ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕГАПОЛИС

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Инженерный класс в московской школе

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ И КУРЧАТОВСКИЕ КЛАССЫ

ПРАКТИЧЕСКИЙ ЭТАП

МОСКВА
2025

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕГАПОЛИС

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ РАЗРАБОТАНЫ:

Гладышевой Яной Владимировной, к.т.н., доцент кафедры «Физика» МГТУ имени Н.Э. Баумана

Леоновой Еленой Геннадьевной, старший преподаватель МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКВА
2025

Содержание

Введение....4
Содержание и структура варианта практического этапа 4
План конкурсных материалов для проведения практического этапа Конкурса по направлению Инженерно-техническое и Курчатовские классы (Кейс №1) 5
Методические рекомендации по решению заданий демоварианта практического этапа Конкурса по направлению Инженерно-техническое и Курчатовские классы (Кейс №1) 6
Возможные ошибки при решении кейса №1 24
Список литературы 24

Введение

Данные методические рекомендации предназначены для подготовки школьников к участию в Московском конкурсе межпредметных навыков и знаний «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал» (далее – Конкурс) в номинации «Инженерный класс» по направлению Инженерно-техническое и Курчатовские классы.

Задания практического этапа Конкурса разработаны преподавателями образовательных организаций высшего образования, участвующих в проекте «Инженерный класс в московской школе».

Материалы практического этапа предназначены для оценки уровня практической подготовки участников Конкурса. Максимальный балл за выполнение задания – 60 баллов. Для получения максимального балла за практический этап Конкурса необходимо дать верные ответы на все задания.

Содержание и структура варианта практического этапа

Индивидуальный вариант участника включает два независимых кейса, содержание которых соответствует программам элективных курсов «Инженерный практикум» и «Технологии современного производства».

Индивидуальный вариант участника, выбравшего Кейс №1, состоит из 3 заданий, базирующихся на содержании элективного курса «Инженерный практикум».

Индивидуальный вариант участника, выбравшего Кейс №2, состоит из 3 заданий, базирующихся на содержании элективного курса «Технологии современного производства».

Практический этап Конкурса проводится в очной форме на базе вуза. При выполнении работы обеспечивается строгое соблюдение порядка организации и проведения Конкурса.

Для прохождения Кейса №1 участнику разрешено использовать:

- комплект базового оборудования в рамках проекта столичного образования «Инженерный класс в московской школе»;
- непрограммируемый калькулятор;
- таблицы физических величин.

На выполнение заданий практического этапа Конкурса отводится **120** минут. Во время проведения мероприятия участник может выйти из зоны проведения мероприятия не более чем на 5 минут, предупредив ответственного от вуза. Мероприятие не продлевается на время отсутствия участника.

План конкурсных материалов для проведения практического этапа Конкурса по направлению Инженерно-техническое и Курчатовские классы (Кейс №1)

№ задания	Уровень сложности	Уникальные кодификаторы Конкурса	Контролируемые требования к проверяемым умениям	Балл
1.	**Кейс №1**			
1.1	*повышенный*	1. Введение 2. Техническая механика / 3. Тепловые процессы в технических устройствах / 4. Электромагнитные приборы	Знание и понимание основных принципов измерения физических величин. Знание основных формул и законов физики в рамках курса средней школы. Умение самостоятельно подготовить экспериментальную установку.	20
1.2	*базовый*	1. Введение 2. Техническая механика / 3. Тепловые процессы в технических устройствах / 4. Электромагнитные приборы	Знание основных формул и законов физики в рамках школьного курса. Умение производить работы с измерительными приборами, проводить измерения физических величин. Знание основных соотношений для вычисления абсолютной и относительной погрешностей; правил сложения/вычитания абсолютных погрешностей; знание правил умножения/деления относительных погрешностей, а также правил умножения на константу различных видов погрешностей. Умение вычислять прямые и косвенные погрешности измерений.	25
1.3	*базовый*	1. Введение 2. Техническая механика / 3. Тепловые процессы в технических устройствах / 4. Электромагнитные приборы	Умение производить работы с измерительными приборами, проводить измерения физических величин. Знание основных соотношений для вычисления абсолютной и относительной погрешностей	15
			Сумма баллов:	**60**

Методические рекомендации по решению заданий демоварианта практического этапа Конкурса по направлению Инженерно-техническое и Курчатовские классы (Кейс №1)

Вариант 1

Задание. На основе предлагаемых материалов, указанных в Таблице 1, произвести косвенное измерение коэффициентов жёсткости пружин двумя способами. Оценка коэффициентов должна быть произведена по серии, содержащей, как минимум, три измерения с использованием каждого шара. Предложите и опишите экспериментальную методику, позволяющую добиться наилучшей точности. Сравните полученные двумя способами результаты друг с другом и с эталонными, сформулируйте выводы.

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте коэффициентов жёсткости. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил.

Таблица 1

Наименование	**Количество**
Пружина спиральная *10 Н/м*	1
Пружина спиральная *25 Н/м*	1
Шар с крючком *35 г*	1
Шар с крючком *70 г*	1
Штатив с системой закрепления пружин	1
Цифровой секундомер	1
Весы электронные	1
Линейка деревянная	1

Возможное решение

Для проведения косвенного измерения коэффициентов жёсткости пружин предлагается следующий порядок постановки эксперимента:

1. Подготовьте оборудование и рабочее пространство. Соберите штатив (рисунок 1).

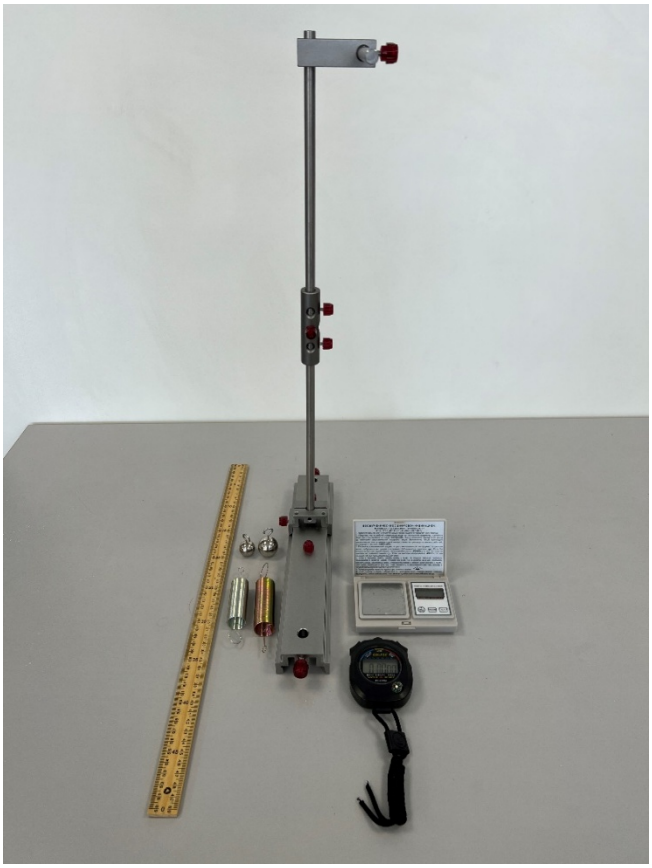


Рисунок 1 – Необходимое для постановки эксперимента оборудование

2. Проведите измерение массы шаров с крючком с использованием электронных весов (рисунок 2). Сделайте серию измерений для каждого шара, не менее трёх измерений в серии.

Рисунок 2 – Пример измерения массы шара с крючком (заявленное значение массы – 70 г, измеренное – 70,4 г)

3. Вычислите среднее значение массы каждого шара, а также оцените случайную погрешность. Случайную погрешность можно оценить как среднее квадратическое отклонение.

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_N}{N} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

$$\text{СКО} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - x_{\text{ср}})^2}$$

Так как массы шаров заранее известны, наличие/отсутствие измерения их массы в работе не повлияет на итоговый балл. Однако грамотный подход к постановке эксперимента предполагает, что все величины, которые могут быть измерены прямым методом, будут измерены для увеличения точности итогового результата, а также для демонстрации умения проводить измерения и обрабатывать полученные экспериментальные данные.

4. Зафиксируйте пружину на штативе. Измерьте с помощью деревянной линейки длину пружины в нерастянутом состоянии (рисунок 3). Повторите действие со второй пружиной. Для каждой пружины необходимо получить, как минимум, три измерения длины. Найдите среднее значение длины каждой пружины.

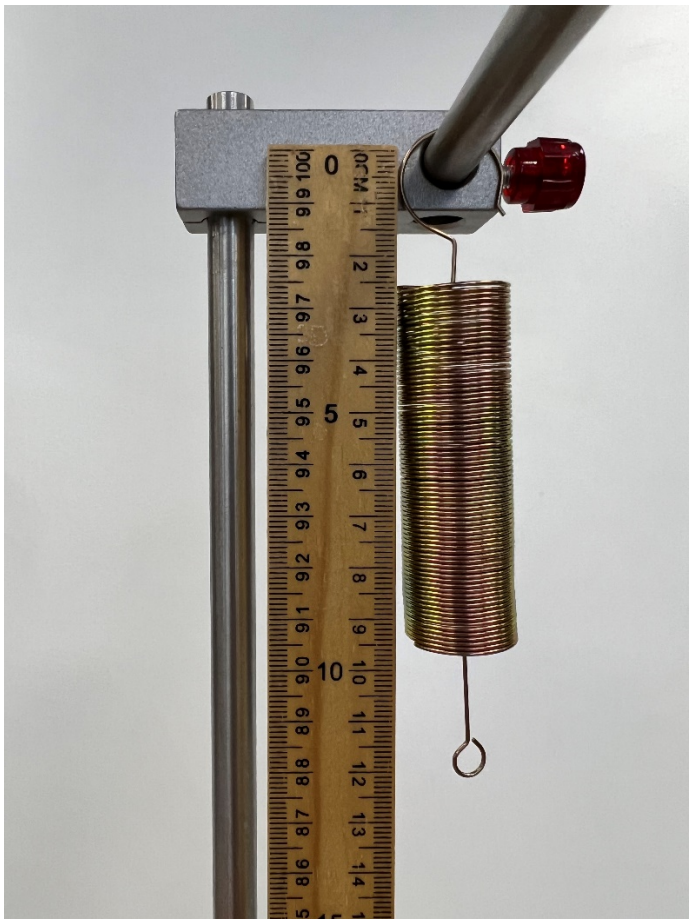


Рисунок 3 – Измерение длины пружины в нерастянутом состоянии

5. Подвесьте на первую пружину один из шаров с крючком. Дождитесь момента, когда система придёт в равновесие. Измерьте длину пружины в растянутом состоянии (рисунок 4). Повторите действие со второй пружиной. Для каждой пружины необходимо получить, как минимум, три измерения длины. Найдите среднее значение длины каждой пружины.

Рисунок 4 – Измерение длины пружины в растянутом состоянии

6. Вычислите удлинение каждой пружины Δx при подвешивании каждого шара, используйте средние значения. Должно получиться 4 значения удлинения.

7. Из соображений, что при подвешивании шара к пружине, на пружину действует направленная вертикально вниз сила тяжести шара, а вертикально вверх – сила упругости пружины, с использованием второго закона Ньютона получаем:

$$F_{\text{упр}} = F_{\text{тяж}}$$

$$mg = k\Delta x$$

$$k = \frac{mg}{\Delta x}$$

Таким образом, получите значение коэффициента жёсткости пружины для каждой из пружин.

8. Для оценки погрешности полученного измерения необходимо вспомнить 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.

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

Таким образом, для оценки погрешности косвенного измерения коэффициентов жёсткости пружин, можно использовать формулу с применением относительной погрешности измерения длины и массы.

$$\varepsilon_k = \varepsilon_l + \varepsilon_m$$

$$\Delta k = \varepsilon_k * k_{\text{ср}},$$

$k_{\text{ср}}$ – среднее коэффициента жёсткости пружины по двум значениям (одна пружина, два разных шара).

Относительная погрешность измерения длины может быть оценена как половина цены деления деревянной линейки поделить на среднее значение длины.

Ответ можно представить в виде: $k_{ср} \pm \Delta k$

9. Для косвенного измерения коэффициентов жёсткости пружин вторым способом используйте соображения о пружинном маятнике. Формула периода колебаний пружинного маятника связывает массу груза и сам период с коэффициентом жёсткости пружины.

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

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$$

Если измерить период колебаний пружинного маятника и знать массу груза, то получится посчитать, т.е. косвенно измерить, коэффициент жёсткости пружины.

Для сочетания каждой пружины с каждым грузом проведите измерение периода колебаний пружинного маятника. Каждое сочетание должно представлять собой серию измерений не менее трёх. Итого минимально 12 измерений.

Для увеличения точности измеряйте период сразу нескольких колебаний, затем делите измеренное время на количество колебаний.

При одном из сочетаний пружины с маятником сложно оценить, сколько колебаний произошло, связано это со слишком быстрой сменой положений груза. В ходе работе следует описать данный эффект, который будет являться обоснованием невозможности измерения периода колебания при одном из сочетаний (если измерение всё же получится провести, результат будет обладать большой случайной погрешностью).

10. Посчитайте для каждого значения периода среднее значение и оцените относительную погрешность измерения времени.

11. Посчитайте значение коэффициентов жёсткости пружин. Оцените погрешность измерения, как описано выше.

12. Зарисуйте схему экспериментальной установки (рисунок 5).

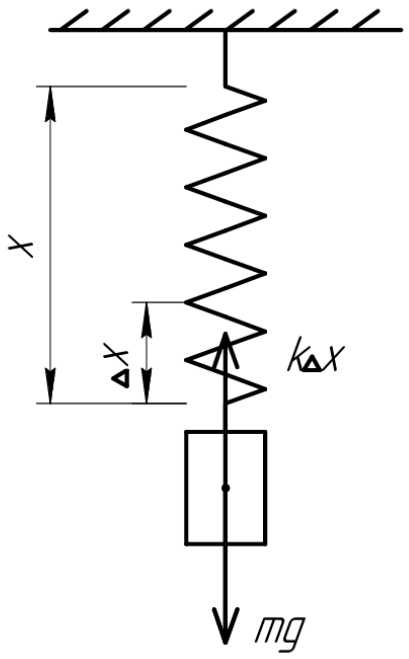


Рисунок 5 – Схема экспериментальной установки

Таким образом, в ходе выполнения работы получены значения двух коэффициентов жёсткости разных пружин разными методиками. Данные коэффициенты необходимо сравнить друг с другом и с эталонным (прописанным в задании) значением.

Критерии оценивания

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (пружинный маятник)	5
Участник Конкурса предложил два алгоритма проведения эксперимента: измерение периода колебаний с использованием цифрового секундомера и массы шаров с использованием электронных весов для последующей оценки коэффициента жёсткости; измерение удлинения пружины с использованием линейки и массы шаров с использованием электронных весов для последующей оценки коэффициента жёсткости	10
Записаны формулы и законы: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$; $mg = k\Delta x$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений (способ – период пружинного маятника): как минимум по три измерения на каждую пружину с использованием каждого шара, итого – 12 измерений:	
А – Проведены измерения только с одним шаром или с одной пружиной – получено 6 измерений	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено 12 и более измерений	3
Проведена серия измерений (способ – удлинение пружины при нагружении): как минимум по три измерения на каждую пружину с использованием каждого шара, итого – 12 измерений:	
А – Проведены измерения только с одним шаром или с одной пружиной – получено 6 измерений	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено 12 и более измерений	3
Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента: измерение периода колебаний более трёх раз, небольшое отклонение от положения равновесия	
А – Высказано одно предложение, повышающее точность эксперимента	1
Б – Высказано более двух предложений для повышения точности	3
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся друг от друга не более чем на 15%	8
Сформулированы выводы по работе (например, о справедливости закона Гука по результатам эксперимента, о схожести получаемых результатов оценки коэффициента жёсткости вне зависимости от способа измерения и др.)	5
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента	10
Зарисована схема пружинного маятника с указанием силы тяжести, силы упругости	5
Итого	**60**

Вариант 2

Задание. На основе предлагаемых элементов, указанных в Таблице 2, проведите косвенное измерение удельной теплоёмкости металлического бруска. Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы, проведите серию измерений, рассчитайте погрешности. Постройте график зависимости удельной теплоёмкости от температуры. Проанализируйте, за счёт чего можно было бы повысить точность эксперимента?

Таблица 2

Наименование	**Количество**
Алюминиевый брусок	1
Провод соединительный чёрный	1
Провод соединительный красный	1
Источник питания	1
Калориметр (набор «Теплота-2»)	1
Катушка нити	1
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1
Штангенциркуль	1
Высокий стеклянный стакан 250 мл (набор «Теплота-2»)	1

Возможное решение

Методика проведения эксперимента:

1. Необходимо налить в мерный стакан 250 мл воды и измерить её температуру (при наличии второго калориметра, можно поместить мерный стакан в него) (рисунок 6).

Рисунок 6 – Измерение температуры воды

2. Необходимо погрузить в калориметр алюминиевый брусок и заполнить калориметр водой, предварительно привязав к бруску нить (для удобства дальнейшего извлечения бруска из горячей воды) (рисунок 7).

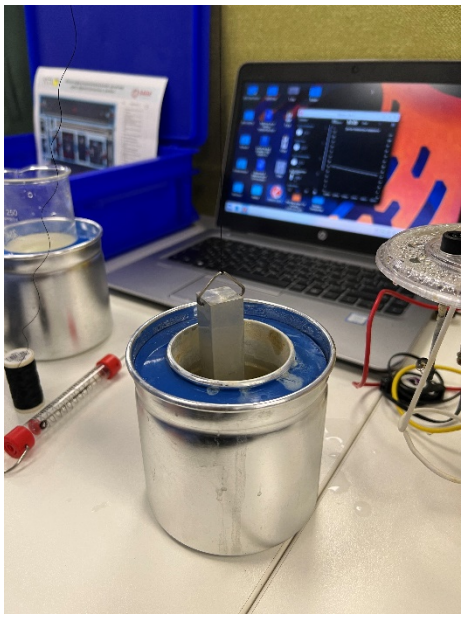


Рисунок 7 – Погружение алюминиевого бруска в калориметр

3. Необходимо подключить калориметр к лабораторному источнику тока, подать напряжение на калориметр. Погрузить термометр в калориметр (рисунок 8) и дождаться достижения температуры воды в калориметре 70 - 90 °С.

Рисунок 8 – Нагрев воды с алюминиевым бруском в калориметре

4. После достижения указанной температуры необходимо осторожно достать брусок за нить и погрузить его в мерный стакан с водой комнатной температуры и термометром, подождать 10-15 минут до достижения термодинамического равновесия. Зафиксировать максимальное показание температуры (рисунок 9) и по полученному значению рассчитать удельную теплоёмкость алюминиевого бруска по формуле (4).

Рисунок 9 – Измерение максимального значения температуры воды с алюминиевым бруском

Уравнение теплового баланса записывается в соответствии с формулой 1:

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}} \quad (1)$$

Для расчёта количества теплоты, необходимого для нагревания тела или выделяемое им при охлаждении, воспользуемся формулой 2:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Массу воды можно оценить по формуле 3:

$$m_в = \rho_в \cdot V_в \quad (3)$$

С учётом выражений (1), (2) и (3) уравнение теплового баланса принимает вид:

$$c_{ал} \cdot m_{ал} \cdot (t_2 - t) = c_в \cdot \rho_в \cdot V_в \cdot (t - t_1),$$

где $c_{ал}$ – удельная теплоёмкость алюминиевого бруска,

$m_{ал}$ – масса алюминиевого бруска,

$c_в$ – удельная теплоёмкость воды,

$\rho_в$ – плотность воды,

$V_в$ – объём воды в мерном стакане,

t_1 – температура воды перед погружением алюминиевого бруска в мерный стакан,

t_2 – температура алюминиевого бруска перед погружением в мерный стакан,

t – температура воды после установления теплового равновесия.

Откуда получается итоговое выражение (формула 4) для расчёта удельной теплоёмкости алюминиевого бруска:

$$c_{ал} = \frac{c_в \cdot \rho_в \cdot V_в \cdot (t - t_1)}{m_{ал} \cdot (t_2 - t)} \quad (4)$$

Критерии оценивания

Критерий	**Баллы**
Задание 1.1	
Участник конкурса изобразил схему, позволяющую выполнить эксперимент	4
Записано уравнение теплового баланса $Q_{пол} = Q_{отд}$	8
Записана формула для расчёта количества теплоты $Q = cm\Delta t$	8
Задание 1.2	
Участник конкурса корректно определил удельную теплоёмкость металлического бруска (стержня, шара), по крайней мере, получил значение, отличающееся от табличного для металла, из которого выполнен брусок (стержень, шар), не более чем на 15%	15
Проведена серия измерений	
А – Серия содержит 2-3 измерения	8
Б – Серия содержит 4 и более измерений	2
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	7

На миллиметровой бумаге построен оформленный в соответствии с требованиями и хорошо читаемый график зависимости удельной теплоёмкости c от температуры t вида прямой, параллельной оси абсцисс	8
Итого	**60**

Вариант 3

Задание. Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в Таблице 3, нарисуйте и соберите схему для определения сопротивления проволоки катушки индуктивности мостовым методом. Определите сопротивление проволоки с учётом погрешности, проведя необходимое количество измерений.

Определите длину проволоки, считая её диаметр равным (0,24±0,02) мм, а удельное сопротивление проволоки равным $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

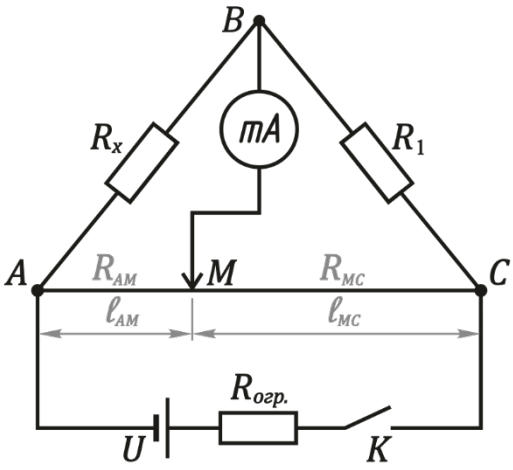
ВАЖНО: необходимо к любой из клемм источника тока подключить один из резисторов в качестве токопонижающего и запитывать схему от источника через него.

Таблица 3

Наименование	**Количество**
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1
Линейка деревянная 25-50 см	1
Резистор сопротивлением около 10 Ом (или потенциометр, используемый только на максимальном сопротивлении)	2
Катушка индуктивности из тонкой медной проволоки	1
Нихромовая проволока диаметром 0,35 мм такой длины, чтобы она была длиннее линейки на 2-4 см	1
Источник тока на 4 В	1
Ключ	1
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	8
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	4
Монтажная панель	1

Возможное решение

Для выполнения задания необходимо нарисовать и использовать мостовую схему, которую применяют для сравнения неизвестного сопротивления R_x с известным R_1. Поскольку в распоряжении имеется три сопротивления, то для реализации мостовой схемы и точного измерения длины проволоки необходимо сначала собрать реохорд. Для этого растянем нихромовую проволоку AC вдоль шкалы деревянной линейки, используем для закрепления проволоки два крокодила без проводов (или канцелярские зажимы). К проволоке в произвольной точке M можно прижать наконечник провода. Оставшиеся два крокодила будем использовать на концах рабочего участка проволоки реохорда, подключив к их клеммам штекеры соединительных проводов.



Соберём цепь (с учётом необходимости токопонижающего резистора $R_{\text{огр}}$) из миллиамперметра и трёх имеющихся сопротивлений и реохорда.

Сопротивление проволоки (при постоянстве диаметра по всей длине) на участках AM и MC пропорционально их длинам согласно формуле $R = \rho\frac{l}{S}$, где $l -$ длина проволоки, $\rho -$ удельное сопротивление материала проволоки, $S -$ площадь поперечного сечения проволоки:

$$\frac{R_{AM}}{R_{MC}} = \frac{\ell_{AM}}{\ell_{MC}}. \quad (1)$$

При подключённом питании, можно найти подвижным контактом M реохорда такое положение, когда ток через миллиамперметр не идёт (мост уравновешен), т.е. потенциалы в точках B и M равны и тогда по закону Ома для участка цепи, во-первых, токи через проволоку на участках AM и MC будут одинаковы, как и токи на участках AB и BC:

$$I_{AM} = I_{MC} \text{ и } I_{AB} = I_{BC}. (2)$$

А во-вторых, разность потенциалов точек A и M, как и точек A и B становится одинаковой, т.е. напряжение на участке AB равно напряжению на участке AM:

$$I_{AB}R_x = I_{AM}R_{AM}\,, (3)$$

а напряжение на участке BC равно напряжению на участке MC:

$$I_{BC}R_1 = I_{MC}R_{MC}\,. (4)$$

Разделив почленно (3) на (4) и подставив равенства (2), получим:

$$\frac{I_{AB}R_x}{I_{BC}R_1} = \frac{I_{AM}R_{AM}}{I_{MC}R_{MC}} \rightarrow \frac{R_x}{R_1} = \frac{R_{AM}}{R_{MC}}\,,\ \text{откуда}\ R_x = R_1\frac{R_{AM}}{R_{MC}} = R_1\frac{\ell_{AM}}{\ell_{MC}}.$$

Контакт в точке A (сторона крокодила со стороны рабочей части реохорда) оказался на отметке 20 мм, а контакт в точке C (сторона другого крокодила тоже со стороны рабочей части реохорда) на отметке 280 мм. Замыкаем ключ и проводим измерения длин участков проволоки по обе стороны скользящего контакта, когда на миллиамперметре стрелка указывает на ноль. Делаем несколько измерений. Если разброс значительный и стрелка миллиамперметра не устойчива, то это плохой контакт – крокодилы не цепко зажали проволоку. Если разброс небольшой – в районе 1 мм, то достаточно 5-ти измерений. Результаты измерений и расчётов среднего значения записываем в таблицу:

n	ℓ_{AM} , мм	ℓ_{MC} , мм
1	161	99
2	161	99
3	161	99
4	162	98
5	161	99
$\langle\ell\rangle$	161,2	98,8

Расчёт погрешности измерения R_x проводится по формуле

$$\Delta R_x = R_x\sqrt{\varepsilon_{R_1}^2 + \varepsilon_{\ell_{AM}}^2 + \varepsilon_{\ell_{MC}}^2}.$$

Здесь ε_{R_1} – относительная погрешность значения сопротивления резистора (потенциометра), указанная на нём;

$\varepsilon_{\ell_{AM}}$ и $\varepsilon_{\ell_{MC}}$ – относительные погрешности измерения длин ℓ_{AM} и ℓ_{MC} соответственно, их можно посчитать по формулам:

$$\varepsilon_{\ell_{AM}} = \frac{\Delta\ell}{\ell_{AM}} \qquad \text{и} \qquad \varepsilon_{\ell_{MC}} = \frac{\Delta\ell}{\ell_{MC}},$$

где $\Delta\ell$ – систематическая погрешность измерения длины отрезка реохорда, рассчитываемая по формуле:

$$\Delta\ell = \sqrt{\Delta\ell_{\text{приб}}{}^2 + \Delta\ell_{\text{опер}}{}^2}.$$

Возможен так же расчёт по формуле:

$$\Delta\ell = \Delta\ell_{\text{приб}} + \Delta\ell_{\text{опер}},$$

хотя он менее точен.

Приборная погрешность линейки принята равной половине цены её деления: $\Delta\ell_{\text{приб}}$ = 0,5 мм (возможно указание значения в 1 цену деления, в зависимости от качества линейки).

Операторская погрешность связана с определением положения равновесия по шкале миллиамперметра и явлением параллакса из-за большого диаметра (3…4 мм) скользящего контакта на фоне шкалы линейки: $\Delta\ell_{\text{опер}}$ = 1 мм.

Случайную погрешность измерения можно оценить, посчитав удвоенную дисперсию:

$$2\sigma_{\langle\ell\rangle} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1}{\text{n}} \cdot \sum_{\text{i}=1}^{\text{n}} (\ell_{\text{i}} - \langle\ell\rangle)^2}$$

Но ею можно пренебречь, если разброс результатов измерений небольшой и укладывается в 1 мм.

В результате неизвестное сопротивление равно:

$$R_x = 10 \cdot \frac{161{,}2}{98{,}8} = 16{,}3 \text{ Ом}; \qquad \Delta\ell = \sqrt{0{,}5^2 + 1^2} = 1{,}1 \text{ мм};$$

$$\Delta R_x = 16{,}3 \cdot \sqrt{0{,}05^2 + \left(\frac{1{,}1}{161{,}2}\right)^2 + \left(\frac{1{,}1}{98{,}8}\right)^2} = 0{,}8 \text{ Ом}.$$

Для вычисления длины проволоки ℓ_x воспользуемся формулой:

$$\ell_x = \frac{R_x S}{\rho} = \frac{R_x \pi d^2}{4\rho},$$

где $d -$ диаметр, а $\rho -$ удельное сопротивление проволоки, данное в условии.

Погрешность длины проволоки считается аналогично:

$$\Delta\ell_x = \ell_x \sqrt{\varepsilon_{R_x}^2 + \varepsilon_d^2}, \quad \text{где} \quad \varepsilon_{R_x} = \frac{\Delta R_x}{R_x} \quad \text{и} \quad \varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d}.$$

Длина проволоки равна:

$$\ell_x = \frac{16{,}3 \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}24 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-8}} = 43 \text{ м};$$

$$\Delta\ell_x = 43 \cdot \sqrt{\left(\frac{0{,}8}{16{,}3}\right)^2 + \left(\frac{0{,}02}{0{,}24}\right)^2} = 4 \text{ м}.$$

Ответ:

сопротивление проволоки $R_x = 16{,}3 \pm 0{,}8$ Ом, её длина $\ell_x = 43 \pm 4$ м.

(измерение сопротивления с помощью мультиметра: $R_{x\,\text{тест}} = 17{,}0 \pm 0{,}2$ Ом*).*

Критерии оценивания

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно:	
А – нарисовал мостовую схему	6
Б – собрал мостовую схему	8
В – собрал реохорд со скользящим контактом	6
Задание 1.2	
Участником Конкурса верно уравновешен мост	3
Участником Конкурса корректно записан закон Ома для участков мостовой схемы	3

Участником Конкурса получена верная расчётная формула для сопротивления проволоки катушки индуктивности	5
Участником Конкурса верно измерены необходимые длины участков реохорда	3
Участником Конкурса проведено более одного измерения и получено значение сопротивления проволоки катушки	4
Участником Конкурса верно записана формула для расчёта погрешности сопротивления проволоки катушки	4
Участником Конкурса верно записан результат сопротивления проволоки катушки с учётом погрешности	3
Задание 1.3	
Участником Конкурса верно записана формула для определения длины проволоки катушки	4
Участником Конкурса верно рассчитана длина проволоки катушки	4
Участником Конкурса верно записана формула для определения погрешности измерения длины проволоки катушки	4
Участником Конкурса верно записан результат измерения длины проволоки катушки индуктивности с учётом погрешности	3
Итого	**60**

За следующие пункты можно добавить по 2 балла при условии, что общая сумма баллов не превышает 60 баллов:

Указано, что положение нуля на миллиамперметре неустойчиво (нестабильно, скачет, сложно поймать или определить), и поэтому требуется выполнить серию измерений длин плеч реохорда.

В расчёте погрешности учитывается не только приборная погрешность измерительной линейки (половина цены деления или целое деление, если качество линейки недостаточно высокое), но и добавлена операторская погрешность определения положения равновесия моста.

Представленный вариант состоит из трех этапов: составление и сборка электрической схемы, проведения серии измерений, выполнения расчетов.

На первом этапе участник должен продемонстрировать базовые навыки корректного изображения электрических схем, работы с электрическими приборами, а также знание мостовых электрических схем.

Во втором этапе участник должен правильно применять необходимые формулы для проведения расчетов величин и погрешностей, а также правильно уравновешивать мостовую схему и проводить измерения.

Последующий этап строится на использовании результатов, полученных на предыдущем этапе и проведении необходимых расчетов.

Возможные ошибки при решении кейса №1

При решении кейсов практического этапа Конкурса обучающиеся могут допускать следующие характерные ошибки:

- невнимательно прочтено или неправильно понято условие кейса, найдены не те величины (даны ответы на вопросы, отличные от тех, что были сформулированы в задаче);
- неверно собрана схема экспериментальной установки или использовано не всё предлагаемое оборудование;
- проведено недостаточное количество измерений или измерения проведены некорректно, неаккуратно;
- присутствуют ошибки в используемых формулах для расчета неизвестных величин;
- выбран неверный подход для корректного расчета погрешностей;
- не записан конечный результат с учетом погрешностей.

Для успешного выполнения заданий кейса участнику необходимо внимательно изучить задание, обратив особое внимание на перечень оборудования и указанные ограничения. При расчете погрешностей нужно помнить, что метод их расчета зависит от того, каким способом получено экспериментальное значение величины. Важное значение имеет запись конечного результата с использованием корректных единиц физических величин и погрешностей.

Список литературы

1. Варламов С.Д., Зильберман А.Р., Зинковский В.И. Экспериментальные задачи на уроках физики и физических олимпиадах. М.: МЦНМО, 2008. 161 с.
2. Инженерно-технические парадоксальные задачи: Настольное приложение к Учебно-методическому пособию для наставников // Кванториум. Режим доступа: https://iro23.ru/sites/default/files/workbook-apr-2017_5_tipov_zadach-1.pdf (Дата обращения: 23.05.2025)
3. Кабардин О.Ф. Экспериментальные задания по физике, 9-11 классы: Учеб. пособие для учащихся общеобразоват. учреждений / О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов; Под ред. Ю.И. Дика. Москва: Вербум-М, 2001. 205 с.
4. Королев Н.А., Окороков В.А., Тимошенко С.Л. Обработка результатов измерений: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2017. 60 с.
5. Ляпцев А.В. Погрешности измерений при проведении школьного физического эксперимента Режим доступа: https://ppt-online.org/725906 (Дата обращения: 23.05.2025)
6. Барсуков К.А., Уханов Ю.И. Лабораторный практикум по физике. М., "Высшая школа", 1988.
7. Дик Ю.И. и др. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики: дидакт. материал : 9-11-е кл. М., "Просвещение", 1993.