен график на миллиметровой бумаге, однако оформление графика неаккуратно или содержит значительные ошибки, или зависимость не информативна.	(- 5) за каждую ошибку, но не более (-10) баллов суммарно

### Уточненные критерии для варианта №1:

Критерий	Балл
Задание 2.1.	
1) Участник конкурса предложил собрать математический маятник для оценки ускорения свободного падения.	5
2) Описана формула для периода колебаний $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$	5
Задание 2.2.	
1) Снята экспериментальная зависимость T(L) - периода колебаний маятника от длины нити	
А - Зависимость содержит 3-4 точки	8
Б - Зависимость содержит 5 и более точек	10
2) Участник эксперимента высказал грамотные и физически корректные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента, например - измерение времени нескольких колебаний, а не одного, использование длинного двунитевого подвеса.	
А) Высказано одно предложение, повышающее точность эксперимента	3
Б) Высказано более двух предложений по повышению точности эксперимента	5
3) Получено значение g, отклоняющееся от эталонного (9,815 м/с <sup>2</sup> ) не более чем на 1,5 м/с <sup>2</sup>	5
Задание 2.3.	
1) Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	15
2) На миллиметровой бумаге построен оформленный в соответствии с требованиями и хорошо читаемый график зависимости T <sup>2</sup> от L или L от T <sup>2</sup> или T(L)	15
<b>Итого</b>	<b>60</b>

### Уточненные критерии для варианта №2:

Критерий	Балл
Задание 2.1.	
1) Была зарисована и собрана электрическая схема, допускающая проведение измерений	5
2) Участник конкурса записал закон Ома $U=IR$ и формулу для сопротивления $R = \rho \frac{l}{S}$	5
Задание 2.2.	
1) Снята экспериментальная зависимость напряжения $U$ от $l$ - длины включенного в цепь участка проволоки, при постоянной $I$ (силе тока), или по крайней мере, с указанием силы тока в цепи для каждой точки.	
А - Зависимость содержит 1 точку	5
Б - Зависимость содержит 2 точки	8
В - Зависимость содержит 3 и более точек	10
2) Участник определил удельное сопротивление $\rho$ исследуемого образца, с совпадением порядка величины и правильно указанной размерностью	6
3) Участник конкурса предложил один или несколько (не более трех) предполагаемых материалов, и среди предложенных вариантов был правильный ответ	4
Задание 2.3.	
1) Участник описал формулы оценки погрешности эксперимента и корректно оценил погрешность эксперимента	15
2) На миллиметровой бумаге построен корректно оформленный в соответствии с требованиями и хорошо читаемый график зависимости $R$ от $L$ или по крайней мере $U(L)$ при фиксированном значении $I$ .	15
<b>Итого</b>	<b>60</b>

## Методические указания для участников конкурса и преподавателей по выполнению экспериментальных кейсов.

### Выполнение варианта №1.

Основным способом экспериментального получения ускорения свободного падения с помощью данного оборудования является изготовление математического маятника и изучение его колебаний. Из школьной программы известна формула 1, связывающая период колебаний математического маятника  $T$  с его длиной  $l$  и искомым ускорением свободного падения  $g$ .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

Очевидно, что при проведении школьного эксперимента, участник конкурса может варьировать параметр  $l$  и измерять период колебания. Наиболее простой методикой эксперимента видится измерение периода  $T$  при нескольких значениях  $l$ , а затем для каждой экспериментально полученной пары  $T, l$ , прямое вычисление  $g$  по формуле 2, полученной из формулы 1 простым алгебраическим преобразованием.

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (2)$$

Заметим, что  $g$  по этой формуле вычисляется как функция двух переменных, а значит, систематическая погрешность при косвенном измерении  $g$  может быть наиболее точно определена с применением формулы<sup>1</sup> [13] для погрешности косвенных измерений:

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{\partial g(l, T)}{\partial l} \Delta l\right)^2 + \left(\frac{\partial g(l, T)}{\partial T} \Delta T\right)^2} \quad (3)$$

Здесь  $\frac{\partial g(l, T)}{\partial l}$  – частная производная формулы 2 по длине нити, т.е. производная, взятая в предположении, что время является постоянным параметром. Аналогично,  $\frac{\partial g(l, T)}{\partial T}$  – частная производная формулы 2, вычисленная в предположении постоянной длины нити.  $\Delta l$  – систематическая погрешность длины нити, в качестве которой можно принять приборную погрешность линейки. При значительной длине подвеса маятника, трудно измерить длину подвеса достаточно точно; разумная цифра для систематической погрешности будет иметь порядок сантиметров.  $\Delta T$  – систематическая погрешность измерения времени. При измерении ручным секундомером, она

---

<sup>1</sup> Формула относится к университетской программе. Ее применение рекомендовано только для преподавателей, проводящих занятие со школьниками, или по крайней мере для школьников, знакомых с основами математического анализа, и умеющих вычислять производные

определяется временем реакции человека (0,3-0,2 секунды). Частные производные в формуле 3 вычисляются достаточно легко:

$$\frac{\partial g(l, T)}{\partial l} = \frac{\partial 4\pi^2 l}{\partial l T^2} = \frac{4\pi^2}{T^2}$$

$$\frac{\partial g(l, T)}{\partial T} = \frac{\partial 4\pi^2 l}{\partial T T^2} = 4\pi^2 l \frac{\partial}{\partial T} T^{-2} = -\frac{8\pi^2 l}{T^3}$$

Подставив эти частные производные в формулу 3 и проведя алгебраические преобразования, получим следующее:

$$\Delta g = \frac{4\pi^2}{T^2} \sqrt{\Delta l^2 + \frac{4l^2 \Delta T^2}{T^2}} \quad (4)$$

Интересно проследить зависимость этой формулы от длины подвеса  $l$ . Взглянув на формулу 4, кажется, что результат с увеличением  $l$  должен расти, однако, если мы избавимся от  $T$ , подставив (1) в соответствующие места (4), зависимость примет следующий вид:

$$\Delta g = \frac{g}{l} \sqrt{\Delta l^2 + \frac{gl \Delta T^2}{\pi^2}} \quad (4a)$$

Если учесть постоянный характер ускорения свободного падения, и систематических приборных погрешностей  $\Delta l$  и  $\Delta T$ , мы можем предполагать, что погрешность косвенного измерения  $\Delta g$  с увеличением  $l$  асимптотически стремится к нулю. С точки зрения физики, математический маятник, конечно же, является моделью реальной колебательной системы. Чем больше длина подвеса, тем ближе реальный маятник к массивной материальной точке на подвесе, и тем точнее выполняется асимптотическая формула  $\sin(\alpha) \approx \alpha$ . Из этого напрямую вытекает способ увеличения точности в эксперименте по определению ускорения свободного падения - достаточно длинный подвес. В идеале, можно установить штатив так, чтобы подвес с грузом свисал за край стола.

Теперь попробуем использовать следующие правила оценки погрешностей косвенных измерений, не выходящие за рамки школьного курса.

при сложении или вычитании двух величин, складываются их **абсолютные** погрешности.

$$\Delta(x \pm y) = \Delta x + \Delta y$$

при умножении или делении двух величин, складываются их **относительные** погрешности

$$\varepsilon(xy) = \varepsilon_x + \varepsilon_y$$

$$\varepsilon\left(\frac{x}{y}\right) = \varepsilon_x + \varepsilon_y$$

При умножении величины на константу, ее абсолютная погрешность умножается на эту же константу, а относительная – остается без изменений.

$$\Delta(cx) = c\Delta x$$

Если рассматривать формулу 2, по которой мы экспериментально определяем ускорение свободного падения, то к ней конечно же, применима формула для относительной погрешности:

$$\varepsilon(g) = \varepsilon_L + \varepsilon_{T^2} = \varepsilon_L + \varepsilon_T + \varepsilon_T = \varepsilon_L + 2\varepsilon_T$$

На первый взгляд, полученный результат далек от того, что нам удалось получить по «университетской» формуле (4) для погрешности косвенного измерения. Однако, если мы заменим первый множитель  $T^2$  в формуле на полученный из формулы 1, разделим получившееся равенство на  $g$  и внесем длину подвеса  $l$  под корень, то получим вид формулы 4 записанный через относительные погрешности:

$$\varepsilon(g) = \sqrt{\varepsilon_L^2 + (2\varepsilon_T)^2} \quad (46)$$

Если внимательно присмотреться к этому представлению погрешности, то оно действительно похоже на то, что мы получили с помощью «школьных» формул, однако, если в «школьных» формулах относительная погрешность измерения длины нити складывалась с удвоенной относительной погрешностью, то при использовании формулы в частных производных те же самые величины складываются как катеты прямоугольного треугольника в теореме Пифагора! Действительно, более строгим подходом к сложению погрешностей, дающим более точный результат, является сложение погрешностей подобно катетам, т.е. взятие корня из суммы квадратов складываемых погрешностей. Тем не менее, простую операцию сложения погрешностей можно провести и без инженерного калькулятора, а для школьного эксперимента некоторое возрастание погрешности совсем не критично.

Важным способом повышения точности в данном эксперименте является измерение времени, за которое происходит несколько колебаний, с подсчетом числа колебаний. Такой подход является аналогом известного метода рядов, но не для линейных размеров, а для временных интервалов.

Следует отметить, что если подвес имеет одну нить, то возникающие колебания могут оказаться не плоскими, а происходящими по эллиптической траектории (в университетском курсе общей физики рассматривается сложение колебаний в двух взаимно перпендикулярных осях с образованием т.н. фигур Лиссажу)[6]. Хорошим способом избежать подобного физического явления может стать двунитевой (бифилярный) подвес.

Подведем некоторые итоги теоретического рассмотрения задачи, и опишем алгоритмы, по которым может быть выполнен данный экспериментальный кейс.

*Получение экспериментальных данных в этой работе выглядит следующим образом:*

1) Собрать математический маятник. При этом желательно использовать двунитевой подвес, достаточной длины. Можно разместить штатив так, чтобы подвес с грузом свисал за край стола.



*Рисунок 1. Используемая в лабораторном практикуме РТУ МИРЭА установка: слева от штатива – физический маятник, справа – математический маятник с двунитевым подвесом.*

2) Изменяя длину подвеса, провести измерения периода нескольких (лучше – 10 или более) колебаний. Для измеренных данных можно построить таблицу следующего вида:

№	Длина подвеса, м	Время 10 колебаний, с	Период колебаний, с
1	1,05	20,4	2,04
2	1,01	19,9	1,9
...	...	...	...

Увеличение количества экспериментальных точек позволяет получить более точный результат, а согласно критериям, это и оценивается более высоко.

Для обработки экспериментальных данных и представления результатов эксперимента, возможно два подхода:

1) *Базовый подход.*

1) По формуле 2 вычислим значение ускорения свободного падения  $g$  для каждой экспериментальной точки. Можно дополнить записанную выше таблицу новым столбцом.

2) Вычислим среднее арифметическое значение  $g$ , для этого необходимо сложить экспериментальные значения  $g$ , полученные для каждой экспериментальной точки, и разделить полученную сумму на число экспериментальных точек:

$$\langle g \rangle = \frac{g_1 + g_2 + \dots + g_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i$$

3) Случайную погрешность эксперимента возможно оценить как среднее квадратичное отклонение. Для этого, необходимо для каждого экспериментально определенного значения  $g$  вычислить отклонение от среднего значения  $\langle g \rangle$ , возвести полученные отклонения от среднего в квадрат, сложить квадраты отклонений, полученную сумму разделить на число точек, и взять из полученного результата квадратный корень.

$$S_g = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (g_i - \langle g \rangle)^2}$$

Полученное значение среднеквадратичного отклонения  $S_g$  может быть использовано как оценка **случайной** погрешности эксперимента.

4) Систематическая погрешность эксперимента может быть оценена с использованием следующей формулы:

$$\varepsilon(g) = \varepsilon_L + 2\varepsilon_T \Rightarrow \Delta g = \langle g \rangle (\varepsilon_L + 2\varepsilon_T)$$

Напомним использованные обозначения:  $\varepsilon_L$  – относительная приборная погрешность измерения длины нити,  $\varepsilon_T$  – относительная приборная погрешность измерения времени,  $\Delta g$  – систематическая косвенная погрешность  $g$ , а  $\langle g \rangle$  – среднее арифметическое значение  $g$ , полученное ранее.

Более точная оценка может быть получена, если  $\varepsilon_L$  и  $2\varepsilon_T$  складывать не напрямую, а как катеты в теореме Пифагора (формула 4б)

$$\Delta g = \langle g \rangle \sqrt{\varepsilon_L^2 + (2\varepsilon_T)^2}$$

аиболее простой оценкой полной погрешности измерения  $g$  является простая сумма среднеквадратичного отклонения  $S_g$  и систематической погрешности косвенного измерения  $\Delta g$

$$\Delta g_{\text{полн}} = S_g + \Delta g$$

Б

о  
л  
е

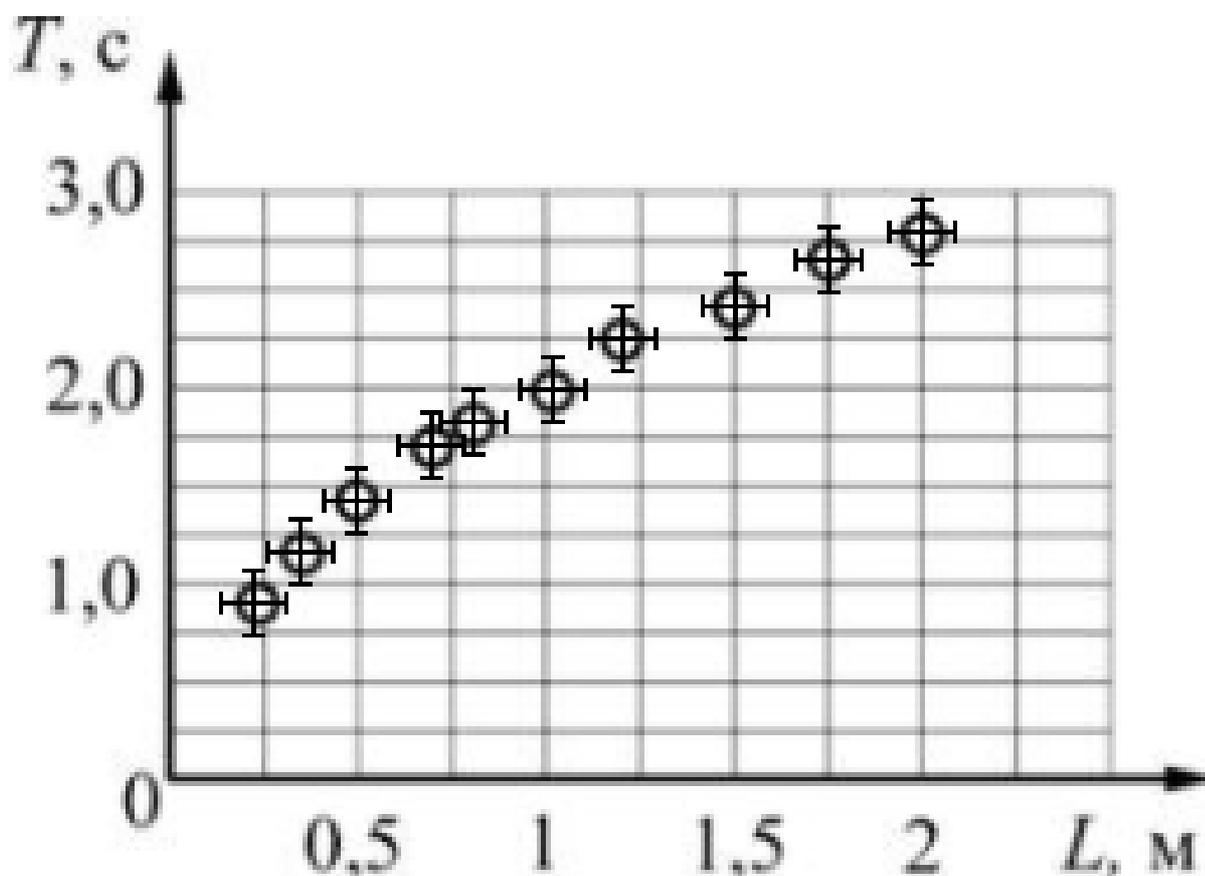
$$\Delta g_{\text{полн}} = \sqrt{S_g^2 + \Delta g^2}$$

е В источнике [13] предлагается при таком сложении предварительно умножить среднеквадратичное отклонение на 3:

т  
о  
ч

$$\Delta g_{\text{полн}} = \sqrt{(3S_g)^2 + \Delta g^2}$$

ллюстрацией к экспериментальным результатам проделанной экспериментальной работы послужит график периода колебаний  $T$  от длины нити  $l$ , грамотно оформленный, содержащий подписи осей и отрезки погрешностей. Вид формулы 1 дает основания предполагать, что график будет иметь вид, подобный графику функции  $y = \sqrt{x}$ .



л  
о  
ж  
е  
н  
и  
е

Рисунок 2. График зависимости периода колебаний математического маятника от длины подвеса

## 2) Продвинутой, «олимпиадный» подход. Линеаризация эксперимента.

Данный метод, вообще говоря, относится к олимпиадам школьников по физике, и подробно описан в методическом пособии [3]

1) Возведем основную рабочую формулу 1 для периода колебаний в квадрат. На графике будем строить не зависимость  $T(l)$  а  $T^2(l)$ . Предполагается линейный вид зависимости, идентичный графику функции  $y=kx$ .

2) Относительная приборная погрешность  $T^2$  будет вдвое больше, чем относительная погрешность времени  $T$  (почему?). На основании этого, вычислим абсолютную погрешность  $T^2$  для каждой точки, т.к. это пригодится для изображения отрезков погрешностей.

3) Построим график  $T^2$  от  $l$  с указанием имеющихся для каждой экспериментальной точки интервалов погрешностей для  $l$  и  $T^2$ . При правильно проведенном эксперименте и правильно построенном графике, зависимость будет иметь вид, близкий к линейному.

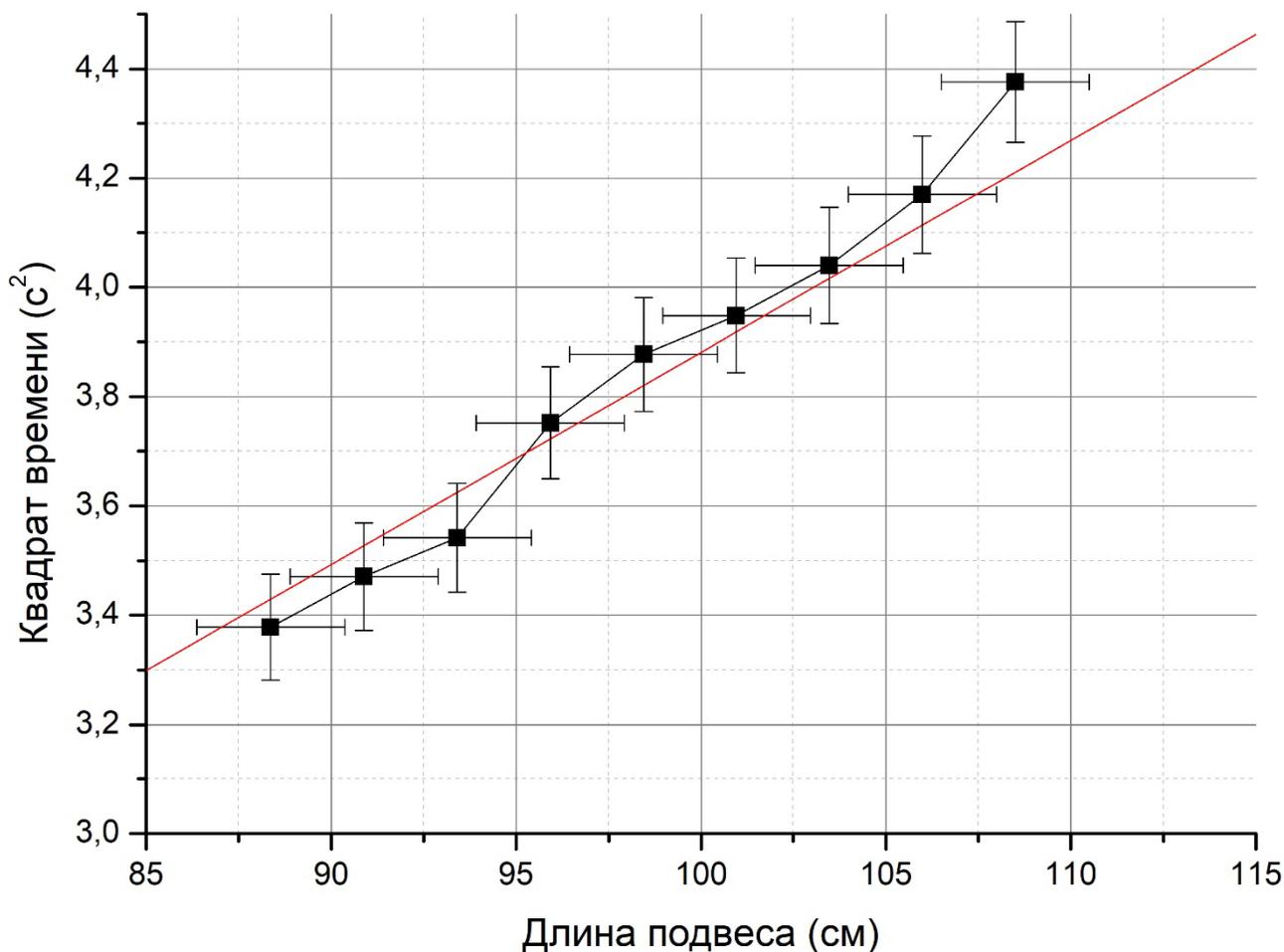


Рисунок 3. График зависимости квадрата периода колебаний математического маятника от длины подвеса. Вообще говоря, выполнен в программе Originlab Origin и линейная аппроксимация проведена там же, но схожий вид должен иметь и "образцово-показательный" график участника конкурса, выполненный на миллиметровой бумаге. Примечание: несмотря на характер зависимости  $y=kx$  график не проходит через начало координатных осей ввиду выбранного масштаба построения.

4) Проведем прямую, проходящую через точку (0,0) и наилучшим образом приближающую наши экспериментальные точки. Оценим для этой прямой угловой коэффициент наклона  $k$ , который, согласно теории (формула 1) будет иметь смысл

$$k = \frac{4\pi^2}{g}$$

Погрешность  $k$ -та наклона  $k$  должна быть проведена по методу, подробно описанному в [3].

5) Оцените значение  $g$  на основе  $k$ -та углового наклона  $k$ . Оцените значение относительной погрешности  $k$ -та  $k$ , оно будет таким же, как и относительная погрешность определенного Вами значения  $g$  (почему?).

### **Выполнение варианта №2.**

Основывается эта задача на законе Ома для линейного участка цепи ( $U=IR$ ) а так же стандартной формуле для сопротивления однородного проводника  $R = \frac{\rho L}{S}$ , где  $L$  – длина проводника,  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление проводника, а  $S$  – его площадь поперечного сечения. Как правило, в подобных работах сопротивление исследуемого образца (провода или стержня) слишком мало, чтобы его можно было измерить омметром напрямую, поэтому для измерений необходимо собрать стандартную электрическую схему для снятия вольт-амперной характеристики. В обработке экспериментальных результатов возможны опять же два варианта, подобно описанным ранее для варианта кейса №1, поэтому обработка экспериментальных результатов не будет описываться подробно. Сосредоточим наше внимание на методике проведения эксперимента.

1) С помощью штангенциркуля измерим диаметр проволоки.

2) Подсчитаем площадь поперечного сечения образца проволоки, полагая его цилиндрическим, а так же оценим погрешность как погрешность косвенного измерения.

3) Соберем стандартную электрическую схему для измерения вольт-амперной характеристики: последовательно включим в цепь амперметр и изучаемый кусок проволоки; вольтметр же будет включен параллельно исследуемому образцу. Выполнение данной лабораторной работы допускает два варианта измерений. Мы можем совместить один из щупов мультиметра с контактом – «крокодильчиком» и будем варьировать положение точки подключения контакта к проводу. При этом, суммарное сопротивление цепи, вообще говоря, уменьшается, поскольку уменьшается

длина включенного в цепь участка проволоки. Сила тока при этом, должна возрасть. При втором варианте мы варьируем лишь точку, которой касаемся вторым щупом куска проволоки. При этом все равно

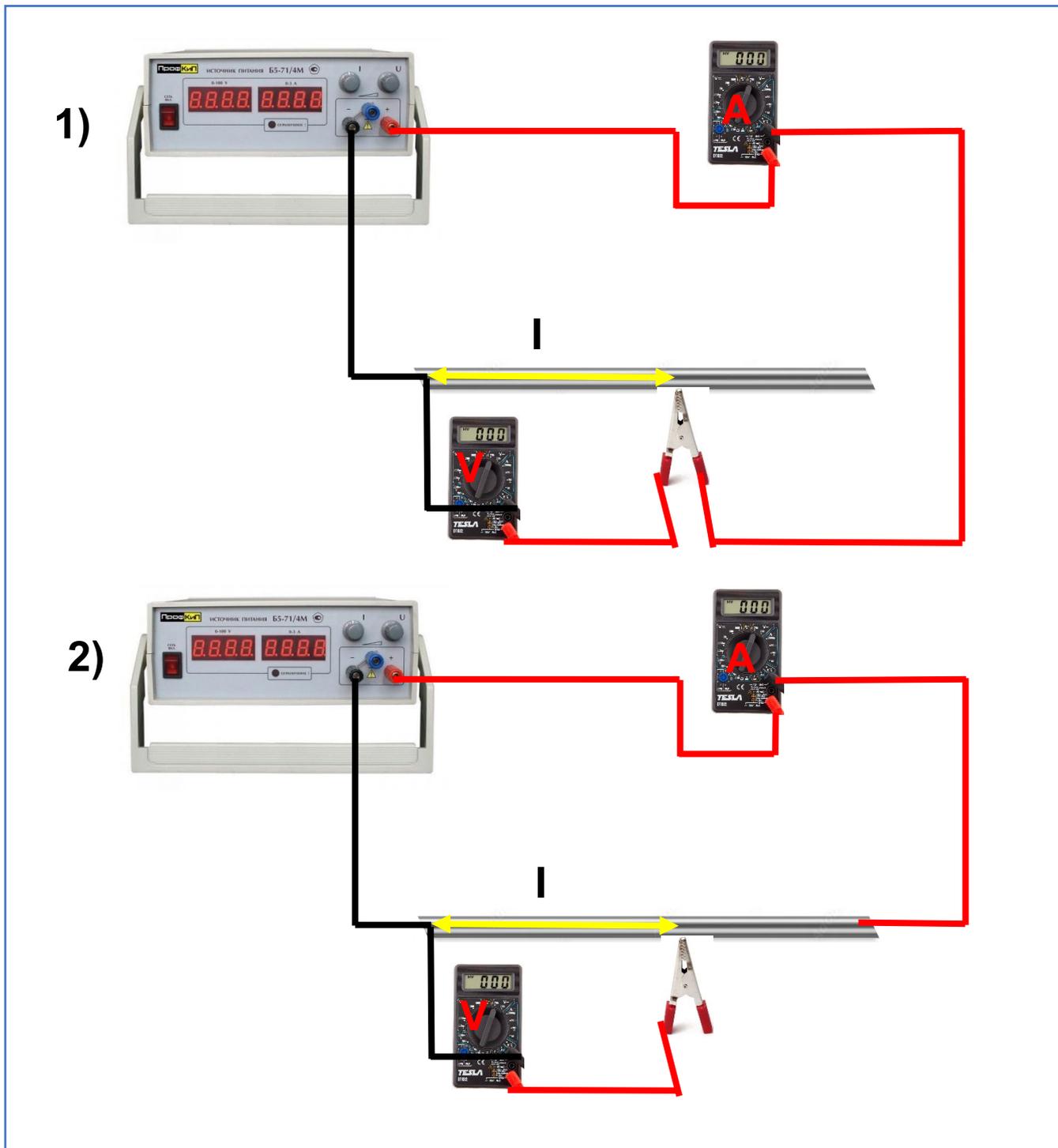


Рисунок 4. Две возможные схемы измерений при выполнении измерений. Сверху ( вариант ) варьируется точка подключения к исследуемому образцу, снизу – только точки подключения вольтметра.

важно следить за постоянством силы тока по амперметру.

4) Проведем измерения  $U$ ,  $I$  (1) в первом варианте подключения, или  $U(I)$  при втором варианте подключения (с отслеживанием постоянства силы тока по показаниям амперметра). На источнике напряжения

стоит выставить напряжение порядка 5 В и снизить его, если измерения «не получаются», например, приборы зашкаливают.

## Список рекомендованной литературы

1. Н.А. Королев, В.А. О कोरोков, С.Л. Тимошенко, Обработка результатов измерений. Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2017 – 60 с.
2. Ананьева Н.Г., Ананьева М.С., Самойлов В.Н., Графическое оформление результатов эксперимента. Построение графика в прямоугольной системе координат. Учебное пособие. М.: МГУ, 2016 – 23с.
3. А.Ю. Вергунов, М.Ю. Замятнин, Действия с приближенными величинами. Погрешность. Физтех лицей им. С.П. Капицы. 2021 – 37 с.
4. А.А. Лукьянов «Экспериментальная физика. 8 класс». М.: МФТИ, 2019 – 126 с
5. Задерновский А.А., Козис Е.В. Электричество и магнетизм: Учебное пособие. /МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА). – М., 2019. – 82 с.
6. Задерновский А.А., Сафрнов А.А. Механика. Молекулярная физика и термодинамика: Учебное пособие. /МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА). – М., 2020. – 87 с.
7. Элементарный учебник физики: Учеб. пособие. В 3 т. Т. 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика / Под ред. Г.С. Ландсберга. — 14-е изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 612 с. — ISBN 978-5-9221-1256-7.
8. Элементарный учебник физики: Учеб. пособие В 3 т. Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика / Под ред. Г.С. Ландсберга. — 13-е изд., — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 656 с. — ISBN 978-5-9221-0351-0.
9. Шувалова Э, З. и др. Повторим математику. Изд. 2-е, доп. Учеб, пособие для поступающих в вузы. М., «Высш, школа», 1974.
10. Кодификатор Единого Государственного Экзамена по физике // URL: [https://doc.fipi.ru/ege/demoversii-specifikacii-kodifikatory/2025/fi\\_11\\_2025\\_proekt.zip](https://doc.fipi.ru/ege/demoversii-specifikacii-kodifikatory/2025/fi_11_2025_proekt.zip)
11. Методические рекомендации по оцениванию оформления графиков на практических турах всероссийской олимпиады школьников по физике // URL: <https://цпм.пф/wp-content/uploads/2022/12/trebovanija-k-postroeniju-grafikov-1.pdf>
12. Методические рекомендации по оценке погрешностей в практических заданиях Всероссийской олимпиады школьников по физике и критериях их оценивания // URL: <https://цпм.пф/wp-content/uploads/2022/12/trebovanija-k-ocenke-pogreshnostej-1.pdf>
13. Ляпцев А.В., д.ф.-м.н., «Погрешности измерений при проведении школьного физического эксперимента» // URL: <https://ppt-online.org/725906>
14. Введение в технику эксперимента, лабораторный практикум. Лабораторная работа 2, измерение временных интервалов // URL: [http://genphys.phys.msu.ru/rus/lab/vtek/VTEK2\\_2017.pdf](http://genphys.phys.msu.ru/rus/lab/vtek/VTEK2_2017.pdf)
15. Введение в технику эксперимента, лабораторный практикум. Лабораторная работа 3, исследование электрических цепей постоянного тока // URL: [http://genphys.phys.msu.ru/rus/lab/vtek/VTEK3\\_2021.pdf](http://genphys.phys.msu.ru/rus/lab/vtek/VTEK3_2021.pdf)