



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ
МЕГАПОЛИС

ЗАДАЧНИК



Инженерный класс

В МОСКОВСКОЙ ШКОЛЕ

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
НАПРАВЛЕНИЕ И
КУРЧАТОВСКИЕ КЛАССЫ

ПРАКТИЧЕСКИЙ ЭТАП



МОСКВА
2025



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ
МЕГАПОЛИС

ЗАДАЧНИК РАЗРАБОТАН:

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

<i>Вариант 1</i>	5
<i>Вариант 2</i>	7
<i>Вариант 3</i>	10
<i>Вариант 4</i>	13
<i>Вариант 5</i>	16
<i>Вариант 6</i>	18
<i>Вариант 7</i>	20
<i>Вариант 8</i>	22
<i>Вариант 9</i>	24
<i>Вариант 10</i>	26
<i>Вариант 11</i>	28
<i>Вариант 12</i>	30
<i>Вариант 13</i>	32
<i>Вариант 14</i>	35
<i>Вариант 15</i>	37
<i>Вариант 16</i>	41
<i>Вариант 17</i>	44
<i>Вариант 18</i>	47
<i>Вариант 19</i>	50
<i>Вариант 20</i>	52
<i>Вариант 21</i>	55
<i>Вариант 22</i>	57
<i>Вариант 23</i>	60
<i>Вариант 24</i>	62
<i>Вариант 25</i>	64
<i>Вариант 26</i>	66
<i>Вариант 27</i>	71
<i>Вариант 28</i>	76
<i>Вариант 29</i>	82
<i>Вариант 30</i>	87
<i>Вариант 31</i>	92
<i>Вариант 32</i>	98
<i>Вариант 33</i>	103
<i>Вариант 34</i>	107

Вариант 35	111
Вариант 36	115
Вариант 37	119
Вариант 38	122

Вариант 1

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 1

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение плотностей двух жидкостей, воды и насыщенного солевого раствора, двумя способами. Оценка плотностей жидкостей по одному из методов должна быть произведена по серии измерений с использованием каждого кубического тела. Для приготовления насыщенного солевого раствора необходимо около 35 г соли на 100 мл воды. Предложите и опишите экспериментальную методику, позволяющую добиться наилучшей точности, выскажите предложения, позволяющие повысить точность эксперимента. Сравните полученные двумя способами результаты друг с другом, сформулируйте выводы.

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте значений плотностей. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Электронные весы для измерения массы грузов не используйте.

Таблица 1

Наименование	Количество
Цилиндр мерный (пластиковый)	2 шт.
Набор кубических тел	1 шт.
Динамометр 1,5 Н	1 шт.
Динамометр 3 Н	1 шт.
Нить	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Вода	0,5 л
Соль поваренная*	100 г

* – нет в комплекте, необходимо приобрести заранее

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 1

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (кубические тела обвязаны нитью, подготовлен солевой раствор)	5
Участник Конкурса предложил два алгоритма проведения эксперимента: измерение плотности жидкости с использованием электронных весов и мерного цилиндра; измерение плотности жидкости с использованием кубических тел и динамометра	10
Записаны формулы и законы: $\rho = \frac{m}{V}$; $\rho_{ж} = \frac{F_{тяж} - F_{упр}}{gV_{погр}}$ (II закон Ньютона)	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений (способ – II закон Ньютона): как минимум четыре измерения, по одному измерению с использованием каждого кубического тела, кроме деревянного, так как оно не погружается целиком в воду	
А – Проведены измерения только с одним кубическим телом, получено 1 значение для каждой жидкости	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено 4 и более значений для каждой жидкости	3
Проведено косвенное измерение (способ – измерение массы жидкости, объема жидкости, пересчет с помощью формулы $\rho = \frac{m}{V}$) – получено одно значение плотности для каждой жидкости	3
Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента: использование динамометра 1,5 Н и др.	
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 30%	8
Сформулированы выводы по работе (например, о справедливости II закона Ньютона, о схожести получаемых результатов оценки плотностей жидкостей 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 эксперимента с указанием силы тяжести, силы упругости и силы Архимеда	5
Итого	60

Развёрнутое решение:

- Обвяжите кубические тела нитью так, чтобы повесить их на динамометр.
- Измерьте с помощью динамометров силу тяжести, прилагаемую со стороны каждого кубического тела. Полученный результат запишите. Измерения получатся более точными с использованием динамометра 1,5 Н.
- В один мерный цилиндр налейте воду, 100 мл или более. Разведите в воде соль до получения насыщенного солевого раствора. Размешивание возможно обратной

- стороной карандаша. Дождитесь полного растворения соли. Добавляйте соль до тех пор, пока она не перестанет растворяться в воде. Перелейте полученный насыщенный солевой раствор в другой мерный цилиндр (переливание необходимо, чтобы остатки не растворившейся соли на дне не ухудшали результат вычисления плотности жидкости). До переливания измерьте при помощи электронных весов массу цилиндра. Цилиндр, в котором готовили раствор, помойте, налейте туда воду.
- Измерьте массу полученного солевого раствора и просто воды при помощи электронных весов.
 - Измерьте объём жидкостей при помощи градуированных делений на мерных цилиндрах.
 - Вычислите плотность жидкостей по полученным значениям масс и объёмов. Первый способ косвенного измерения плотности закончен.
 - Поочередно опускайте кубические тела в разные стаканы так, чтобы они не касались дна, фиксируйте значения силы упругости с динамометра. Деревянное кубическое тело не погружается целиком, обозначьте этот факт в решении, не используйте его для дальнейших расчётов. Должно получиться 8 значений, по 4 значения силы упругости на каждую жидкость.
 - Измерьте стороны кубических тел, вычислите их объём. Объёмы должны получиться одинаковыми и равными $0,000008 \text{ м}^3$.
 - Вычислите плотность каждой жидкости по формуле $\rho_{\text{ж}} = \frac{F_{\text{тяж}} - F_{\text{упр}}}{gV_{\text{погр}}}$. Должно получиться по 4 значения плотности на каждую жидкость. Вычислите среднее значение плотности для каждой жидкости
 - Оцените погрешность эксперимента. Для оценки случайной погрешности возможно использование формулы для расчёта СКО.
 - Сравните полученные двумя методами результаты плотностей жидкостей. Сделайте выводы.

Вариант 2

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 2

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение плотностей двух жидкостей, воды и насыщенного солевого раствора, двумя способами. Оценка плотностей жидкостей по одному из методов должна быть произведена по серии измерений с использованием каждого кубического тела. Для приготовления насыщенного солевого раствора необходимо около 35 г соли на 100 мл воды. Предложите и опишите экспериментальную методику, позволяющую добиться наилучшей точности, выскажите предложения, позволяющие повысить точность эксперимента. Сравните полученные двумя способами результаты друг с другом, сформулируйте выводы.

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте значений плотностей. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Электронные весы для измерения массы грузов не используйте.

Таблица 1

Наименование	Количество
Цилиндр мерный (пластиковый)	2 шт.
Набор кубических тел	1 шт.
Пружина спиральная <i>10 Н/м</i>	1 шт.
Пружина спиральная <i>25 Н/м</i>	1 шт.
Штатив с системой закрепления пружин	1 шт.
Нить	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Вода	0,5 л
Соль поваренная*	100 г

* – нет в комплекте, необходимо приобрести заранее

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 2

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (кубические тела обвязаны нитью, подготовлен солевой раствор, собран штатив, пружины закреплены на штативе)	5
Участник Конкурса предложил два алгоритма проведения эксперимента: измерение плотности жидкости с использованием электронных весов и мерного цилиндра; измерение плотности жидкости с использованием кубических тел и пружины/пружины	10
Записаны формулы и законы: $\rho = \frac{m}{V}$; $\rho_{ж} = \frac{F_{тяж} - F_{упр}}{gV_{погр}}$ (II закон Ньютона), $F_{упр} = kx$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений (способ – II закон Ньютона): как минимум четыре измерения, по одному измерению с использованием каждого кубического тела, кроме деревянного, так как оно не погружается целиком в воду	
А – Проведены измерения только с одним кубическим телом, получено 1 значение для каждой жидкости	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено 4 и более значений для каждой жидкости	3
Проведено косвенное измерение (способ – измерение массы жидкости, объема жидкости, пересчет с помощью формулы $\rho = \frac{m}{V}$) – получено одно значение плотности для каждой жидкости	3
Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента: использование пружины 10 Н/м, так как она чувствительнее к измерению сил, использование двух пружин с последующим вычислением среднего значения и др.	
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 II закона Ньютона, о схожести получаемых результатов оценки плотностей жидкостей 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 эксперимента с указанием силы тяжести, силы упругости и силы Архимеда	5
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Обвяжите кубические тела нитью так, чтобы подвесить их на пружины.

2. Измерьте с помощью пружин, зная их коэффициент жёсткости и с измерением удлинения пружины, силу тяжести, прилагаемую со стороны каждого кубического тела. Полученный результат запишите. Измерения получатся более точными с использованием пружины спиральной 10 Н/м.
3. В один мерный цилиндр налейте воду, 100 мл или более. Разведите в воде соль до получения насыщенного солевого раствора. Размешивание возможно обратной стороной карандаша. Дождитесь полного растворения соли. Добавляйте соль до тех пор, пока она не перестанет растворяться в воде. Перелейте полученный насыщенный солевой раствор в другой мерный цилиндр (переливание необходимо, чтобы остатки не растворившейся соли на дне не ухудшали результат вычисления плотности жидкости). До переливания измерьте при помощи электронных весов массу цилиндра. Цилиндр, в котором готовили раствор, помойте, налейте туда воду.
4. Измерьте массу полученного солевого раствора и просто воды при помощи электронных весов.
5. Измерьте объём жидкостей при помощи градуированных делений на мерных цилиндрах.
6. Вычислите плотность жидкостей по полученным значениям масс и объёмов. Первый способ косвенного измерения плотности закончен.
7. Поочередно опускайте кубические тела в разные стаканы так, чтобы они не касались дна, фиксируйте значения удлинения пружины для последующего пересчета в силу упругости. Деревянное кубическое тело не погружается целиком, обозначьте этот факт в решении, не используйте его для дальнейших расчётов. Должно получиться 8 значений, по 4 значения силы упругости на каждую жидкость.
8. Измерьте стороны кубических тел, вычислите их объём. Объёмы должны получиться одинаковыми и равными 0,000008 м³.
9. Вычислите плотность каждой жидкости по формуле $\rho_{ж} = \frac{F_{тяж} - F_{упр}}{gV_{погр}}$. Должно получиться по 4 значения плотности на каждую жидкость. Вычислите среднее значение плотности для каждой жидкости
10. Оцените погрешность эксперимента. Для оценки случайной погрешности возможно использование формулы для расчёта СКО.
11. Сравните полученные двумя методами результаты плотностей жидкостей. Сделайте выводы.

Вариант 3

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 3

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение коэффициентов жесткости двух пружин. Оценка коэффициентов жесткости должна быть произведена по серии измерений с использованием каждого кубического тела, а также при наличии и отсутствии выталкивающей силы, действующей на тело. Предложите и опишите экспериментальную методику, позволяющую добиться наилучшей точности, выскажите

предложения, позволяющие повысить точность эксперимента. Сравните полученные результаты с эталонными, указанными в таблице 1, сформулируйте выводы.

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте значений плотностей. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1

Наименование	Количество
Цилиндр мерный (пластиковый)	1 шт.
Набор кубических тел	1 шт.
Пружина спиральная 10 Н/м	1 шт.
Пружина спиральная 25 Н/м	1 шт.
Штатив с системой закрепления пружин	1 шт.
Нить	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Вода*	0,5 л

* – $\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 3

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (кубические тела обвязаны нитью, собран штатив, пружины закреплены на штативе)	5
Участник Конкурса предложил два алгоритма проведения эксперимента: измерение коэффициента жесткости пружины посредством подвешивания грузов разной массы и измерения удлинения; измерение коэффициента жесткости пружины посредством измерения удлинения пружины при действии на тело известной выталкивающей силы (тело полностью погружено в воду)	10
Записаны формулы и законы: $k = \frac{mg}{\Delta x}$; $k = \frac{mg - \rho_{ж}gV_{погр}}{\Delta x}$ (II закон Ньютона)	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений (способ – измерение удлинения пружины при отсутствии действующей выталкивающей силы): как минимум пять измерений, по одному измерению с использованием каждого кубического тела	
А – Проведены измерения только с одним кубическим телом, получено 1 значение для каждой пружины, итого – 2 значения (до обработки результатов)	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено 5 значений для каждой пружины, итого – 10 значений (до обработки результатов)	3
Проведена серия измерений (способ – измерение удлинения пружины при наличии действующей на кубические тела выталкивающей силы): как минимум четыре измерения, по одному измерению с использованием каждого кубического тела, кроме деревянного, так как оно не целиком погружается в воду	
А – Проведены измерения только с одним кубическим телом, получено 1 значение для каждой пружины, итого – 2 значения (до обработки результатов)	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено 4 значения для каждой пружины, итого – 8 значений (до обработки результатов)	3
Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента: проведение серии экспериментов с разными кубическими телами	
А – Высказано одно предложение, повышающее точность эксперимента	1
Б – Высказано более двух предложений для повышения точности	3
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся от эталонного не более чем на 15%	8
Сформулированы выводы по работе (например, о справедливости II закона Ньютона, о схожести получаемых результатов оценки коэффициентов жесткости 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 эксперимента с указанием силы тяжести и силы упругости; силы тяжести, силы упругости и силы Архимеда	5
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Измерьте массу каждого кубического тела.
2. Обвяжите кубические тела нитью так, чтобы подвесить их на пружины.
3. Соберите штатив с системой закрепления пружин.
4. Поочередно подвешивайте кубические тела на каждую пружину, измеряйте удлинение пружин. Должно получиться 10 значений удлинений. По 5 значений на каждую пружину. Посчитайте с помощью полученных значений коэффициенты жёсткости по формуле $k = \frac{mg}{\Delta x}$. По 5 на каждую пружину. Посчитайте среднее и оцените погрешность. Для оценки случайной погрешности возможно использование формулы для расчёта СКО.
5. В мерный цилиндр налейте воду, 100 мл или более. Погружая поочередно кубические тела, подвешенные на пружину, в мерный цилиндр с водой (пружина неподвижна, поднимается мерный цилиндр), измеряйте новые значения удлинений пружин. Следите за тем, чтобы кубические тела были погружены полностью. Деревянное кубическое тело в воде не тонет, что затрудняет использование его в эксперименте. Обозначьте этот факт в решении, не используйте его в последующих расчётах. Должно получиться по 4 значения удлинений на каждую пружину.
6. Пересчитайте удлинения в коэффициенты жёсткости по формуле $k = \frac{mg - \rho_{\text{ж}} g V_{\text{погр}}}{\Delta x}$. На каждую пружины получится 4 значения. Посчитайте среднее и оцените погрешность. Для оценки случайной погрешности возможно использование формулы для расчёта СКО.
7. Сравните полученные двумя методами результаты коэффициентов жёсткости пружин. Сделайте выводы.

Вариант 4

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 4

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение удельной теплоемкости металлического бруска.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Проведите серию измерений. Рассчитайте погрешности. Постройте график зависимости удельной теплоемкости от температуры. Проанализируйте, за счет чего можно было бы повысить точность эксперимента? Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1

Наименование	Количество
Железный брусок с крюком (Теплота-1)	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.

Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Штангенциркуль	1 шт.
Высокий стеклянный стакан 250 мл (Теплота-2)	1 шт.

Справочные величины:

$$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоёмкость воды,}$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность воды,}$$

$$\rho_{\text{б}} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность железного бруска с крюком,}$$

$$c_{\text{б}} = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоёмкость железного бруска с крюком (данную справочную величину необходимо использовать только для расчета погрешности).}$$

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 4

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник Конкурса изобразил схему, позволяющую выполнить эксперимент	4
2) Записано уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	8
3) Записана формула для расчета количества теплоты $Q = cm\Delta t$	8
Задание 1.2	
1) Участник Конкурса корректно определил удельную теплоемкость 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
2) Проведена серия измерений	
А – Серия содержит 2-3 измерения	8
Б – Серия содержит 4 и более измерений	10
Задание 1.3	
1) Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	7
2) На миллиметровой бумаге построен оформленный в соответствии с требованиями и хорошо читаемый график зависимости удельной теплоемкости c от температуры t вида прямой, параллельной оси абсцисс	8
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Необходимо наполнить высокий стеклянный стакан водой комнатной температуры и измерить температуру воды в высоком стеклянном стакане датчиком температуры.
2. Далее необходимо налить воду в калориметр и погрузить в калориметр с водой железный брусок с крюком, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 70-90 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры в калориметр.
3. После достижения необходимой температуры необходимо аккуратно извлечь брусок из калориметра и поместить в высокий стеклянный стакан с водой.
4. Необходимо измерить температуру воды в высоком стеклянном стакане в момент достижения теплового равновесия.
5. По полученным значениям рассчитать удельную теплоёмкость металлического бруска, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.

Для повышения точности эксперимента провести серию из 4-6 измерений.

Вариант 5

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 5

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение начальной температуры куска льда. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Рассчитайте погрешности. Изобразите схему проведения эксперимента. Проанализируйте, за счет чего можно было бы повысить точность эксперимента? Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Железный брусок с крюком	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Высокий стеклянный стакан 250 мл (Теплота-2)	1 шт.
Кусок льда*	1 шт.
Тара для измерения массы куска льда*	1 шт.
Щипцы для перемещения куска льда*	1 шт.
Автономный термометр*	1 шт.

* – нет в комплекте, необходимо приобрести или подготовить заранее

Необходимо наличие морозильной камеры в помещении (или рядом).

Справочные величины:

$$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость воды,}$$

$$c_{\text{л}} = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость льда,}$$

$$c_{\text{ж}} = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость железа,}$$

$$\lambda_{\text{л}} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} - \text{удельная теплота плавления льда.}$$

Критерии оценивания варианта №5 кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	10
2) Участник записал формулы для расчета количества теплоты при нагревании льда, плавлении льда, нагревании и охлаждении воды и металлического бруска $Q = cm\Delta t$, $Q = \lambda m$	10
Задание 1.2	
1) Участник корректно измерил массу куска льда и железного бруска с крюком	5
2) Участник изменил температуру воды при помощи калориметра	5
3) Участник измерил итоговую температура воды после достижения теплового равновесия	5
4) Участник Конкурса корректно определил начальную температуру куска льда, по крайней мере, получил значение, отличающееся от температуры морозильной камеры, не более, чем на 30%	10
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо наполнить высокий стеклянный стакан водой комнатной температуры и измерить массу воды при помощи электронных весов. Также необходимо измерить массы куска льда, железного бруска с крюком при помощи электронных весов.
2. Далее необходимо налить воду в калориметр и погрузить в калориметр с водой железный брусок с крюком, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 30-40 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры в калориметр.
3. После достижения требуемой температуры необходимо отключить калориметр от лабораторного источника питания и аккуратно погрузить кусок льда в калориметр.
4. По достижении теплового равновесия необходимо измерить температуру воды в калориметре при помощи датчика температуры.
5. По полученным значениям рассчитать начальную температуру куска льда, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.

Вариант 6

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 6

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение начальной температуры куска льда. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Рассчитайте погрешности. Изобразите схему проведения эксперимента. Проанализируйте, за счет чего можно было бы повысить точность эксперимента? Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Алюминиевый брусок с крюком	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Высокий стеклянный стакан 250 мл (Теплота-2)	1 шт.
Кусок льда*	1 шт.
Тара для измерения массы куска льда*	1 шт.
Щипцы для перемещения куска льда*	1 шт.
Автономный термометр*	1 шт.

* – нет в комплекте, необходимо приобрести или подготовить заранее

Необходимо наличие морозильной камеры в помещении (или рядом).

Справочные величины:

$$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость воды,}$$

$$c_{\text{л}} = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость льда,}$$

$$c_{\text{ал}} = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость алюминия,}$$

$$\lambda_{\text{л}} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} - \text{удельная теплота плавления льда.}$$

Критерии оценивания варианта №6 кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	10
2) Участник записал формулы для расчета количества теплоты при нагревании льда, плавлении льда, нагревании и охлаждении воды и металлического бруска $Q = cm\Delta t$, $Q = \lambda m$	10
Задание 1.2	
1) Участник корректно измерил массу куска льда и алюминиевого бруска с крюком	5
2) Участник изменил температуру воды при помощи калориметра	5
3) Участник измерил итоговую температура воды после достижения теплового равновесия	5
4) Участник Конкурса корректно определил начальную температуру куска льда, по крайней мере, получил значение, отличающееся от температуры морозильной камеры, не более, чем на 30%	10
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо наполнить высокий стеклянный стакан водой комнатной температуры и измерить массу воды при помощи электронных весов. Также необходимо измерить массы куска льда, алюминиевого бруска с крюком при помощи электронных весов.
2. Далее необходимо налить воду в калориметр и погрузить в калориметр с водой алюминиевый брусок с крюком, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 30-40 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры в калориметр.
3. После достижения требуемой температуры необходимо отключить калориметр от лабораторного источника питания и аккуратно погрузить кусок льда в калориметр.
4. По достижении теплового равновесия необходимо измерить температуру воды в калориметре при помощи датчика температуры.
5. По полученным значениям рассчитать начальную температуру куска льда, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.

Вариант 7

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 7

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение массы куска льда. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Рассчитайте погрешности. Изобразите схему проведения эксперимента. Проанализируйте, за счет чего можно было бы повысить точность эксперимента? Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Железный брусок с крюком	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Кагушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Стеклянная колба Эрленмейера 100 мл (Теплота-1)	1 шт.
Штангенциркуль	1 шт.
Кусок льда*	1 шт.
Щипцы для перемещения куска льда*	1 шт.
Автономный термометр*	1 шт.

* – нет в комплекте, необходимо приобрести или подготовить заранее

Необходимо наличие морозильной камеры в помещении (или рядом).

Справочные величины:

$$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость воды,}$$

$$c_{\text{л}} = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость льда,}$$

$$c_{\text{ж}} = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость железа,}$$

$$\lambda_{\text{л}} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} - \text{удельная теплота плавления льда,}$$

$$\rho_{\text{ж}} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, - \text{плотность железа,}$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность воды.}$$

Критерии оценивания Кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	4
2) Участник записал формулу для расчета количества теплоты при нагревании льда, плавлении льда, нагревании и охлаждении воды и металлического бруска $Q = cm\Delta t, Q = \lambda m$	10
3) Участник записал формулу для расчета массы воды	3
4) Участник записал формулу для расчета массы железного бруска	3
Задание 1.2	
1) Участник Конкурса корректно определил массу железного бруска	5
2) Участник принял начальную температуру льда равной температуре морозильной камеры	5
3) Участник изменил температуру воды при помощи калориметра	5
4) Итоговая температура воды была замерена после достижения теплового равновесия	5
5) Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента	5
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценил погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо наполнить стеклянную колбу Эрленмейера водой комнатной температуры и рассчитать ее массу. Также необходимо рассчитать массу железного бруска, предварительно вычислив его объем с использованием штангенциркуля.
2. Далее необходимо налить воду в калориметр и погрузить в калориметр с водой железный брусок с крюком, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 30-40 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры в калориметр.
3. Необходимо оставить кусок льда при комнатной температуре для достижения им температуры плавления.
4. После достижения требуемой температуры воды необходимо отключить калориметр от лабораторного источника питания и аккуратно погрузить кусок льда в калориметр.
5. По достижении теплового равновесия необходимо измерить температуру воды в калориметре при помощи датчика температуры.

6. По полученным значениям рассчитать массу куска льда, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.

Вариант 8

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 8

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение массы куска льда. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Рассчитайте погрешности. Изобразите схему проведения эксперимента. Проанализируйте, за счет чего можно было бы повысить точность эксперимента? Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Алюминиевый брусок с крюком	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Стеклянная колба Эрленмейера 100 мл (Теплота-1)	1 шт.
Штангенциркуль	1 шт.
Кусок льда*	1 шт.
Щипцы для перемещения куска льда*	1 шт.
Автономный термометр*	1 шт.

* – нет в комплекте, необходимо приобрести или подготовить заранее

Справочные величины:

$$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость воды,}$$

$$c_{\text{л}} = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость льда,}$$

$$c_{\text{ал}} = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость алюминия,}$$

$$\lambda_{\text{л}} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} - \text{удельная теплота плавления льда,}$$

$$\rho_{\text{ал}} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, - \text{плотность алюминия,}$$

$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность воды.

Критерии оценивания Кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	4
2) Участник записал формулу для расчета количества теплоты при нагревании льда, плавлении льда, нагревании и охлаждении воды и металлического бруска $Q = cm\Delta t, Q = \lambda m$	10
3) Участник записал формулу для расчета массы воды	3
4) Участник записал формулу для расчета массы алюминиевого бруска	3
Задание 1.2	
1) Участник Конкурса корректно определил массу алюминиевого бруска	5
2) Участник принял начальную температуру льда равной температуре морозильной камеры	5
3) Участник изменил температуру воды при помощи калориметра	5
4) Итоговая температура воды была замерена после достижения теплового равновесия	5
5) Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента	5
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценил погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо наполнить стеклянную колбу Эрленмейера водой комнатной температуры и рассчитать ее массу. Также необходимо рассчитать массу алюминиевого бруска, предварительно вычислив его объем с использованием штангенциркуля.
2. Далее необходимо налить воду в калориметр и погрузить в калориметр с водой алюминиевый брусок с крючком, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 30-40 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры в калориметр.
3. Необходимо оставить кусок льда при комнатной температуре для достижения им температуры плавления.
4. После достижения требуемой температуры воды необходимо отключить калориметр от лабораторного источника питания и аккуратно погрузить кусок льда в калориметр.

5. По достижении теплового равновесия необходимо измерить температуру воды в калориметре при помощи датчика температуры.
6. По полученным значениям рассчитать массу куска льда, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.

Вариант 9

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 9

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение массы железного бруска с крюком. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Рассчитайте погрешности. Изобразите схему проведения эксперимента. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Железный брусок с крюком	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Стеклянная колба Эрленмейера 100 мл (Теплота-1)	1 шт.
Калориметр	1 шт.

Справочные величины:

$$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}} - \text{удельная теплоемкость воды,}$$

$$c_{\text{ж}} = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}} - \text{удельная теплоемкость железа,}$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность воды.}$$

Критерии оценивания варианта №9 кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	8
2) Участник записал формулы для вычисления количества теплоты при нагревании воды и остывании железного бруска $Q = cm\Delta t$	8
3) Участник записал формулу для расчета массы воды $m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}}V$	4
Задание 1.2	
1) Участник изменил температуру воды при помощи калориметра	5
2) Итоговая температура воды была замерена после достижения теплового равновесия	5
3) Участник Конкурса корректно определил массу железного бруска	15
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценил погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо отмерить стеклянной колбой Эрленмейера 200-250 мл воды комнатной температуры, рассчитать ее массу и перелить в первый калориметр.
2. Далее необходимо налить воду во второй калориметр и погрузить во второй калориметр с водой железный брусок с крюком, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент второго калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 60-70 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры во второй калориметр.
3. После достижения требуемой температуры воды необходимо отключить второй калориметр от лабораторного источника питания, аккуратно достать из второго калориметра и поместить в первый калориметр железный брусок с крюком.
4. По достижении теплового равновесия необходимо измерить температуру воды в первом калориметре при помощи датчика температуры.
5. По полученным значениям рассчитать массу железного бруска с крюком, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.

Вариант 10

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 10

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение массы алюминиевого бруска с крюком. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Рассчитайте погрешности. Изобразите схему проведения эксперимента. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Алюминиевый брусок с крюком	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Стеклоанная колба Эрленмейера 100 мл (Теплота-1)	1 шт.
Калориметр	1 шт.

Справочные величины:

$$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость воды,}$$

$$c_{\text{ал}} = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость алюминия,}$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность воды.}$$

Критерии оценивания варианта №10 кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	8
2) Участник записал формулы для вычисления количества теплоты при нагревании воды и остывании алюминиевого бруска $Q = cm\Delta t$	8
3) Участник записал формулу для расчета массы воды $m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}}V$	4
Задание 1.2	
1) Участник изменил температуру воды при помощи калориметра	5
2) Итоговая температура воды была замерена после достижения теплового равновесия	5
3) Участник Конкурса корректно определил массу алюминиевого бруска	15
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценил погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо отмерить стеклянной колбой Эрленмейера 200-250 мл воды комнатной температуры, рассчитать ее массу и перелить в первый калориметр.
2. Далее необходимо налить воду во второй калориметр и погрузить во второй калориметр с водой алюминиевый брусок с крюком, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент второго калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 60-70 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры во второй калориметр.
3. После достижения требуемой температуры воды необходимо отключить второй калориметр от лабораторного источника питания, аккуратно достать из второго калориметра и поместить в первый калориметр алюминиевый брусок с крюком.
4. По достижении теплового равновесия необходимо измерить температуру воды в первом калориметре при помощи датчика температуры.
5. По полученным значениям рассчитать массу алюминиевого бруска с крюком, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.

Вариант 11

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 11

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение объема воды. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Рассчитайте погрешности. Изобразите схему проведения эксперимента. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Железный брусок с крюком	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Стеклоанальная колба Эрленмейера 100 мл (Теплота-1)	1 шт.
Калориметр	1 шт.
Штангенциркуль	1 шт.

Справочные величины:

$$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость воды,}$$

$$c_{\text{ж}} = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость железа,}$$

$$\rho_{\text{ж}} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность железа,}$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность воды.}$$

Критерии оценивания варианта №11 кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	6
2) Участник записал формулы для вычисления количества теплоты при нагревании воды и остывании железного бруска $Q = cm\Delta t$	6
3) Участник записал формулу для нахождения массы железного бруска $m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}}V = \rho_{\text{ж}}abh$	4
4) Участник записал формулу для расчета массы воды $m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}}V$	4
Задание 1.2	
1) Участник корректно рассчитал объем железного бруска при помощи штангенциркуля	5
2) Участник начал эксперимент при температуре воды 60-70 °С	5
3) Участник замерил итоговую температура воды после достижения теплового равновесия	5
4) Участник корректно рассчитал объем воды	10
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо налить воду комнатной температуры в первый калориметр. Также необходимо рассчитать массу железного бруска, предварительно вычислив его объем с использованием штангенциркуля.
2. Далее необходимо налить воду во второй калориметр и погрузить во второй калориметр с водой железный брусок с крюком, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент второго калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 60-70 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры во второй калориметр.
3. После достижения требуемой температуры воды необходимо отключить второй калориметр от лабораторного источника питания, аккуратно достать из калориметра и поместить в первый калориметр с водой железный брусок с крюком.
4. По достижении теплового равновесия необходимо измерить температуру воды в первом калориметре при помощи датчика температуры.
5. По полученным значениям рассчитать объем воды в первом калориметре, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.

Вариант 12

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 12

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение объема воды. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Рассчитайте погрешности. Изобразите схему проведения эксперимента. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Алюминиевый брусок с крюком	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Стеклоанальная колба Эрленмейера 100 мл (Теплота-1)	1 шт.
Калориметр	1 шт.
Штангенциркуль	1 шт.

Справочные величины:

$$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость воды,}$$

$$c_{\text{ал}} = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С}} - \text{удельная теплоемкость алюминия,}$$

$$\rho_{\text{ал}} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, - \text{плотность алюминия,}$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность воды.}$$

Критерии оценивания варианта №12 кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	6
2) Участник записал формулы для вычисления количества теплоты при нагревании воды и остывании алюминиевого бруска $Q = cm\Delta t$	6
3) Участник записал формулу для нахождения массы алюминиевого бруска $m_{\text{ал}} = \rho_{\text{ал}}V = \rho_{\text{ал}}abh$	4
4) Участник записал формулу для расчета массы воды $m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}}V$	4
Задание 1.2	
1) Участник корректно рассчитал объем алюминиевого бруска при помощи штангенциркуля	5
2) Участник начал эксперимент при температуре воды 60-70 °С	5
3) Участник замерил итоговую температура воды после достижения теплового равновесия	5
4) Участник корректно рассчитал объем воды	10
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо налить воду комнатной температуры в первый калориметр. Также необходимо рассчитать массу алюминиевого бруска, предварительно вычислив его объем с использованием штангенциркуля.
2. Далее необходимо налить воду во второй калориметр и погрузить во второй калориметр с водой алюминиевый брусок с крюком, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент второго калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 60-70 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры во второй калориметр.
3. После достижения требуемой температуры воды необходимо отключить второй калориметр от лабораторного источника питания, аккуратно достать из калориметра и поместить в первый калориметр с водой алюминиевый брусок с крюком.
4. По достижении теплового равновесия необходимо измерить температуру воды в первом калориметре при помощи датчика температуры.
5. По полученным значениям рассчитать объем воды в первом калориметре, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.

Вариант 13

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 13

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенные измерения плотности ρ и удельной теплоемкости c металлического кубика и предположить, из чего изготовлен металлический кубик. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Проведите серию измерений. Изобразите схему проведения эксперимента. Рассчитайте погрешности. Проанализируйте, за счет чего можно было бы повысить точность эксперимента? Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Набор кубических тел (темно-оранжевый куб)	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Штангенциркуль	1 шт.

Справочные величины представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Справочные величины

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Удельная теплоемкость c , Дж/кг * °С
Вода	1000	4200
Алюминий	2700	920
Бронза	8600	390
Железо	7870	460
Золото	19320	130
Латунь	8500	380
Медь	8940	380

Никель	9900	440
Олово	7290	250
Платина	21500	130
Свинец	11340	120
Серебро	10500	250
Титан	4500	540
Цинк	7140	400
Чугун	7000	550

Критерии оценивания варианта №13 кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал выражение для определения плотности металлического кубика $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3}$	6
2) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	8
3) Участник записал формулы для вычисления количества теплоты при нагревании воды и остывании кубика $Q = cm\Delta t$	6
Задание 1.2	
1) Участник корректно определил объем металлического кубика при помощи штангенциркуля	4
2) Участник корректно оценил массу металлического кубика при помощи электронных весов	4
3) Участник корректно определил температуру, при которой наступает тепловое равновесие	5
4) Проведена серия измерений	
А – Серия содержит 2 измерения	3
Б – Серия содержит 3 и более измерений	5
5) Участник корректно определил материал, из которого изготовлен металлический кубик	5
6) Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента	2
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо наполнить калориметр водой комнатной температуры и закрыть его крышкой, погрузить в калориметр один из трех металлических теплопроводящих стержней и установить в торцевое углубление стержня датчик температуры.
2. Далее необходимо подключить нагревательный элемент калориметра к лабораторному источнику питания и либо засечь время, которое потребуется для нагревания стержня на определенную температуру, например, на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, либо оценить изменение температуры стержня за определенное количество времени, например, за 10 минут.
3. Повторить пункты 1-2 развёрнутого решения для каждого из двух оставшихся металлических теплопроводящих стержней.
4. По полученным значениям сравнить теплоемкости трех металлических теплопроводящих стержней.

Вариант 14

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 14

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенные измерения плотности ρ и удельной теплоемкости c металлического кубика и предположить, из чего изготовлен металлический кубик. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Проведите серию измерений. Изобразите схему проведения эксперимента. Рассчитайте погрешности. Проанализируйте, за счет чего можно было бы повысить точность эксперимента? Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Набор кубических тел (приглушенно-жёлтый куб)	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Штангенциркуль	1 шт.

Справочные величины представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Справочные величины

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Удельная теплоемкость c , Дж/кг * °С
Вода	1000	4200
Алюминий	2700	920
Бронза	8600	390
Железо	7870	460
Золото	19320	130
Латунь	8500	380
Медь	8940	380

Никель	9900	440
Олово	7290	250
Платина	21500	130
Свинец	11340	120
Серебро	10500	250
Титан	4500	540
Цинк	7140	400
Чугун	7000	550

Критерии оценивания варианта №14 кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал выражение для определения плотности металлического кубика $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3}$	6
2) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	8
3) Участник записал формулы для вычисления количества теплоты при нагревании воды и остывании кубика $Q = cm\Delta t$	6
Задание 1.2	
1) Участник корректно определил объем металлического кубика при помощи штангенциркуля	4
2) Участник корректно оценил массу металлического кубика при помощи электронных весов	4
3) Участник корректно определил температуру, при которой наступает тепловое равновесие	5
4) Проведена серия измерений	
А – Серия содержит 2 измерения	3
Б – Серия содержит 3 и более измерений	5
5) Участник корректно определил материал, из которого изготовлен металлический кубик	5
6) Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента	2
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо наполнить высокий стеклянный стакан водой комнатной температуры и измерить температуру воды в высоком стеклянном стакане датчиком температуры. Также необходимо определить массу воды в стеклянном стакане либо при помощи электронных весов, либо по формуле $m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{в}}$.
2. Затем необходимо произвести измерение массы металлического кубика при помощи электронных весов, а также рассчитать объем кубика, измерив его пространственные размеры при помощи штангенциркуля. По полученным значениям необходимо оценить плотность металлического кубика по формуле $\rho = \frac{m}{V}$
3. Далее необходимо налить воду в калориметр и погрузить в калориметр с водой металлический кубик, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 70-90 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры в калориметр.
4. После достижения требуемой температуры необходимо аккуратно извлечь металлический кубик из калориметра и поместить его в высокий стеклянный стакан с водой.
5. Необходимо измерить температуру воды в высоком стеклянном стакане в момент достижения теплового равновесия.
6. По полученным значениям рассчитать удельную теплоемкость c металлического кубика, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.
7. По полученным значениям плотности ρ и удельной теплоемкости c металлического кубика предположить, из какого материала выполнен металлический кубик.
Для повышения точности эксперимента провести серию из 2-3 измерений.

Вариант 15

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 15

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенные измерения плотности ρ и удельной теплоемкости c металлического кубика и предположить, из чего изготовлен металлический кубик. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Проведите серию измерений. Изобразите схему проведения эксперимента. Рассчитайте погрешности. Проанализируйте, за счет чего можно было бы повысить точность эксперимента? Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Набор кубических тел (светло-серый куб)	1 шт.

Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Штангенциркуль	1 шт.

Справочные величины представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Справочные величины

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Удельная теплоемкость c , Дж/кг * °С
Вода	1000	4200
Алюминий	2700	920
Бронза	8600	390
Железо	7870	460
Золото	19320	130
Латунь	8500	380
Медь	8940	380
Никель	9900	440
Олово	7290	250
Платина	21500	130
Свинец	11340	120
Серебро	10500	250
Титан	4500	540
Цинк	7140	400
Чугун	7000	550

Критерии оценивания варианта №15 кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал выражение для определения плотности металлического кубика $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3}$	6
2) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	8
3) Участник записал формулы для вычисления количества теплоты при нагревании воды и остывании кубика $Q = cm\Delta t$	6
Задание 1.2	
1) Участник корректно определил объем металлического кубика при помощи штангенциркуля	4
2) Участник корректно оценил массу металлического кубика при помощи электронных весов	4
3) Участник корректно определил температуру, при которой наступает тепловое равновесие	5
4) Проведена серия измерений	
А – Серия содержит 2 измерения	3
Б – Серия содержит 3 и более измерений	5
5) Участник корректно определил материал, из которого изготовлен металлический кубик	5
6) Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента	2
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

- Необходимо наполнить высокий стеклянный стакан водой комнатной температуры и измерить температуру воды в высоком стеклянном стакане датчиком температуры. Также необходимо определить массу воды в стеклянном стакане либо при помощи электронных весов, либо по формуле $m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{в}}$.
- Затем необходимо произвести измерение массы металлического кубика при помощи электронных весов, а также рассчитать объем кубика, измерив его пространственные размеры при помощи штангенциркуля. По полученным значениям необходимо оценить плотность металлического кубика по формуле $\rho = \frac{m}{V}$
- Далее необходимо налить воду в калориметр и погрузить в калориметр с водой металлический кубик, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 70-90 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры в калориметр.

4. После достижения требуемой температуры необходимо аккуратно извлечь металлический кубик из калориметра и поместить его в высокий стеклянный стакан с водой.
5. Необходимо измерить температуру воды в высоком стеклянном стакане в момент достижения теплового равновесия.
6. По полученным значениям рассчитать удельную теплоемкость c металлического кубика, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.
7. По полученным значениям плотности ρ и удельной теплоемкости c металлического кубика предположить, из какого материала выполнен металлический кубик.

Для повышения точности эксперимента провести серию из 2-3 измерений.

Вариант 16

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 16

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенные измерения плотности ρ и удельной теплоемкости c металлического кубика и предположить, из чего изготовлен металлический кубик. Необходимо использовать все оборудование, представленное в таблице 1.

Запишите все необходимые формулы и сформулируйте законы. Проведите серию измерений. Изобразите схему проведения эксперимента. Рассчитайте погрешности. Проанализируйте, за счет чего можно было бы повысить точность эксперимента? Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1 – Оборудование для проведения эксперимента

Наименование	Количество
Набор кубических тел (темно-серый куб)	1 шт.
Провод соединительный черный	1 шт.
Провод соединительный красный	1 шт.
Источник питания	1 шт.
Калориметр (Теплота-2)	1 шт.
Катушка нити	1 шт.
Вода	1 л
Цифровая лаборатория по физике (термометр)	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Штангенциркуль	1 шт.

Справочные величины представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Справочные величины

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Удельная теплоемкость c , Дж/кг * °С
Вода	1000	4200
Алюминий	2700	920
Бронза	8600	390
Железо	7870	460
Золото	19320	130
Латунь	8500	380
Медь	8940	380

Никель	9900	440
Олово	7290	250
Платина	21500	130
Свинец	11340	120
Серебро	10500	250
Титан	4500	540
Цинк	7140	400
Чугун	7000	550

Критерии оценивания варианта №16 кейса №1.

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
1) Участник записал выражение для определения плотности металлического кубика $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3}$	6
2) Участник записал уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$	8
3) Участник записал формулы для вычисления количества теплоты при нагревании воды и остывании кубика $Q = cm\Delta t$	6
Задание 1.2	
1) Участник корректно определил объем металлического кубика при помощи штангенциркуля	4
2) Участник корректно оценил массу металлического кубика при помощи электронных весов	4
3) Участник корректно определил температуру, при которой наступает тепловое равновесие	5
4) Проведена серия измерений	
А – Серия содержит 2 измерения	3
Б – Серия содержит 3 и более измерений	5
5) Участник корректно определил материал, из которого изготовлен металлический кубик	5
6) Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента	2
Задание 1.3	
1) Участник корректно описал формулы, по которым производилась оценка погрешности, грамотно оценена погрешность эксперимента	10
2) Участник изобразил схему проведения эксперимента	5
Итого	60

Развернутое решение:

1. Необходимо наполнить высокий стеклянный стакан водой комнатной температуры и измерить температуру воды в высоком стеклянном стакане датчиком температуры. Также необходимо определить массу воды в стеклянном стакане либо при помощи электронных весов, либо по формуле $m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{в}}$.
2. Затем необходимо произвести измерение массы металлического кубика при помощи электронных весов, а также рассчитать объем кубика, измерив его пространственные размеры при помощи штангенциркуля. По полученным значениям необходимо оценить плотность металлического кубика по формуле $\rho = \frac{m}{V}$.
3. Далее необходимо налить воду в калориметр и погрузить в калориметр с водой металлический кубик, предварительно закрепив его на нити для удобства дальнейшего извлечения из горячей воды, подключить нагревательный элемент калориметра к лабораторному источнику питания и нагреть воду до температуры 70-90 °С. Для измерения температуры нагреваемой воды необходимо погрузить датчик температуры в калориметр.

4. После достижения требуемой температуры необходимо аккуратно извлечь металлический кубик из калориметра и поместить его в высокий стеклянный стакан с водой.
5. Необходимо измерить температуру воды в высоком стеклянном стакане в момент достижения теплового равновесия.
6. По полученным значениям рассчитать удельную теплоемкость c металлического кубика, используя уравнение теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$.
7. По полученным значениям плотности ρ и удельной теплоемкости c металлического кубика предположить, из какого материала выполнен металлический кубик.
Для повышения точности эксперимента провести серию из 2-3 измерений.

Вариант 17

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 17

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение коэффициентов жесткости систем из пружин при их последовательном и параллельном соединениях. Оценка коэффициентов жесткости должна быть произведена по серии из минимум пяти измерений. Предложите и опишите экспериментальную методику, позволяющую добиться наилучшей точности, выскажите предложения, позволяющие повысить точность эксперимента. Сравните полученные результаты с расчетными для систем из пружин.

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте значений коэффициентов. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил. Зарисуйте графики экспериментальной зависимости удлинения от массы нагрузки для каждой системы, коэффициента жесткости от массы нагрузки. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1

Наименование	Количество
Набор «Штатив универсальный»	2 шт.
Пружина спиральная 10 Н/м	1 шт.
Пружина спиральная 25 Н/м	1 шт.
Указатель положения (пара)	1 шт.
Груз 50 г	4 шт.
Груз 25 г	1 шт.
Шар с крючком 70 г	1 шт.
Нить	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Стержень штатива малый	1 шт.
Крючок для шкива	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 17

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (штатив и система последовательно соединенных пружин, штативы и система параллельно соединенных пружин)	5
Участник Конкурса предложил алгоритм проведения эксперимента: измерение коэффициентов жесткости системы пружин посредством нагрузки пружин и измерения их удлинения	10
Записаны формулы и законы: $mg = k\Delta x$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений для последовательного соединения пружин: как минимум пять измерений (нагрузка пятью различными грузами или их совокупностью)	
А – Проведены измерения только с одним грузом, получено одно значение коэффициента жесткости	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более значений коэффициентов жесткости	4
Проведена серия измерений для параллельного соединения пружин: как минимум пять измерений (нагрузка пятью различными грузами или их совокупностью)	
А – Проведены измерения только с одним грузом, получено одно значение коэффициента жесткости	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более значений коэффициентов жесткости	4
Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента: проведение серии измерений, взвешивание грузов перед их использованием для уточнения массы и др.	
А – Высказано одно предложение, повышающее точность эксперимента	1
Б – Высказано более двух предложений для повышения точности	2
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся от расчетных не более чем на 15%	10
Сформулированы выводы по работе (например, о справедливости II закона Ньютона, о схожести получаемых результатов оценки коэффициентов жесткости с расчетными и др.)	5
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента	6
Зарисован график зависимости удлинения от массы нагрузки для каждой системы	2
Зарисован график зависимости коэффициента жесткости от массы нагрузки для каждой системы	2
Зарисована схема эксперимента с указанием силы тяжести, силы упругости	5
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Соберите первый штатив, закрепите указатели положения, подвесьте две пружины последовательно друг за другом. Расположение пружин не имеет значения. На данном этапе возможно использование нити.
2. Зафиксируйте указатель положения, указывающий на край нижней пружины.
3. Нагружайте систему последовательно соединённых пружин, измеряйте удлинение при различных массах нагрузки. Для закрепления грузов на последней пружине возможно использование нити или крючка для шкива (при использовании шкива его массу также следует учитывать).
4. Вычислите коэффициент жёсткости системы последовательно соединённых пружин для каждого измерения массы и соответствующего удлинения.
5. Оцените среднее значение коэффициента жёсткости. Вычислите погрешность измерений.
6. Вычислите коэффициент жёсткости системы последовательно соединённых пружин с использованием формулы $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$. Сравните полученные экспериментальным и расчётным способом результаты.
7. Соберите второй штатив. Подвесьте на первый штатив одну из двух пружин, а на второй штатив – другую пружину так, чтобы линия, проведённая через нижние края пружин (точки, куда приходится нагрузка) была горизонтальной. Положите на обе пружины одновременно стержень штатива малый таким образом, чтобы он располагался также горизонтально (стержень окажется смещённым относительно центра между пружинами). Заранее измерьте массу данного стержня, чтобы учитывать данное удлинение пружин при данной нагрузке.
8. Как и с системой последовательно соединённых пружин, последовательно нагружайте систему параллельно соединённых пружин, измеряйте удлинения. Серия должна состоять минимум из пяти измерений массы и соответствующего удлинения.
9. Вычислите коэффициент жёсткости системы параллельно соединённых пружин для каждого измерения массы и соответствующего удлинения.
10. Оцените среднее значение коэффициента жёсткости. Вычислите погрешность измерений.
11. Вычислите коэффициент жёсткости системы параллельно соединённых пружин с использованием формулы $k = k_1 + k_2$. Сравните полученные экспериментальным и расчётным способом результаты.

Зарисуйте необходимые графики, схемы экспериментов. Сделайте выводы по работе

Вариант 18

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 18

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение ускорения свободного падения с использованием систем из пружин при их последовательном и параллельном соединениях. Оценка ускорения свободного падения должна быть произведена по серии из минимум пяти измерений для каждой системы. Предложите и опишите экспериментальную методику, позволяющую добиться наилучшей точности, выскажите предложения, позволяющие повысить точность эксперимента. Сравните полученные результаты с константой. Какая система позволяет добиться большей точности?

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте значений ускорений свободного падения. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил. Зарисуйте графики экспериментальной зависимости удлинения от массы нагрузки для каждой системы. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1

Наименование	Количество
Набор «Штатив универсальный»	2 шт.
Пружина спиральная 10 Н/м	1 шт.
Пружина спиральная 25 Н/м	1 шт.
Указатель положения (пара)	1 шт.
Груз 50 г	4 шт.
Груз 25 г	1 шт.
Шар с крючком 70 г	1 шт.
Нить	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Стержень штатива малый	1 шт.
Крючок для шкива	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 18

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (штатив и система последовательно соединенных пружин, штативы и система параллельно соединенных пружин)	5
Участник Конкурса предложил алгоритм проведения эксперимента: измерение ускорения свободного падения посредством нагрузки пружин и измерения их удлинения	10
Записаны формулы и законы: $mg = k\Delta x$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений для последовательного соединения пружин: как минимум пять измерений (нагрузка пятью различными грузами или их совокупностью)	
А – Проведены измерения только с одним грузом, получено одно значение ускорения свободного падения	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более значений ускорения свободного падения	4
Проведена серия измерений для параллельного соединения пружин: как минимум пять измерений (нагрузка пятью различными грузами или их совокупностью)	
А – Проведены измерения только с одним грузом, получено одно значение ускорения свободного падения	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более значений ускорения свободного падения	4
Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента: проведение серии измерений, взвешивание грузов перед их использованием для уточнения массы и др.	
А – Высказано одно предложение, повышающее точность эксперимента	1
Б – Высказано более двух предложений для повышения точности	4
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся от константы не более чем на 15%	8
Сформулированы выводы по работе (например, о справедливости II закона Ньютона, о схожести получаемых значений ускорения свободного падения с константой)	5
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента	6
Зарисован график зависимости удлинения от массы нагрузки для каждой системы	4
Зарисована схема эксперимента с указанием силы тяжести, силы упругости	5
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Соберите первый штатив, закрепите указатели положения, подвесьте две пружины последовательно друг за другом. Расположение пружин не имеет значения. На данном этапе возможно использование нити.
2. Зафиксируйте указатель положения, указывающий на край нижней пружины.
3. Последовательно нагружайте систему последовательно соединённых пружин, измеряйте удлинение при различных массах нагрузки. Для закрепления грузов на последней пружине возможно использование нити или крючка для шкива (при использовании шкива его массу также следует учитывать).
4. Вычислите ускорение свободного падения для каждого измерения массы и соответствующего удлинения. Коэффициент жёсткости системы последовательно соединённых пружин рассчитайте по формуле $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$.
5. Оцените среднее значение ускорения свободного падения. Вычислите погрешность измерений.
6. Сравните полученное экспериментальным способом значение с известной константой.
7. Соберите второй штатив. Подвесьте на первый штатив одну из двух пружин, а на второй штатив – другую пружину так, чтобы линия, проведённая через нижние края пружин (точки, куда приходится нагрузка) была горизонтальной. Положите на обе пружины одновременно стержень штатива малый таким образом, чтобы он располагался также горизонтально (стержень окажется смещённым относительно центра между пружинами). Заранее измерьте массу данного стержня, чтобы учитывать данное удлинение пружин при данной нагрузке.
8. Как и с системой последовательно соединённых пружин, последовательно нагружайте систему параллельно соединённых пружин, измеряйте удлинения. Серия должна состоять минимум из пяти измерений массы и соответствующего удлинения.
9. Вычислите ускорение свободного падения для каждого измерения массы и соответствующего удлинения. Коэффициент жёсткости системы параллельно соединённых пружин рассчитайте по формуле $k = k_1 + k_2$.
10. Оцените среднее значение ускорения свободного падения. Вычислите погрешность измерений.
11. Сравните полученное экспериментальным способом значение с известной константой.
12. Зарисуйте график зависимости удлинения от массы нагрузки для каждой системы, схемы экспериментов. Сделайте выводы по работе.

Вариант 19

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 19

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение коэффициента жесткости системы пружин, соединенных последовательно, двумя способами. Оценка коэффициента должна быть произведена по серии, содержащей, как минимум, пять измерений с использованием разных грузов. Предложите и опишите экспериментальную методику, позволяющую добиться наилучшей точности. Сравните полученные двумя способами результаты друг с другом и с расчетными, сформулируйте выводы.

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте коэффициентов жесткости. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1

Наименование	Количество
Набор «Штатив универсальный»	1 шт.
Пружина спиральная 10 Н/м	1 шт.
Пружина спиральная 25 Н/м	1 шт.
Указатель положения (пара)	1 шт.
Груз 50 г	4 шт.
Груз 25 г	1 шт.
Шар с крючком 70 г	1 шт.
Нить	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Цифровой секундомер	1 шт.
Крючок для шкива	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 19

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (штатив и система последовательно соединенных пружин; пружинный маятник)	5
Участник Конкурса предложил алгоритм проведения эксперимента: измерение коэффициента жесткости посредством нагрузки пружин и измерения их удлинения; измерение периода колебаний с использованием цифрового секундомера, нагрузка пружин осуществляется грузами разной массы	10
Записаны формулы и законы: $mg = k\Delta x$; $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений (способ – измерение удлинения системы пружин при их нагрузке): как минимум пять измерений (нагрузка пятью различными грузами или их совокупностью)	
А – Проведены измерения только с одним грузом, получено одно значение коэффициента жесткости	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более значений коэффициента жесткости	4
Проведена серия измерений (способ – пружинный маятник): как минимум пять измерений (нагрузка пятью различными грузами или их совокупностью), измерение пяти периодов колебаний	
А – Проведены измерения только с одним грузом, получено одно значение коэффициента жесткости	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более значений коэффициента жесткости	4
Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента: измерение времени нескольких колебаний с последующим делением на количество колебаний для уточнения периода колебания, взвешивание грузов перед их использованием для уточнения массы и др.	
А – Высказано одно предложение, повышающее точность эксперимента	1
Б – Высказано более двух предложений для повышения точности	4
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся от константы не более чем на 15% при расчете методом измерения удлинения системы пружин при их нагрузке. При использовании для измерения соображений о пружинном маятнике значения коэффициента жесткости отличаются от расчетного на 20-30%	8
Сформулированы выводы по работе (например, о невозможности точно измерить коэффициент жесткости с использованием соображений о пружинном маятнике, о схожести измеренного одним из способов значения коэффициента жесткости с расчетным)	5
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента	10
Зарисована схема эксперимента с указанием силы тяжести, силы упругости	5
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Соберите штатив, закрепите указатели положения, подвесьте две пружины последовательно друг за другом. Расположение пружин не имеет значения. На данном этапе возможно использование нити.
2. Зафиксируйте указатель положения, указывающий на край нижней пружины.
3. Последовательно нагружайте систему последовательно соединённых пружин, измеряйте удлинение при различных массах нагрузки. Для закрепления грузов на последней пружине возможно использование нити или крючка для шкива (при использовании шкива его массу также следует учитывать).
4. Вычислите коэффициент жёсткости системы последовательно соединённых пружин для каждого измерения массы и соответствующего удлинения.
5. Оцените среднее значение коэффициента жёсткости. Вычислите погрешность измерений.
6. Далее проведите измерения вторым способом: соберите пружинный маятник (установка выглядит таким же образом без использования указателя положения), измеряйте период колебаний пружинного маятника при различных массах груза. Проведите серию, содержащую не менее пяти измерений (использование пяти грузов различной массы). Для повышения точности замеряйте время нескольких колебаний с последующим делением на количество колебаний для получения периода одного колебания.
7. Вычислите коэффициент жёсткости системы последовательно соединённых пружин для каждого измерения массы и соответствующего периода колебаний.
8. Оцените среднее значение коэффициента жёсткости. Вычислите погрешность измерений.
9. Вычислите коэффициент жёсткости системы последовательно соединённых пружин с использованием формулы $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$. Сравните полученные экспериментальным и расчётным способом результаты.
10. Сделайте выводы по работе.

Вариант 20

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 20

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение коэффициента жесткости системы пружин, соединенных последовательно. Оценка коэффициента должна быть произведена по серии, содержащей, как минимум, пять измерений с использованием разных грузов. Экспериментально проверьте, влияет ли последовательность расположения пружин на получаемый результат. Предложите и опишите экспериментальную методику, позволяющую добиться наилучшей точности. Сравните полученные результаты с расчетными, сформулируйте выводы.

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте коэффициентов жесткости. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1

Наименование	Количество
Набор «Штатив универсальный»	1 шт.
Пружина спиральная 10 Н/м	1 шт.
Пружина спиральная 25 Н/м	1 шт.
Указатель положения (пара)	1 шт.
Груз 50 г	4 шт.
Груз 25 г	1 шт.
Шар с крючком 70 г	1 шт.
Нить	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Крючок для шкива	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 20

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (штатив и система последовательно соединенных пружин)	5
Участник Конкурса предложил алгоритм проведения эксперимента: измерение коэффициента жесткости посредством нагрузки пружин и измерения их удлинения	10
Записаны формулы и законы: $mg = k\Delta x$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений (пружина спиральная 10 Н/м сверху, пружина спиральная 25 Н/м снизу): как минимум пять измерений (нагрузка пятью различными грузами или их совокупностью)	
А – Проведены измерения только с одним грузом, получено одно значение коэффициента жесткости	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более значений коэффициента жесткости	4
Проведена серия измерений (пружина спиральная 10 Н/м снизу, пружина спиральная 25 Н/м сверху): как минимум пять измерений (нагрузка пятью различными грузами или их совокупностью)	
А – Проведены измерения только с одним грузом, получено одно значение коэффициента жесткости	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более значений коэффициента жесткости	4
Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента: взвешивание грузов перед их использованием для уточнения массы, нагрузка наименьшей массой для отсутствия влияния необратимых деформаций в пружине на результат и др.	
А – Высказано одно предложение, повышающее точность эксперимента	1

Б – Высказано более двух предложений для повышения точности	4
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся от расчетной не более чем на 15%. Результаты не зависят от последовательности расположения пружин	8
Сформулированы выводы по работе (например, о схожести измеренного значения коэффициента жесткости с расчетным)	5
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента	10
Зарисована схема эксперимента с указанием силы тяжести, силы упругости	5
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Соберите штатив, закрепите указатели положения, подвесьте две пружины последовательно друг за другом. На данном этапе возможно использование нити.
2. Зафиксируйте указатель положения, указывающий на край нижней пружины.
3. Последовательно нагружайте систему последовательно соединённых пружин, измеряйте удлинение при различных массах нагрузки. Для закрепления грузов на последней пружине возможно использование нити или крючка для шкива (при использовании шкива его массу также следует учитывать).
4. Вычислите коэффициент жёсткости системы последовательно соединённых пружин для каждого измерения массы и соответствующего удлинения.
5. Оцените среднее значение коэффициента жёсткости. Вычислите погрешность измерений.
6. Далее поменяйте пружины местами и повторите измерения.
7. Вычислите коэффициент жёсткости системы последовательно соединённых пружин с использованием формулы $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$. Сравните полученные экспериментальным и расчётным способом результаты.
8. Сделайте выводы по работе.

Вариант 21

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 21

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, произвести косвенное измерение коэффициента жесткости системы пружин, соединенных параллельно, двумя способами. Оценка коэффициента должна быть произведена по серии, содержащей, как минимум, пять измерений с использованием разных грузов. Предложите и опишите экспериментальную методику, позволяющую добиться наилучшей точности. Сравните полученные двумя способами результаты друг с другом и с расчетными, сформулируйте выводы.

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте коэффициентов жесткости. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1

Наименование	Количество
Набор «Штатив универсальный»	2 шт.
Пружина спиральная 10 Н/м	1 шт.
Пружина спиральная 25 Н/м	1 шт.
Указатель положения (пара)	1 шт.
Груз 50 г	4 шт.
Груз 25 г	1 шт.
Шар с крючком 70 г	1 шт.
Нить	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Цифровой секундомер	1 шт.
Крючок для шкива	1 шт.
Стержень штатива малый	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 21

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (штативы и система параллельно соединенных пружин; пружинный маятник)	5
Участник Конкурса предложил алгоритм проведения эксперимента: измерение коэффициента жесткости посредством нагрузки пружин и измерения их удлинения; измерение периода колебаний с использованием цифрового секундомера, нагрузка пружин осуществляется грузами разной массы	10
Записаны формулы и законы: $mg = k\Delta x$; $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений (способ – измерение удлинения системы пружин при их нагрузке): как минимум пять измерений (нагрузка пятью различными грузами или их совокупностью)	
А – Проведены измерения только с одним грузом, получено одно значение коэффициента жесткости	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более значений коэффициента жесткости	4
Проведена серия измерений (способ – пружинный маятник): как минимум пять измерений (нагрузка пятью различными грузами или их совокупностью), измерение пяти периодов колебаний	
А – Проведены измерения только с одним грузом, получено одно значение коэффициента жесткости	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более значений коэффициента жесткости	4
Участником Конкурса высказаны грамотные и физически обоснованные предложения, позволяющие повысить точность эксперимента: измерение времени нескольких колебаний с последующим делением на количество колебаний для уточнения периода колебания, взвешивание грузов перед их использованием для уточнения массы и др.	
А – Высказано одно предложение, повышающее точность эксперимента	1
Б – Высказано более двух предложений для повышения точности	4
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся от константы не более чем на 15% при расчете методом измерения удлинения системы пружин при их нагрузке. При использовании для измерения соображений о пружинном маятнике значения коэффициента жесткости могут отличаться от расчетного на 20-30%	8
Сформулированы выводы по работе (например, о невозможности точно измерить коэффициент жесткости с использованием соображений о пружинном маятнике, о схожести измеренного одним из способов значения коэффициента жесткости с расчетным)	5
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента	10
Зарисована схема эксперимента с указанием силы тяжести, силы упругости	5
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Соберите два штатива. Подвесьте на первый штатив одну из двух пружин, а на второй штатив – другую пружину так, чтобы линия, проведённая через нижние края пружин (точки, куда приходится нагрузка) была горизонтальной. Положите на обе пружины одновременно стержень штатива малый таким образом, чтобы он располагался так же горизонтально (стержень окажется смещённым относительно центра между пружинами). Заранее измерьте массу данного стержня, чтобы учитывать данное удлинение пружин при данной нагрузке.
2. Зафиксируйте указатель положения, указывающий на край нижней пружины.
3. Последовательно нагружайте систему параллельно соединённых пружин, измеряйте удлинение при различных массах нагрузки. Для закрепления грузов на стержне штатива малого возможно использование нити или крючка для шкива (при использовании шкива его массу также следует учитывать).
4. Вычислите коэффициент жёсткости системы параллельно соединённых пружин для каждого измерения массы и соответствующего удлинения.
5. Оцените среднее значение коэффициента жёсткости. Вычислите погрешность измерений.
6. Далее проведите измерения вторым способом: соберите пружинный маятник (установка выглядит таким же образом без использования указателя положения), измеряйте период колебаний пружинного маятника при различных массах груза. Проведите серию, содержащую не менее пяти измерений (использование пяти грузов различной массы). Для повышения точности замеряйте время нескольких колебаний с последующим делением на количество колебаний для получения периода одного колебания.
7. Вычислите коэффициент жёсткости системы параллельно соединённых пружин для каждого измерения массы и соответствующего периода колебаний.
8. Оцените среднее значение коэффициента жёсткости. Вычислите погрешность измерений.
9. Вычислите коэффициент жёсткости системы параллельно соединённых пружин с использованием формулы $k = k_1 + k_2$. Сравните полученные экспериментальным и расчётным способом результаты.
10. Сделайте выводы по работе.

Вариант 22

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 22

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, доказать справедливость правила моментов сил. Для доказательства следует использовать систему пружин, соединённых параллельно. Доказательство правила моментов сил следует осуществлять на основе не менее пяти различных измерений (различных схем нагружений). Для каждой схемы нагружения сравните расчетное значение прилагаемой для уравнивания силы с фактически измеренной. Предложите и опишите экспериментальную методику.

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте значений прилагаемой силы, сравнивая ее с расчетной. Зарисуйте рисунок каждой схемы нагружения, используемой в эксперименте, с указанием всех действующих на систему сил и расстояний между точками приложения сил. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

При учитывании силы тяжести, действующей на систему пружин со стороны стержня штатива малого, считайте, что вся масса сконцентрирована в центре массы стержня.

Таблица 1

Наименование	Количество
Набор «Штатив универсальный»	2 шт.
Пружина спиральная 10 Н/м	1 шт.
Пружина спиральная 25 Н/м	1 шт.
Указатель положения (пара)	1 шт.
Динамометр 1,5 Н	1 шт.
Динамометр 3 Н	1 шт.
Груз 50 г	4 шт.
Груз 25 г	1 шт.
Шар с крючком 70 г	1 шт.
Нить	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Крючок для шкива	1 шт.
Стержень штатива малый	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 22

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (штативы и система параллельно соединенных пружин, нагружение системы путем подвешивания грузов на стержень штатива малый, уравнивание системы (если она не находится в равновесии) посредством прикладывания силы с помощью динамометра)	5
Участник Конкурса предложил алгоритм проведения эксперимента: подвешивание грузов на стержень штатива малый в таком месте, чтобы система не была уравновешена, приложение силы к стержню с помощью динамометра так, чтобы система возвращалась в равновесие	10
Записаны формулы и законы: $\sum M = 0, M = Fl$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений прилагаемой к системе силы: как минимум пять измерений (нагрузка различными грузами, изменение положения подвеса грузов или приложения силы для уравнивания)	
А – Проведены измерения с использованием менее пяти схем нагружения	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более измерений	4
Проведена серия расчетов различных схем нагружений по правилу моментов сил	
А – Рассчитано менее пяти схем нагружений	1
Б – Проведены все необходимые расчеты, получено пять и более значений прикладываемой силы или точек подвеса грузов	4
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся от расчетной в среднем не более чем на 15% (посчитано среднее значение погрешности по пяти схемам нагружения)	8
Сформулированы выводы по работе (например, о справедливости правила моментов силы и др.)	9
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента	5
Зарисованы пять схем нагружения, используемых в эксперименте, с указанием всех действующих сил: сила тяжести, две силы упругости, прилагаемая сила	10
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Соберите два штатива. Подвесьте на первый штатив одну из двух пружин, а на второй штатив – другую пружину так, чтобы линия, проведённая через нижние края пружин (точки, куда приходится нагрузка) была горизонтальной. Зафиксируйте указатель положения, указывающий на нижний край пружины.
2. Положите на обе пружины одновременно стержень штатива малый таким образом, чтобы он располагался также горизонтально (стержень окажется смещённым относительно центра между пружинами). Заранее измерьте массу данного стержня,

чтобы учитывать данное удлинение пружин при данной нагрузке, соответственно силы упругости, действующие со стороны пружин.

3. Нагрузите стержень в желаемом месте с использованием желаемого груза, совокупности грузов так, чтобы система не была уравновешена. Уравновесьте систему с использованием динамометра, силу прикладывайте в любом желаемом месте. Зафиксируйте измерение силы, измерьте расстояния между точками приложения всех сил.
4. Зарисуйте полученную схему нагружения с указанием всех действующих сил и расстояний.
5. Рассчитайте теоретическое значение силы, которую стоило бы приложить для уравновешивания полученной схемы нагружения. Сравните измеренное значение силы с теоретически рассчитанным.
6. Вычислите относительную погрешность с использованием формулы $\delta = \frac{|x_{\text{изм}} - x_{\text{расч}}|}{x_{\text{изм}}}$.
7. Повторите действия алгоритма, описанного выше, с использованием любой другой схемы нагружения четыре раза.
8. Оцените среднее значение погрешности. Докажите на основе полученного среднего значения погрешности правило моментов сил. Сформулируйте выводы по работе.

Вариант 23

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 23

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, доказать справедливость «золотого правила» механики. Доказательство следует осуществлять на основе не менее пяти различных измерений с использованием различных грузов или их совокупностей. Предложите и опишите экспериментальную методику. Сформулируйте «золотое правило» механики.

Следует оценить относительную погрешность для получаемого в Вашем эксперименте значения отношения расстояния прохождения прилагаемой силы к расстоянию подъема груза, за действительное значение отношения принять отношение прилагаемой силы к силе тяжести со стороны груза. Рассчитайте среднее значение погрешности. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1

Наименование	Количество
Набор «Штатив универсальный»	1 шт.
Нить	1 шт.
Шкив	1 шт.
Крючок для шкива	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Груз 50 г	4 шт.
Груз 25 г	1 шт.

Шар с крючком 70 г	1 шт.
Указатель положения (пара)	2 шт.
Динамометр 1,5 Н	1 шт.
Динамометр 3 Н	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 23

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (штатив, привязанная к нему нить, подвижный блок, нагружаемый различными грузами, с другой стороны нити располагается динамометр)	5
Участник Конкурса предложил алгоритм проведения эксперимента: подвешивание грузов на подвижный блок, измерение силы, прикладываемой к непривязанному к штативу концу нити, при подъеме груза, измерение расстояния, на которое поднялся груз, измерение расстояния, на которое поднялся динамометр, измерение силы тяжести со стороны подвешенных грузов отдельно от системы с блоком	10
Записаны формулы и законы: $k = \frac{s_F}{s_{F_{тяж}}}$; $k = \frac{F}{F_{тяж}}$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений прилагаемой силы, силы тяжести, проходимых силой и грузом расстояний	
А – Получена серия измерений, состоящая из менее пяти значений коэффициентов	2
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более измерений	6
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся друг от друга в среднем не более чем на 15%	8
Корректно сформулировано «золотое правило» механики: во сколько раз выигрыш в силе, во столько же раз проигрыш в расстоянии	2
Сформулированы выводы по работе (например, о справедливости «золотого правила» механики и др.)	9
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента	5
Зарисованы схема эксперимента с указанием всех действующих сил	10
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Соберите штатив (в том числе закрепите указатели положения), закрепите один конец нити на краю штатива. Нагрузите шкив, выполняющий функцию подвижного блока. Расположите шкив на нити таким подвижно. Присоедините к другому концу нити динамометр.
2. Зафиксируйте указатели положения таким образом, чтобы одна пара показывала расстояние, прошедшее грузом, вторая – расстояние, прошедшее динамометром.
3. Начните поднимать динамометр (поднимается и груз). Измерьте расстояния.

4. Измерьте силу, прикладываемую со стороны динамометра.
5. Снимите грузы. Измерьте силу тяжести со стороны грузов.
6. Рассчитайте $k = \frac{S_F}{S_{F_{тяж}}}$, $k = \frac{F}{F_{тяж}}$.
7. Оцените относительную погрешность полученных результатов по формуле $\delta = \frac{|x_{изм} - x_{расч}|}{x_{изм}}$.
8. Повторите действия вышеописанного алгоритма с другими четырьмя грузами или совокупностями грузов.
9. Оцените среднее значение погрешности. Докажите на основе полученного среднего значения погрешности «золотое правило» механики. Сформулируйте выводы по работе.

Вариант 24

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 24

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, соберите экспериментальную установку, позволяющую получить выигрыш в силе в четыре раза. Докажите, что именно такая конфигурация блоков позволяет достичь необходимого результата. Доказательство следует осуществлять на основе не менее пяти различных измерений с использованием различных грузов или их совокупностей. Предложите и опишите экспериментальную методику.

Следует оценить относительную погрешность для получаемого в Вашем эксперименте значения прилагаемой к системе силы. За действительное значение силы следует принять расчетное. Рассчитайте среднее значение погрешности. Зарисуйте схему эксперимента с указанием всех действующих сил. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1

Наименование	Количество
Штатив с набором деталей (опора штатива большая (2 шт.), стержень штатива малый (2 шт.), стержень штатива большой (2 шт.), опора штатива малая с блоком (2 шт.), зажим с защелкой, соединитель)	1
Шкив	3 шт.
Нить	1 шт.
Крючок для шкива	2 шт.
Груз 50 г	4 шт.
Груз 25 г	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Стержень штатива малый	1 шт.
Динамометр 1,5 Н	1 шт.
Динамометр 3 Н	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 24

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (штатив, привязанная к нему нить, перекинутая через подвижный блок, затем неподвижный, затем подвижный, с другой стороны нити располагается динамометр, на крючках для шкива располагается стержень штатива малый)	5
Участник Конкурса предложил алгоритм проведения эксперимента: подвешивание грузов на горизонтальный стержень штатива малый, измерение силы, прилагаемой к непривязанному концу нити	10
Записаны формулы и законы: $F = \frac{F_{\text{тяж}}}{k}$, $k=4$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений прилагаемой силы, силы тяжести	
А – Получена серия измерений, состоящая из менее пяти значений силы	2
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более измерений	6
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся от расчетного в среднем не более чем на 15%	10
Сформулированы выводы по работе (например, о том, что именно такая конфигурация блоков позволяет добиться необходимого выигрыша в силе и др.)	9
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента	5
Зарисованы схема эксперимента с указанием всех действующих сил	10
Итого	60

Развёрнутое решение:

- Соберите штатив. На каждой опоре штатива большой закрепите по стержню штатива. На обоих стержнях закрепите опору штатива малую с блоком. На одну опору поставьте зажим с защёлкой, на другую опору соединитель. На соединитель наденьте шкив. Привяжите к зажиму с защёлкой один конец нити. Расположите на нити шкив (подвижный блок), перекиньте нить через следующий шкив (неподвижный блок), расположите ещё один шкив (подвижный блок). С другой стороны нити расположите динамометр.
- На подвижные блоки наденьте крючки для шкива, положите на крючки стержень штатива малый так, чтобы он располагался горизонтально.
- Последовательно нагружайте систему, подвешивая грузы на стержень штатива малый. Измеряйте силу, прикладываемую с помощью динамометра.
- Измеряйте силу тяжести, создаваемую грузами.
- Рассчитайте для каждого случая нагружения силу, которую теоретически надо приложить, чтобы уравновесить систему.
- Оцените относительную погрешность результатов по формуле $\delta = \frac{|x_{\text{изм}} - x_{\text{расч}}|}{x_{\text{изм}}}$.

7. Оцените среднее значение погрешности. Докажите на основе полученного среднего значения погрешности адекватность Вашей собранной системы.
8. Сформулируйте выводы по работе.

Вариант 25

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 25

На основе предлагаемых материалов, указанных в таблице 1, доказать справедливость правила моментов сил. Доказательство правила моментов сил следует осуществлять на основе не менее пяти различных измерений (различных схем нагружений). Для каждой схемы нагружения сравните расчетное значение прилагаемой для уравнивания силы с фактически измеренной. Предложите и опишите экспериментальную методику.

Следует оценить погрешность для получаемых в Вашем эксперименте значений прилагаемой силы, сравнивая ее с расчетной. Зарисуйте рисунок каждой схемы нагружения, используемой в эксперименте, с указанием всех действующих на систему сил и расстояний между точками приложения сил. Максимально возможный балл за выполнение работы – 60 баллов.

Таблица 1

Наименование	Количество
Штатив с набором деталей	1 шт.
Динамометр 1,5 Н	1 шт.
Динамометр 3 Н	1 шт.
Груз 50 г	4 шт.
Груз 25 г	1 шт.
Шар с крючком 70 г	1 шт.
Нить	1 шт.
Весы электронные	1 шт.
Рычаг	1 шт.
Линейка деревянная	1 шт.
Крючок для шкива	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 25

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
Участник Конкурса корректно собрал экспериментальную установку (штатив, рычаг, на рычаге расположены грузы и динамометр)	5
Участник Конкурса предложил алгоритм проведения эксперимента: подвешивание грузов на рычаг в различных местах, уравнивание системы с помощью силы, прикладываемой посредством динамометра	10
Записаны формулы и законы: $\sum M = 0$, $M = Fl$	5
Задание 1.2	
Проведена серия измерений прикладываемой к системе силы: как минимум пять измерений (нагрузка различными грузами, изменение положения подвеса грузов или приложения силы для уравнивания)	
А – Проведены измерения с использованием менее пяти схем нагружения	1
Б – Проведены все необходимые измерения, получено пять и более измерений	4
Проведена серия расчетов различных схем нагружений по правилу моментов сил	
А – Рассчитано менее пяти схем нагружений	1
Б – Проведены все необходимые расчеты, получено пять и более значений прикладываемой силы	4
Получены целевые значения физической величины, отличающиеся от расчетной в среднем не более чем на 15% (посчитано среднее значение погрешности по пяти схемам нагружения)	8
Сформулированы выводы по работе (например, о справедливости правила моментов силы и др.)	9
Задание 1.3	
Корректно описаны формулы, по которым производилась оценка погрешности, правильно оценена погрешность эксперимента	5
Зарисованы пять схем нагружения, используемых в эксперименте, с указанием всех действующих сил: сила тяжести, прикладываемая сила	10
Итого	60

Развёрнутое решение:

1. Соберите штатив, подвесьте рычаг.
2. Нагружайте рычаг в желаемом месте с использованием желаемого груза, совокупности грузов так, чтобы система не была уравновешена. Уравновесьте систему с использованием динамометра, силу прикладывайте в любом желаемом месте. Зафиксируйте измерение силы, измерьте расстояния между точками приложения всех сил.
3. Зарисуйте полученную схему нагружения с указанием всех действующих сил и расстояний.
4. Рассчитайте теоретическое значение силы, которую стоило бы приложить для уравнивания полученной схемы нагружения. Сравните измеренное значение силы с теоретически рассчитанным.

5. Вычислите относительную погрешность с использованием формулы $\delta = \frac{|x_{изм} - x_{расч}|}{x_{изм}}$.
6. Повторите действия алгоритма, описанного выше, с использованием любой другой схемы нагружения четыре раза.
7. Оцените среднее значение погрешности. Докажите на основе полученного среднего значения погрешности правило моментов сил. Сформулируйте выводы по работе.

Вариант 26

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 26

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в Таблице 1, нарисуйте и соберите схему для определения сопротивления проволочного резистора мостовым методом. Определите сопротивление проволочного резистора с учётом погрешности, проведя необходимое количество измерений.

Определите длину проволоки, из которой сделан резистор, считая её удельное сопротивление равным $1,1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

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

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Линейка деревянная 25-50 см	1 шт.
Резистор сопротивлением около 10 Ом (или потенциометр, используемый только на максимальном сопротивлении)	2 шт.
Резистор из проволоки диаметром 0,36 мм неизвестного номинала	1 шт.
Нихромовая проволока диаметром 0,35 мм такой длины, чтобы она была длиннее линейки на 2-4 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	8 шт.
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	4 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 26

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована мостовая схема	6

корректно собрана мостовая схема	8
корректно собран реохорд со скользящим контактом	6
Задание 1.2	
верно уравновешен мост	2
корректно записан закон Ома для участков мостовой схемы	3
получена верная расчётная формула для сопротивления проволочного резистора	5
верно измерены необходимые длины участков реохорда	3
проведено более одного измерения и получено значение сопротивления проволочного резистора	5
верно записана формула для расчёта погрешности сопротивления проволочного резистора	4
верно записан результат измерения сопротивления проволочного резистора с учётом погрешности	3
Задание 1.3	
верно записана формула для определения длины проволоки резистора	4
верно рассчитана длина проволоки резистора	4
верно записана формула для определения погрешности измерения длины проволоки резистора	4
верно записан результат измерения длины проволоки резистора с учётом погрешности	3
Итого	60

За следующие пункты можно добавить по 2 балла при условии, что общая сумма 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.

Возможное решение.

Дано: деревянная линейка 30 см, нихромовая проволока по длине линейки 34 см, два резистора по 10 Ом $\pm 5\%$, резистор из проволоки диаметром 0,36 мм неизвестной длины, миллиамперметр.

Найти: R_x – сопротивление проволочного резистора, l_x – длину проволоки резистора.

С помощью миллиамперметра можно измерить ток в цепи с имеющимися сопротивлениями, где используется типовой источник питания с известным значением напряжения. Далее используя формулу закона Ома, определяется сопротивление в цепи, в котором будет сумма внутреннего сопротивления миллиамперметра и сопротивлений соединительных проводов.

Не зная точного значения выходного напряжения источника тока, но считая, что оно не меняется, и считая внутреннее сопротивление миллиамперметра ничтожно малым, можно измерить силу тока I_1 отдельно в цепи с известным сопротивлением R_1 и силу тока I_2 с неизвестным сопротивлением R_x и получить соотношение этих значений, используя закон Ома:

$$U = I_1 R_{\text{эт}} = I_2 R_x, \quad \text{откуда } R_x = \frac{I_1 R_{\text{эт}}}{I_2}.$$

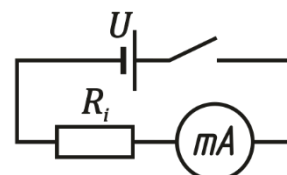
Примечание. В реальности без допущений должно быть так:

$$U = I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}}) = I_2 (R_x + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}}),$$

$$\text{откуда } R_x = \frac{I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}})}{I_2} - R_{\text{пр}} - R_{\text{mA}}.$$

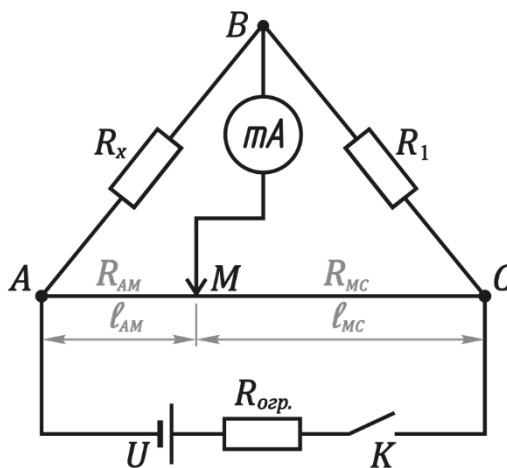
Проверим оценочное значение $R_{x \text{ оцен}}$ с допущением, что сопротивление проводов и миллиамперметра ничтожно мало.

Собираем цепь по схеме на рис. поочерёдно с R_1 и R_x .



Измерения силы тока проводим на максимальном пределе 60 мА (цена деления 2 мА). Выяснилось, что для всех сопротивлений стрелка миллиамперметра выходит за пределы шкалы, т. е. токи I_1 и I_2 в цепи превышают 60 мА и этот метод не работает.

Тогда надо нарисовать и использовать мостовую схему, которую используют для сравнения неизвестного сопротивления R_x с известным R_1 . Для этого надо собрать цепь (с учётом необходимости токопонижающего резистора $R_{\text{огр}}$) из миллиамперметра и трёх имеющихся сопротивлений, где AC – нихромовая проволока, растянутая вдоль шкалы линейки (реохорд), к которой в произвольной точке M можно прижать наконечник провода.



Сопротивление проволоки (при постоянстве диаметра по всей длине) на участках AM и MC пропорционально их длинам:

$$\frac{R_{AM}}{R_{MC}} = \frac{l_{AM}}{l_{MC}}$$

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, во-первых, токи через проволоку на участках AM и MC будут одинаковы, как и токи на участках AB и BC :

$$I_{AM} = I_{MC} \text{ и } I_{AB} = I_{BC}$$

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 :

$$I_{AB}R_x = I_{AM}R_{AM},$$

а напряжение на участке BC равно напряжению на участке MC :

$$I_{BC}R_1 = I_{MC}R_{MC}.$$

Разделив эти два отношения почленно и подставив равенства выше, получим:

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

Чтобы можно было точно измерять длину проволоки, требуется сделать реохорд – растянуть и закрепить нихромовую проволоку вдоль шкалы деревянной линейки. Используем для этого два крокодила без проводов (или канцелярские зажимы). Оставшиеся два крокодила будем использовать на концах рабочего участка проволоки реохорда, подключив к их клеммам штекеры соединительных проводов.

Собираем эту мостовую схему.

Контакт в точке A (сторона крокодила со стороны рабочей части реохорда) оказался на линейке 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 на пределе 6 мА 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	85	175
2	84	176
3	85	175
4	85	175
5	84	176
$\langle \ell \rangle$	84,6	175,4

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 равна 5 %, значит $\varepsilon_{R_1} = 0,05$.

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

$$\varepsilon_{\ell_{AM}} = \frac{\Delta\ell}{\langle\ell_{AM}\rangle} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{\ell_{MC}} = \frac{\Delta\ell}{\langle\ell_{MC}\rangle},$$

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 (хотя он менее точен):

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

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:

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

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

Результаты расчётов:

$$R_x = R_1 \frac{\langle\ell_{AM}\rangle}{\langle\ell_{MC}\rangle} = 10 \cdot \frac{84,6}{175,4} = 4,82 \text{ Ом};$$

$$\Delta R_x = R_x \sqrt{\varepsilon_{R_1}^2 + \varepsilon_{\ell_{AM}}^2 + \varepsilon_{\ell_{MC}}^2} = R_x \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{\Delta\ell}{\ell_{AM}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\ell}{\ell_{MC}}\right)^2},$$

$$\text{где } \Delta\ell = \sqrt{\Delta\ell_{\text{приб}}^2 + \Delta\ell_{\text{опер}}^2} = \sqrt{0,5^2 + 1^2} = 1,1 \text{ мм};$$

$$\text{Тогда } \Delta R_x = 4,82 \cdot \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{1,1}{84,6}\right)^2 + \left(\frac{1,1}{175,4}\right)^2} = 0,25 \text{ Ом}.$$

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 ρ – удельное сопротивление проволоки, данные в условии.

$$\ell_x = \frac{4,82 \cdot 3,14 \cdot (0,36 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6}} = 0,45 \text{ м};$$

Погрешность длины проволоки считается аналогично:

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

Для штангенциркулей 1-го класса $\Delta d = 0,05$, тогда:

$$\Delta \ell_x = 0,45 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,25}{4,82}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{0,36}\right)^2} = 0,07 \text{ м}.$$

Ответ:

сопротивление проволоки $R_x = 4,82 \pm 0,25 \text{ Ом}$, её длина $\ell_x = 0,45 \pm 0,07 \text{ м}$.

(измерение сопротивления с помощью мультиметра: $R_{x \text{ тест}} = 4,8 \pm 0,5 \text{ Ом}$)

Вариант 27

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 27

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в Таблице 1, нарисуйте и соберите схему для определения сопротивления проволочного резистора мостовым методом. Определите сопротивление проволочного резистора с учётом погрешности, проведя необходимое количество измерений.

Определите длину проволоки, из которой сделан резистор, считая её удельное сопротивление равным $1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

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

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Линейка деревянная 25-50 см	1 шт.
Резистор сопротивлением около 10 Ом (или потенциометр, используемый только на максимальном сопротивлении)	2 шт.
Резистор из проволоки диаметром 0,25 мм неизвестного номинала	1 шт.
Нихромовая проволока диаметром 0,35 мм такой длины, чтобы она была длиннее линейки на 2-4 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	8 шт.

Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	4 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 27

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована мостовая схема	6
корректно собрана мостовая схема	8
корректно собран реохорд со скользящим контактом	6
Задание 1.2	
верно уравновешен мост	2
корректно записан закон Ома для участков мостовой схемы	3
получена верная расчётная формула для сопротивления проволочного резистора	5
верно измерены необходимые длины участков реохорда	3
проведено более одного измерения и получено значение сопротивления проволочного резистора	5
верно записана формула для расчёта погрешности сопротивления проволочного резистора	4
верно записан результат измерения сопротивления проволочного резистора с учётом погрешности	3
Задание 1.3	
верно записана формула для определения длины проволоки резистора	4
верно рассчитана длина проволоки резистора	4
верно записана формула для определения погрешности измерения длины проволоки резистора	4
верно записан результат измерения длины проволоки резистора с учётом погрешности	3
Итого	60

За следующие пункты можно добавить по 2 балла при условии, что общая сумма 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.

Возможное решение.

Дано: деревянная линейка 30 см, нихромовая проволока по длине линейки 34 см, два резистора по 10 Ом $\pm 5\%$, резистор из проволоки диаметром 0,25 мм неизвестной длины, миллиамперметр.

Найти: R_x – сопротивление проволочного резистора, ℓ_x – длину проволоки резистора

С помощью миллиамперметра можно измерить ток в цепи с имеющимися сопротивлениями, где используется типовой источник питания с известным значением напряжения. Далее используя формулу закона Ома, определяется сопротивление в цепи, в котором будет сумма внутреннего сопротивления миллиамперметра и сопротивлений соединительных проводов.

Не зная точного значения выходного напряжения источника тока, но считая, что оно не меняется, и считая внутреннее сопротивление миллиамперметра ничтожно малым, можно измерить силу тока I_1 отдельно в цепи с известным сопротивлением R_1 и силу тока I_2 с неизвестным сопротивлением R_x и получить соотношение этих значений, используя закон Ома:

$$U = I_1 R_{\text{эт}} = I_2 R_x, \quad \text{откуда } R_x = \frac{I_1 R_{\text{эт}}}{I_2}.$$

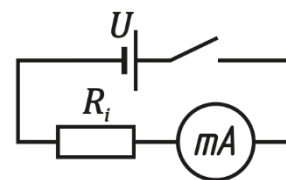
Примечание. В реальности без допущений должно быть так:

$$U = I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}}) = I_2 (R_x + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}}),$$

$$\text{откуда } R_x = \frac{I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}})}{I_2} - R_{\text{пр}} - R_{\text{mA}}.$$

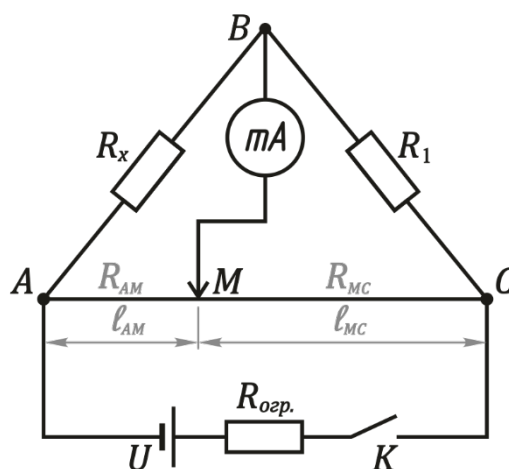
Проверим оценочное значение $R_{x \text{ оцен}}$ с допущением, что сопротивление проводов и миллиамперметра ничтожно мало.

Собираем цепь по схеме на рис. поочередно с R_1 и R_x .



Измерения силы тока проводим на максимальном пределе 60 мА (цена деления 2 мА). Выяснилось, что для всех сопротивлений стрелка миллиамперметра выходит за пределы шкалы, т. е. токи I_1 и I_2 в цепи превышают 60 мА и этот метод не работает.

Тогда надо нарисовать и использовать мостовую схему, которую используют для сравнения неизвестного сопротивления R_x с известным R_1 . Для этого надо собрать цепь (с учётом необходимости токопонижающего резистора $R_{\text{огр}}$) из миллиамперметра и трёх имеющихся сопротивлений, где AC – нихромовая проволока, растянутая вдоль шкалы линейки (реохорд), к которой в произвольной точке M можно прижать наконечник провода.



Сопротивление проволоки (при постоянстве диаметра по всей длине) на участках AM и MC пропорционально их длинам:

$$\frac{R_{AM}}{R_{MC}} = \frac{l_{AM}}{l_{MC}}$$

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, во-первых, токи через проволоку на участках AM и MC будут одинаковы, как и токи на участках AB и BC :

$$I_{AM} = I_{MC} \text{ и } I_{AB} = I_{BC}$$

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 :

$$I_{AB}R_x = I_{AM}R_{AM},$$

а напряжение на участке BC равно напряжению на участке MC :

$$I_{BC}R_1 = I_{MC}R_{MC}.$$

Разделив эти два отношения почленно и подставив равенства выше, получим:

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

Чтобы можно было точно измерять длину проволоки, требуется сделать реохорд – растянуть и закрепить нихромовую проволоку вдоль шкалы деревянной линейки. Используем для этого два крокодила без проводов (или канцелярские зажимы). Оставшиеся два крокодила будем использовать на концах рабочего участка проволоки реохорда, подключив к их клеммам штекеры соединительных проводов.

Собираем эту мостовую схему.

Контакт в точке A (сторона крокодила со стороны рабочей части реохорда) оказался на линейке 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 на пределе 6 мА 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	132	128
2	133	127
3	133	127
4	132	128
5	133	127
$\langle \ell \rangle$	132,6	127,4

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 равна 5 %, значит $\varepsilon_{R_1} = 0,05$.

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

$$\varepsilon_{\ell_{AM}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{AM} \rangle} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{\ell_{MC}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{MC} \rangle},$$

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 (хотя он менее точен):

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

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:

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

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

Результаты расчётов:

$$R_x = R_1 \frac{\langle \ell_{AM} \rangle}{\langle \ell_{MC} \rangle} = 10 \cdot \frac{127,4}{132,6} = 9,61 \text{ Ом};$$

$$\Delta R_x = R_x \sqrt{\varepsilon_{R_1}^2 + \varepsilon_{\ell_{AM}}^2 + \varepsilon_{\ell_{MC}}^2} = R_x \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{AM}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{MC}}\right)^2},$$

$$\text{где } \Delta \ell = \sqrt{\Delta \ell_{\text{приб}}^2 + \Delta \ell_{\text{опер}}^2} = \sqrt{0,5^2 + 1^2} = 1,1 \text{ мм};$$

$$\text{Тогда } \Delta R_x = 9,61 \cdot \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{1,1}{132,6}\right)^2 + \left(\frac{1,1}{127,4}\right)^2} = 0,49 \text{ Ом.}$$

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 ρ – удельное сопротивление проволоки, данные в условии.

$$\ell_x = \frac{9,61 \cdot 3,14 \cdot (0,25 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6}} = 0,43 \text{ м;}$$

Погрешность длины проволоки считается аналогично:

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

Для штангенциркулей 1-го класса $\Delta d = 0,05$, тогда:

$$\Delta \ell_x = 0,43 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,49}{9,61}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{0,25}\right)^2} = 0,09 \text{ м.}$$

Ответ:

сопротивление проволоки $R_x = 9,61 \pm 0,49$ Ом, её длина $\ell_x = 0,43 \pm 0,09$ м.

(измерение сопротивления с помощью мультиметра: $R_{x \text{ тест}} = 9,6 \pm 0,6$ Ом)

Вариант 28

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 28

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в Таблице 1, нарисуйте и соберите схему для определения сопротивления холодной нити накаливания лампочки мостовым методом. Определите сопротивление нити накаливания лампочки с учётом погрешности, проведя необходимое количество измерений.

Определите длину вольфрамовой проволоки, из которой сделана спираль нити накаливания, считая её диаметр равным $0,015 \text{ мм} \pm 3\%$, мм, а удельное сопротивление вольфрама при нормальных условиях равным $55 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

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

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Линейка деревянная 25-50 см	1 шт.
Резистор сопротивлением около 10 Ом (или потенциометр, используемый только на максимальном сопротивлении)	2 шт.
Лампочка накаливания от фонарика в держателе (номинал 3,5 В, 0,3 А)	1 шт.
Нихромовая проволока диаметром 0,35 мм такой длины, чтобы она была длиннее линейки на 2-4 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	8 шт.
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	4 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 28

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована мостовая схема	6
корректно собрана мостовая схема	8
корректно собран реохорд со скользящим контактом	6
Задание 1.2	
верно уравновешен мост	2
корректно записан закон Ома для участков мостовой схемы	3
получена верная расчётная формула для сопротивления нити накаливания лампочки	5
верно измерены необходимые длины участков реохорда	3
проведено более одного измерения и получено значение сопротивления нити накаливания лампочки	5
верно записана формула для расчёта погрешности сопротивления нити накаливания лампочки	4
верно записан результат измерения сопротивления нити накаливания лампочки с учётом погрешности	3
Задание 1.3	
верно записана формула для определения длины вольфрамовой проволоки спирали нити накаливания	4
верно рассчитана длина вольфрамовой проволоки спирали нити накаливания	4
верно записана формула для определения погрешности измерения длины вольфрамовой проволоки	4
верно записан результат измерения длины вольфрамовой проволоки спирали нити накаливания с учётом погрешности	3
Итого	60

За следующие пункты можно добавить по 2 балла при условии, что общая сумма 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.

Возможное решение.

Дано: деревянная линейка 30 см, нихромовая проволока по длине линейки 34 см, два резистора по 10 Ом ±5 %, лампочка накаливания от фонарика в держателе, миллиамперметр.

Найти: R_x – сопротивление нити накаливания лампочки, ℓ_x – длину нити накаливания этой лампочки.

С помощью миллиамперметра можно измерить ток в цепи с имеющимися сопротивлениями, где используется типовой источник питания с известным значением напряжения. Далее используя формулу закона Ома, определяется сопротивление в цепи, в котором будет сумма внутреннего сопротивления миллиамперметра и сопротивлений соединительных проводов.

Не зная точного значения выходного напряжения источника тока, но считая, что оно не меняется, и считая внутреннее сопротивление миллиамперметра ничтожно малым, можно измерить силу тока I_1 отдельно в цепи с известным сопротивлением R_1 и силу тока I_2 с неизвестным сопротивлением R_x и получить соотношение этих значений, используя закон Ома:

$$U = I_1 R_{\text{эт}} = I_2 R_x, \quad \text{откуда } R_x = \frac{I_1 R_{\text{эт}}}{I_2}.$$

Примечание. В реальности без допущений должно быть так:

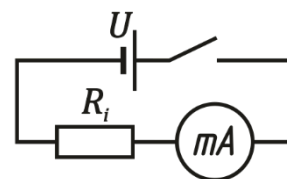
$$U = I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}}) = I_2 (R_x + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}}),$$

$$\text{откуда } R_x = \frac{I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}})}{I_2} - R_{\text{пр}} - R_{\text{mA}}.$$

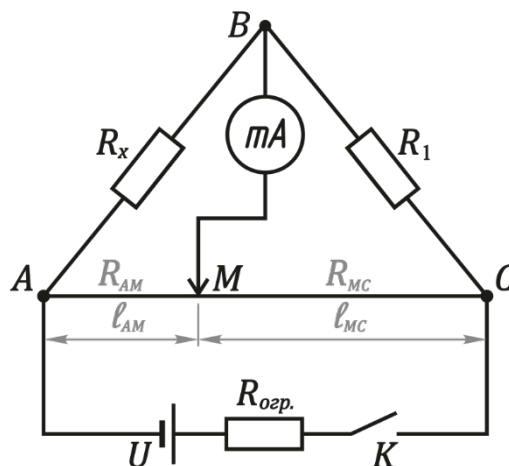
Проверим оценочное значение $R_{x \text{ оцен}}$ с допущением, что сопротивление проводов и миллиамперметра ничтожно мало.

Собираем цепь по схеме на рис. поочередно с R_1 и R_x .

Измерения силы тока проводим на максимальном пределе 60 мА (цена деления 2 мА). Выяснилось, что для всех сопротивлений стрелка миллиамперметра выходит за пределы шкалы, т. е. токи I_1 и I_2 в цепи превышают 60 мА, а лампочка ярко светится – этот метод не работает.



Тогда надо нарисовать и использовать мостовую схему, которую используют для сравнения неизвестного сопротивления R_x с известным R_1 . Для этого надо собрать цепь (с учётом необходимости токопонижающего резистора $R_{огр}$) из миллиамперметра и трёх имеющихся сопротивлений, где AC – нихромовая проволока, растянутая вдоль шкалы линейки (реохорд), к которой в произвольной точке M можно прижать наконечник провода.



Сопротивление проволоки (при постоянстве диаметра по всей длине) на участках AM и MC пропорционально их длинам:

$$\frac{R_{AM}}{R_{MC}} = \frac{l_{AM}}{l_{MC}}$$

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, во-первых, токи через проволоку на участках AM и MC будут одинаковы, как и токи на участках AB и BC :

$$I_{AM} = I_{MC} \text{ и } I_{AB} = I_{BC}$$

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 :

$$I_{AB}R_x = I_{AM}R_{AM},$$

а напряжение на участке BC равно напряжению на участке MC :

$$I_{BC}R_1 = I_{MC}R_{MC}.$$

Разделив эти два отношения почленно и подставив равенства выше, получим:

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

Чтобы можно было точно измерять длину проволоки, требуется сделать реохорд – растянуть и закрепить нихромовую проволоку вдоль шкалы деревянной линейки. Используем для этого два крокодила без проводов (или канцелярские зажимы). Оставшиеся два крокодила будем использовать на концах рабочего участка проволоки реохорда, подключив к их клеммам штекеры соединительных проводов.

Собираем эту мостовую схему.

Контакт в точке A (сторона крокодила со стороны рабочей части реохорда) оказался на линейке 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 на пределе 6 мА стрелка указывает на ноль. Делаем несколько

измерений. Если разброс значительный и стрелка миллиамперметра не устойчива, то это плохой контакт – крокодильи 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	30	230
2	28	232
3	29	231
4	29	231
5	28	232
$\langle \ell \rangle$	28,8	231,2

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 равна 5 %, значит $\varepsilon_{R_1} = 0,05$.

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

$$\varepsilon_{\ell_{AM}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{AM} \rangle} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{\ell_{MC}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{MC} \rangle},$$

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 (хотя он менее точен):

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

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:

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

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

Результаты расчётов:

$$R_x = R_1 \frac{\langle \ell_{AM} \rangle}{\langle \ell_{MC} \rangle} = 10 \cdot \frac{28,8}{231,2} = 1,25 \text{ Ом};$$

$$\Delta R_x = R_x \sqrt{\varepsilon_{R_1}^2 + \varepsilon_{\ell_{AM}}^2 + \varepsilon_{\ell_{MC}}^2} = R_x \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{AM}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{MC}}\right)^2},$$

$$\text{где } \Delta \ell = \sqrt{\Delta \ell_{\text{приб}}^2 + \Delta \ell_{\text{опер}}^2} = \sqrt{0,5^2 + 1^2} = 1,1 \text{ мм};$$

$$\text{Тогда } \Delta R_x = 1,25 \cdot \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{1,1}{28,8}\right)^2 + \left(\frac{1,1}{231,2}\right)^2} = 0,08 \text{ Ом}.$$

Для вычисления длины нити накаливания ℓ_x воспользуемся формулой:

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

где d – диаметр нити, а ρ – удельное сопротивление вольфрама, данные в условии.

$$\ell_x = \frac{1,25 \cdot 3,14 \cdot (0,015 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 55 \cdot 10^{-9}} = 0,0040 \text{ м}; \text{ (4,0 мм – на вид так и есть)}$$

Погрешность длины нити накаливания считается аналогично:

$$\Delta \ell_x = \ell_x \sqrt{\varepsilon_{R_x}^2 + \varepsilon_d^2}, \quad \text{где } \varepsilon_{R_x} = \frac{\Delta R_x}{R_x} \text{ и } \varepsilon_d = 0,03 \text{ (из условия)}.$$

$$\Delta \ell_x = 0,004 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,08}{1,25}\right)^2 + 0,03^2} = 0,0003 \text{ м}.$$

Ответ: сопротивление нити накаливания лампочки $R_x = 1,25 \pm 0,08 \text{ Ом}$, а её длина $\ell_x = (4,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

(измерение сопротивления с помощью мультиметра: $R_{x \text{ тест}} = 1,7 \pm 0,5 \text{ Ом}$)

Вариант 29

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 29

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в Таблице 1, 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 катушки, считая её диаметр равным $(0,24 \pm 0,02)$ 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.

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Линейка деревянная 25-50 см	1 шт.
Резистор сопротивлением около 10 Ом (или потенциометр, используемый только на максимальном сопротивлении)	2 шт.
Катушка индуктивности из тонкой медной проволоки диаметром равным $(0,24 \pm 0,02)$ мм	1 шт.
Константановая проволока диаметром 0,35 мм такой длины, чтобы она была длиннее линейки на 2-4 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	8 шт.
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	4 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 29

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована мостовая схема	6
корректно собрана мостовая схема	8
корректно собран реохорд со скользящим контактом	6
Задание 1.2	
верно уравновешен мост	2
корректно записан закон Ома для участков мостовой схемы	3
получена верная расчётная формула для сопротивления проволоки катушки индуктивности	5
верно измерены необходимые длины участков реохорда	3

проведено более одного измерения и получено значение сопротивления проволоки катушки	5
верно записана формула для расчёта погрешности сопротивления проволоки катушки	4
верно записан результат измерения сопротивления проволоки катушки с учётом погрешности	3
Задание 1.3	
верно записана формула для определения длины проволоки катушки	4
верно рассчитана длина проволоки катушки	4
верно записана формула для определения погрешности измерения длины проволоки катушки	4
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 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.

Возможное решение.

Дано: деревянная линейка 25 см, константановая проволока по длине линейки 28 см, два резистора по 10 Ом $\pm 5\%$, проволока катушки неизвестной длины диаметром 0,24 мм, миллиамперметр.

Найти: R_x – сопротивление проволоки катушки индуктивности, ℓ_x – длину проволоки катушки.

С помощью миллиамперметра можно измерить ток в цепи с имеющимися сопротивлениями, где используется типовой источник питания с известным значением напряжения. Далее используя формулу закона Ома, определяется сопротивление в цепи, в котором будет сумма внутреннего сопротивления миллиамперметра и сопротивлений соединительных проводов.

Не зная точного значения выходного напряжения источника тока, но считая, что оно не меняется, и считая внутреннее сопротивление миллиамперметра ничтожно малым, можно измерить силу тока I_1 отдельно в цепи с известным сопротивлением R_1 и силу тока I_2 с неизвестным сопротивлением R_x и получить соотношение этих значений, используя закон Ома:

$$U = I_1 R_{\text{эт}} = I_2 R_x, \quad \text{откуда } R_x = \frac{I_1 R_{\text{эт}}}{I_2}.$$

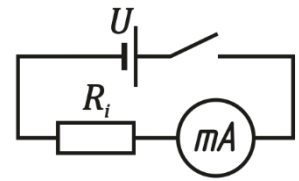
Примечание. В реальности без допущений должно быть так:

$$U = I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}}) = I_2 (R_x + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}}),$$

$$\text{откуда } R_x = \frac{I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}})}{I_2} - R_{\text{пр}} - R_{\text{mA}}.$$

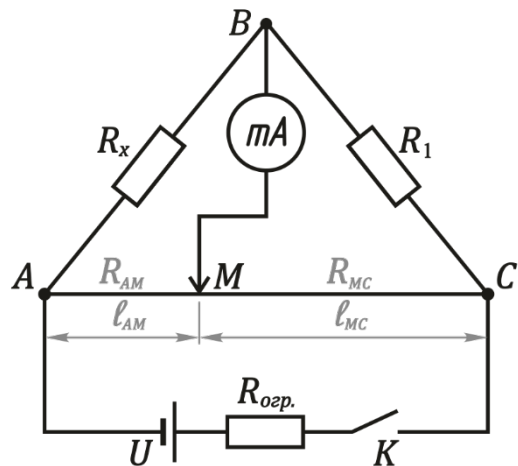
Проверим оценочное значение $R_{x \text{ оцен}}$ с допущением, что сопротивление проводов и миллиамперметра ничтожно мало.

Собираем цепь по схеме на рис. поочередно с R_1 и R_x .



Измерения силы тока проводим на максимальном пределе 60 мА (цена деления 2 мА). Выяснилось, что для всех сопротивлений стрелка миллиамперметра выходит за пределы шкалы, т. е. токи I_1 и I_2 в цепи превышают 60 мА и этот метод не работает.

Тогда надо нарисовать и использовать мостовую схему, которую используют для сравнения неизвестного сопротивления R_x с известным R_1 . Для этого надо собрать цепь (с учётом необходимости токопонижающего резистора $R_{\text{огр}}$) из миллиамперметра и трёх имеющихся сопротивлений, где AC – константановая проволока, растянутая вдоль шкалы линейки (реохорд), к которой в произвольной точке M можно прижать наконечник провода.



Сопротивление проволоки (при постоянстве диаметра по всей длине) на участках AM и MC пропорционально их длинам:

$$\frac{R_{AM}}{R_{MC}} = \frac{l_{AM}}{l_{MC}}$$

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, во-первых, токи через проволоку на участках AM и MC будут одинаковы, как и токи на участках AB и BC :

$$I_{AM} = I_{MC} \quad \text{и} \quad I_{AB} = I_{BC}$$

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 :

$$I_{AB} R_x = I_{AM} R_{AM},$$

а напряжение на участке BC равно напряжению на участке MC :

$$I_{BC}R_1 = I_{MC}R_{MC}.$$

Разделив эти два отношения почленно и подставив равенства выше, получим:

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

Чтобы можно было точно измерять длину проволоки, требуется сделать реохорд – растянуть и закрепить константановую проволоку вдоль шкалы деревянной линейки. Используем для этого два крокодила без проводов (или канцелярские зажимы). Оставшиеся два крокодила будем использовать на концах рабочего участка проволоки реохорда, подключив к их клеммам штекеры соединительных проводов.

Собираем эту мостовую схему.

Контакт в точке *A* (сторона крокодила со стороны рабочей части реохорда) оказался на линейке на отметке 20 мм, а контакт в точке *C* (сторона другого крокодила тоже со стороны рабочей части реохорда) на отметке 230 мм. Замыкаем ключ и проводим измерения длин участков проволоки по обе стороны скользящего контакта, когда на миллиамперметре на пределе 6 мА 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:

<i>n</i>	ℓ_{AM} , мм	ℓ_{MC} , мм
1	130	80
2	131	79
3	132	79
4	130	80
5	131	79
$\langle \ell \rangle$	130,8	79,2

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 равна 5 %, значит $\varepsilon_{R_1} = 0,05$.

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

$$\varepsilon_{\ell_{AM}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{AM} \rangle} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{\ell_{MC}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{MC} \rangle},$$

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 (хотя он менее точен):

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

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:

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

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

Результаты расчётов:

$$R_x = R_1 \frac{\langle \ell_{AM} \rangle}{\langle \ell_{MC} \rangle} = 10 \cdot \frac{130,8}{79,2} = 16,52 \text{ Ом};$$

$$\Delta R_x = R_x \sqrt{\varepsilon_{R_1}^2 + \varepsilon_{\ell_{AM}}^2 + \varepsilon_{\ell_{MC}}^2} = R_x \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{AM}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{MC}}\right)^2},$$

$$\text{где } \Delta \ell = \sqrt{\Delta \ell_{\text{приб}}^2 + \Delta \ell_{\text{опер}}^2} = \sqrt{0,5^2 + 1^2} = 1,1 \text{ мм};$$

$$\text{Тогда } \Delta R_x = 16,52 \cdot \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{1,1}{130,8}\right)^2 + \left(\frac{1,1}{79,2}\right)^2} = 0,87 \text{ Ом}.$$

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 ρ – удельное сопротивление проволоки, данные в условии.

$$\ell_x = \frac{16,52 \cdot 3,14 \cdot (0,24 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}} = 43,96 \text{ м};$$

Погрешность длины проволоки считается аналогично:

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

Для штангенциркулей 1-го класса $\Delta d = 0,05$, тогда:

$$\Delta \ell_x = 43,96 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,87}{16,52}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{0,24}\right)^2} = 0,48 \text{ м.}$$

Ответ:

сопротивление проволоки $R_x = 16,52 \pm 0,87$ Ом, её длина $\ell_x = 43,96 \pm 0,48$ м.

(измерение сопротивления с помощью мультиметра: $R_{x \text{ тест}} = 17,0 \pm 0,6$ Ом)

Вариант 30

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 30

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в Таблице 1, нарисуйте и соберите схему для определения сопротивления проволочного резистора мостовым методом. Определите сопротивление проволочного резистора с учётом погрешности, проведя необходимое количество измерений.

Определите длину проволоки, из которой сделан резистор, считая её удельное сопротивление равным $1,1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

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

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Линейка деревянная 25-50 см	1 шт.
Резистор сопротивлением около 10 Ом (или потенциометр, используемый только на максимальном сопротивлении)	2 шт.
Резистор из проволоки диаметром 0,36 мм неизвестного номинала	1 шт.
Константановая проволока диаметром 0,35 мм такой длины, чтобы она была длиннее линейки на 2-4 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	8 шт.
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	4 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 30

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована мостовая схема	6
корректно собрана мостовая схема	8
корректно собран реохорд со скользящим контактом	6
Задание 1.2	
верно уравновешен мост	2
корректно записан закон Ома для участков мостовой схемы	3
получена верная расчётная формула для сопротивления проволочного резистора	5
верно измерены необходимые длины участков реохорда	3
проведено более одного измерения и получено значение сопротивления проволочного резистора	5
верно записана формула для расчёта погрешности сопротивления проволочного резистора	4
верно записан результат измерения сопротивления проволочного резистора с учётом погрешности	3
Задание 1.3	
верно записана формула для определения длины проволоки резистора	4
верно рассчитана длина проволоки резистора	4
верно записана формула для определения погрешности измерения длины проволоки резистора	4
верно записан результат измерения длины проволоки резистора с учётом погрешности	3
Итого	60

За следующие пункты можно добавить по 2 балла при условии, что общая сумма 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.

Возможное решение.

Дано: деревянная линейка 25 см, константановая проволока по длине линейки 28 см, два резистора по 10 Ом $\pm 5\%$, резистор из проволоки диаметром 0,36 мм неизвестной длины, миллиамперметр.

Найти: R_x – сопротивление проволочного резистора, l_x – длину проволоки резистора.

С помощью миллиамперметра можно измерить ток в цепи с имеющимися сопротивлениями, где используется типовой источник питания с известным значением напряжения. Далее используя формулу закона Ома, определяется сопротивление в цепи, в

котором будет сумма внутреннего сопротивления миллиамперметра и сопротивлений соединительных проводов.

Не зная точного значения выходного напряжения источника тока, но считая, что оно не меняется, и считая внутреннее сопротивление миллиамперметра ничтожно малым, можно измерить силу тока I_1 отдельно в цепи с известным сопротивлением R_1 и силу тока I_2 с неизвестным сопротивлением R_x и получить соотношение этих значений, используя закон Ома:

$$U = I_1 R_{\text{эт}} = I_2 R_x, \quad \text{откуда } R_x = \frac{I_1 R_{\text{эт}}}{I_2}.$$

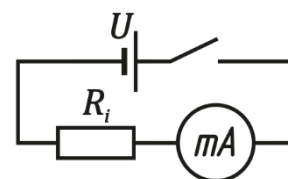
Примечание. В реальности без допущений должно быть так:

$$U = I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{mA}) = I_2 (R_x + R_{\text{пр}} + R_{mA}),$$

$$\text{откуда } R_x = \frac{I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{mA})}{I_2} - R_{\text{пр}} - R_{mA}.$$

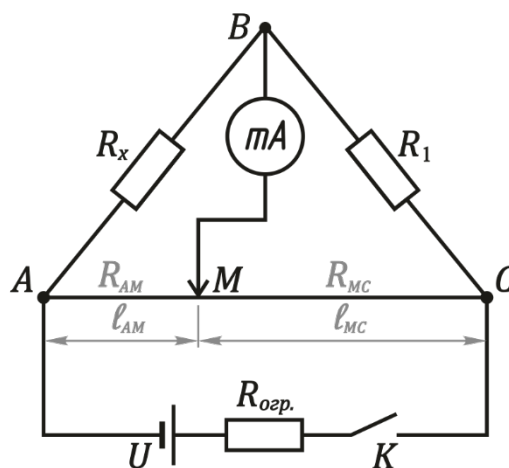
Проверим оценочное значение $R_{x \text{ оцен}}$ с допущением, что сопротивление проводов и миллиамперметра ничтожно мало.

Собираем цепь по схеме на рис. поочередно с R_1 и R_x .



Измерения силы тока проводим на максимальном пределе 60 мА (цена деления 2 мА). Выяснилось, что для всех сопротивлений стрелка миллиамперметра выходит за пределы шкалы, т. е. токи I_1 и I_2 в цепи превышают 60 мА и этот метод не работает.

Тогда надо нарисовать и использовать мостовую схему, которую используют для сравнения неизвестного сопротивления R_x с известным R_1 . Для этого надо собрать цепь (с учётом необходимости токопонижающего резистора $R_{огр}$) из миллиамперметра и трёх имеющихся сопротивлений, где AC – константановая проволока, растянутая вдоль шкалы линейки (реохорд), к которой в произвольной точке M можно прижать наконечник провода.



Сопротивление проволоки (при постоянстве диаметра по всей длине) на участках AM и MC пропорционально их длинам:

$$\frac{R_{AM}}{R_{MC}} = \frac{l_{AM}}{l_{MC}}$$

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, во-первых, токи через проволоку на участках AM и MC будут одинаковы, как и токи на участках AB и BC :

$$I_{AM} = I_{MC} \text{ и } I_{AB} = I_{BC}$$

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 :

$$I_{AB}R_x = I_{AM}R_{AM},$$

а напряжение на участке BC равно напряжению на участке MC :

$$I_{BC}R_1 = I_{MC}R_{MC}.$$

Разделив эти два отношения почленно и подставив равенства выше, получим:

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

Чтобы можно было точно измерять длину проволоки, требуется сделать реохорд – растянуть и закрепить константовую проволоку вдоль шкалы деревянной линейки. Используем для этого два крокодила без проводов (или канцелярские зажимы). Оставшиеся два крокодила будем использовать на концах рабочего участка проволоки реохорда, подключив к их клеммам штекеры соединительных проводов.

Собираем эту мостовую схему.

Контакт в точке A (сторона крокодила со стороны рабочей части реохорда) оказался на линейке на отметке 20 мм, а контакт в точке C (сторона другого крокодила тоже со стороны рабочей части реохорда) на отметке 230 мм. Замыкаем ключ и проводим измерения длин участков проволоки по обе стороны скользящего контакта, когда на миллиамперметре на пределе 6 мА 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	68	142
2	68	142
3	69	141
4	70	140
5	68	142
$\langle \ell \rangle$	68,6	141,4

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 равна 5 %, значит $\varepsilon_{R_1} = 0,05$.

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

$$\varepsilon_{\ell_{AM}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{AM} \rangle} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{\ell_{MC}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{MC} \rangle},$$

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 (хотя он менее точен):

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

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:

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

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

Результаты расчётов:

$$R_x = R_1 \frac{\langle \ell_{AM} \rangle}{\langle \ell_{MC} \rangle} = 10 \cdot \frac{68,6}{141,4} = 4,85 \text{ Ом};$$

$$\Delta R_x = R_x \sqrt{\varepsilon_{R_1}^2 + \varepsilon_{\ell_{AM}}^2 + \varepsilon_{\ell_{MC}}^2} = R_x \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{AM}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{MC}}\right)^2},$$

$$\text{где } \Delta \ell = \sqrt{\Delta \ell_{\text{приб}}^2 + \Delta \ell_{\text{опер}}^2} = \sqrt{0,5^2 + 1^2} = 1,1 \text{ мм};$$

$$\text{Тогда } \Delta R_x = 4,85 \cdot \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{1,1}{68,4}\right)^2 + \left(\frac{1,1}{141,4}\right)^2} = 0,26 \text{ Ом}.$$

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 ρ – удельное сопротивление проволоки, данные в условии.

$$\ell_x = \frac{4,85 \cdot 3,14 \cdot (0,36 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6}} = 0,45 \text{ м};$$

Погрешность длины проволоки считается аналогично:

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

Для штангенциркулей 1-го класса $\Delta d = 0,05$, тогда:

$$\Delta \ell_x = 0,45 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,26}{4,85}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{0,36}\right)^2} = 0,07 \text{ м}.$$

Ответ:

сопротивление проволоки $R_x = 4,85 \pm 0,26$ Ом, её длина $\ell_x = 0,45 \pm 0,07$ м.

(измерение сопротивления с помощью мультиметра: $R_{x \text{ тест}} = 4,8 \pm 0,5$ Ом)

Вариант 31

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 31

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в Таблице 1, нарисуйте и соберите схему для определения сопротивления проволочного резистора мостовым методом. Определите сопротивление проволочного резистора с учётом погрешности, проведя необходимое количество измерений.

Определите длину проволоки, из которой сделан резистор, считая её удельное сопротивление равным $1,1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

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

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Линейка деревянная 25-50 см	1 шт.

Резистор сопротивлением около 10 Ом (или потенциометр, используемый только на максимальном сопротивлении)	2 шт.
Резистор из проволоки диаметром 0,25 мм неизвестного номинала	1 шт.
Константановая проволока диаметром 0,35 мм такой длины, чтобы она была длиннее линейки на 2-4 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	8 шт.
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	4 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 31

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована мостовая схема	6
корректно собрана мостовая схема	8
корректно собран реохорд со скользящим контактом	6
Задание 1.2	
верно уравновешен мост	2
корректно записан закон Ома для участков мостовой схемы	3
получена верная расчётная формула для сопротивления проволочного резистора	5
верно измерены необходимые длины участков реохорда	3
проведено более одного измерения и получено значение сопротивления проволочного резистора	5
верно записана формула для расчёта погрешности сопротивления проволочного резистора	4
верно записан результат измерения сопротивления проволочного резистора с учётом погрешности	3
Задание 1.3	
верно записана формула для определения длины проволоки резистора	4
верно рассчитана длина проволоки резистора	4
верно записана формула для определения погрешности измерения длины проволоки резистора	4
верно записан результат измерения длины проволоки резистора с учётом погрешности	3
Итого	60

За следующие пункты можно добавить по 2 балла при условии, что общая сумма 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.

Возможное решение.

Дано: деревянная линейка 25 см, константановая проволока по длине линейки 28 см, два резистора по 10 Ом $\pm 5\%$, резистор из проволоки диаметром 0,25 мм неизвестной длины, миллиамперметр.

Найти: R_x – сопротивление проволочного резистора, ℓ_x – длину проволоки резистора

С помощью миллиамперметра можно измерить ток в цепи с имеющимися сопротивлениями, где используется типовой источник питания с известным значением напряжения. Далее используя формулу закона Ома, определяется сопротивление в цепи, в котором будет сумма внутреннего сопротивления миллиамперметра и сопротивлений соединительных проводов.

Не зная точного значения выходного напряжения источника тока, но считая, что оно не меняется, и считая внутреннее сопротивление миллиамперметра ничтожно малым, можно измерить силу тока I_1 отдельно в цепи с известным сопротивлением R_1 и силу тока I_2 с неизвестным сопротивлением R_x и получить соотношение этих значений, используя закон Ома:

$$U = I_1 R_{\text{эт}} = I_2 R_x, \quad \text{откуда } R_x = \frac{I_1 R_{\text{эт}}}{I_2}.$$

Примечание. В реальности без допущений должно быть так:

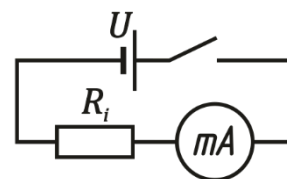
$$U = I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}}) = I_2 (R_x + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}}),$$

$$\text{откуда } R_x = \frac{I_1 (R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{mA}})}{I_2} - R_{\text{пр}} - R_{\text{mA}}.$$

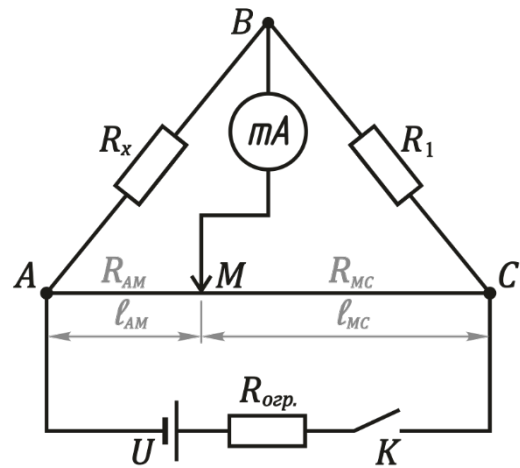
Проверим оценочное значение $R_{x \text{ оцен}}$ с допущением, что сопротивление проводов и миллиамперметра ничтожно мало.

Собираем цепь по схеме на рис. поочередно с R_1 и R_x .

Измерения силы тока проводим на максимальном пределе 60 мА (цена деления 2 мА). Выяснилось, что для всех сопротивлений стрелка миллиамперметра выходит за пределы шкалы, т. е. токи I_1 и I_2 в цепи превышают 60 мА и этот метод не работает.



Тогда надо нарисовать и использовать мостовую схему, которую используют для сравнения неизвестного сопротивления R_x с известным R_1 . Для этого надо собрать цепь (с учётом необходимости токопонижающего резистора $R_{огр}$) из миллиамперметра и трёх имеющихся сопротивлений, где AC – константановая проволока, растянутая вдоль шкалы линейки (реохорд), к которой в произвольной точке M можно прижать наконечник провода.



Сопротивление проволоки (при постоянстве диаметра по всей длине) на участках AM и MC пропорционально их длинам:

$$\frac{R_{AM}}{R_{MC}} = \frac{l_{AM}}{l_{MC}}$$

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, во-первых, токи через проволоку на участках AM и MC будут одинаковы, как и токи на участках AB и BC :

$$I_{AM} = I_{MC} \text{ и } I_{AB} = I_{BC}$$

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 :

$$I_{AB}R_x = I_{AM}R_{AM},$$

а напряжение на участке BC равно напряжению на участке MC :

$$I_{BC}R_1 = I_{MC}R_{MC}.$$

Разделив эти два отношения почленно и подставив равенства выше, получим:

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

Чтобы можно было точно измерять длину проволоки, требуется сделать реохорд – растянуть и закрепить константановую проволоку вдоль шкалы деревянной линейки. Используем для этого два крокодила без проводов (или канцелярские зажимы). Оставшиеся два крокодила будем использовать на концах рабочего участка проволоки реохорда, подключив к их клеммам штекеры соединительных проводов.

Собираем эту мостовую схему.

Контакт в точке A (сторона крокодила со стороны рабочей части реохорда) оказался на линейке на отметке 20 мм, а контакт в точке C (сторона другого крокодила тоже со стороны рабочей части реохорда) на отметке 230 мм. Замыкаем ключ и проводим измерения длин участков проволоки по обе стороны скользящего контакта, когда на

миллиамперметре на пределе 6 мА 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	103	107
2	102	108
3	102	108
4	103	107
5	102	108
$\langle \ell \rangle$	102,4	107,6

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 равна 5 %, значит $\varepsilon_{R_1} = 0,05$.

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

$$\varepsilon_{\ell_{AM}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{AM} \rangle} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{\ell_{MC}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{MC} \rangle},$$

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 (хотя он менее точен):

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

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:

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

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

Результаты расчётов:

$$R_x = R_1 \frac{\langle \ell_{AM} \rangle}{\langle \ell_{MC} \rangle} = 10 \cdot \frac{102,4}{107,6} = 9,52 \text{ Ом};$$

$$\Delta R_x = R_x \sqrt{\varepsilon_{R_1}^2 + \varepsilon_{\ell_{AM}}^2 + \varepsilon_{\ell_{MC}}^2} = R_x \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{AM}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{MC}}\right)^2},$$

$$\text{где } \Delta \ell = \sqrt{\Delta \ell_{\text{приб}}^2 + \Delta \ell_{\text{опер}}^2} = \sqrt{0,5^2 + 1^2} = 1,1 \text{ мм};$$

$$\text{Тогда } \Delta R_x = 9,52 \cdot \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{1,1}{102,4}\right)^2 + \left(\frac{1,1}{107,6}\right)^2} = 0,50 \text{ Ом}.$$

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 ρ – удельное сопротивление проволоки, данные в условии.

$$\ell_x = \frac{9,52 \cdot 3,14 \cdot (0,25 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6}} = 0,42 \text{ м};$$

Погрешность длины проволоки считается аналогично:

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

Для штангенциркулей 1-го класса $\Delta d = 0,05$, тогда:

$$\Delta \ell_x = 0,42 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,5}{9,52}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{0,25}\right)^2} = 0,09 \text{ м}.$$

Ответ:

сопротивление проволоки $R_x = 9,52 \pm 0,50 \text{ Ом}$, её длина $\ell_x = 0,42 \pm 0,09 \text{ м}$.

(измерение сопротивления с помощью мультиметра: $R_{x \text{ тест}} = 9,6 \pm 0,6 \text{ Ом}$)

Вариант 32

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 32

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в Таблице 1, нарисуйте и соберите схему для определения сопротивления холодной нити накаливания лампочки мостовым методом. Определите сопротивление нити накаливания лампочки с учётом погрешности, проведя необходимое количество измерений.

Определите длину вольфрамовой проволоки, из которой сделана спираль нити накаливания, считая её диаметр равным $0,015 \text{ мм} \pm 3\%$ мм, а удельное сопротивление вольфрама при нормальных условиях равным $55 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

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

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Линейка деревянная 25-50 см	1 шт.
Резистор сопротивлением около 10 Ом (или потенциометр, используемый только на максимальном сопротивлении)	2 шт.
Лампочка накаливания от фонарика в держателе (номинал 3,5 В, 0,3 А)	1 шт.
Константановая проволока диаметром 0,35 мм такой длины, чтобы она была длиннее линейки на 2-4 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	8 шт.
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	4 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 32

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована мостовая схема	6
корректно собрана мостовая схема	8
корректно собран реохорд со скользящим контактом	6
Задание 1.2	
верно уравновешен мост	2
корректно записан закон Ома для участков мостовой схемы	3
получена верная расчётная формула для сопротивления нити накаливания лампочки	5
верно измерены необходимые длины участков реохорда	3

проведено более одного измерения и получено значение сопротивления нити накаливания лампочки	5
верно записана формула для расчёта погрешности сопротивления нити накаливания лампочки	4
верно записан результат измерения сопротивления нити накаливания лампочки с учётом погрешности	3
Задание 1.3	
верно записана формула для определения длины вольфрамовой проволоки спирали нити накаливания	4
верно рассчитана длина вольфрамовой проволоки спирали нити накаливания	4
верно записана формула для определения погрешности измерения длины вольфрамовой проволоки	4
верно записан результат измерения длины вольфрамовой проволоки спирали нити накаливания с учётом погрешности	3
Итого	60

За следующие пункты можно добавить по 2 балла при условии, что общая сумма 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.

Возможное решение.

Дано: деревянная линейка 25 см, константановая проволока по длине линейки 28 см, два резистора по $10 \text{ Ом} \pm 5 \%$, лампочка накаливания от фонарика в держателе, миллиамперметр.

Найти: R_x – сопротивление нити накаливания лампочки, ℓ_x – длину нити накаливания этой лампочки.

С помощью миллиамперметра можно измерить ток в цепи с имеющимися сопротивлениями, где используется типовой источник питания с известным значением напряжения. Далее используя формулу закона Ома, определяется сопротивление в цепи, в котором будет сумма внутреннего сопротивления миллиамперметра и сопротивлений соединительных проводов.

Не зная точного значения выходного напряжения источника тока, но считая, что оно не меняется, и считая внутреннее сопротивление миллиамперметра ничтожно малым, можно измерить силу тока I_1 отдельно в цепи с известным сопротивлением R_1 и силу тока I_2 с неизвестным сопротивлением R_x и получить соотношение этих значений, используя закон Ома:

$$U = I_1 R_{\text{эт}} = I_2 R_x, \quad \text{откуда} \quad R_x = \frac{I_1 R_{\text{эт}}}{I_2}.$$

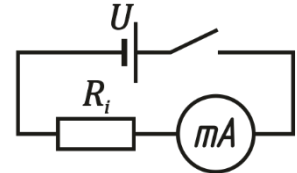
Примечание. В реальности без допущений должно быть так:

$$U = I_1(R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{mA}) = I_2(R_x + R_{\text{пр}} + R_{mA}),$$

$$\text{откуда } R_x = \frac{I_1(R_{\text{эт}} + R_{\text{пр}} + R_{mA})}{I_2} - R_{\text{пр}} - R_{mA}.$$

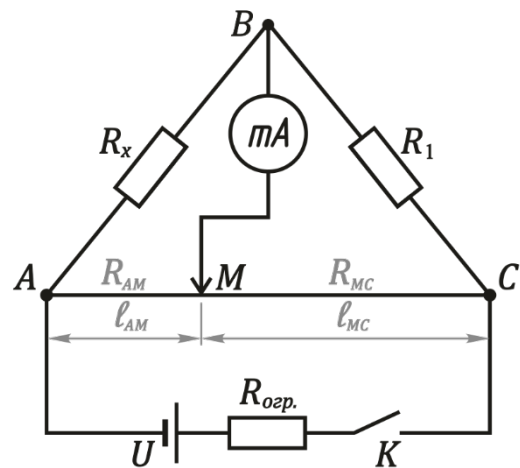
Проверим оценочное значение $R_{x \text{ оцен}}$ с допущением, что сопротивление проводов и миллиамперметра ничтожно мало.

Собираем цепь по схеме на рис. поочерёдно с R_1 и R_x .



Измерения силы тока проводим на максимальном пределе 60 мА (цена деления 2 мА). Выяснилось, что для всех сопротивлений стрелка миллиамперметра выходит за пределы шкалы, т. е. токи I_1 и I_2 в цепи превышают 60 мА и этот метод не работает.

Тогда надо нарисовать и использовать мостовую схему, которую используют для сравнения неизвестного сопротивления R_x с известным R_1 . Для этого надо собрать цепь (с учётом необходимости токопонижающего резистора $R_{огр}$) из миллиамперметра и трёх имеющихся сопротивлений, где AC – константановая проволока, растянутая вдоль шкалы линейки (реохорд), к которой в произвольной точке M можно прижать наконечник провода.



Сопротивление проволоки (при постоянстве диаметра по всей длине) на участках AM и MC пропорционально их длинам:

$$\frac{R_{AM}}{R_{MC}} = \frac{\ell_{AM}}{\ell_{MC}}$$

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, во-первых, токи через проволоку на участках AM и MC будут одинаковы, как и токи на участках AB и BC :

$$I_{AM} = I_{MC} \text{ и } I_{AB} = I_{BC}$$

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 :

$$I_{AB}R_x = I_{AM}R_{AM},$$

а напряжение на участке BC равно напряжению на участке MC :

$$I_{BC}R_1 = I_{MC}R_{MC}.$$

Разделив эти два отношения почленно и подставив равенства выше, получим:

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

Чтобы можно было точно измерять длину проволоки, требуется сделать реохорд – растянуть и закрепить константановую проволоку вдоль шкалы деревянной линейки. Используем для этого два крокодила без проводов (или канцелярские зажимы). Оставшиеся два крокодила будем использовать на концах рабочего участка проволоки реохорда, подключив к их клеммам штекеры соединительных проводов.

Собираем эту мостовую схему.

Контакт в точке *A* (сторона крокодила со стороны рабочей части реохорда) оказался на линейке на отметке 20 мм, а контакт в точке *C* (сторона другого крокодила тоже со стороны рабочей части реохорда) на отметке 230 мм. Замыкаем ключ и проводим измерения длин участков проволоки по обе стороны скользящего контакта, когда на миллиамперметре на пределе 6 мА 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:

<i>n</i>	ℓ_{AM} , мм	ℓ_{MC} , мм
1	24	186
2	24	186
3	23	187
4	24	186
5	23	187
$\langle \ell \rangle$	23,6	186,4

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 равна 5 %, значит $\varepsilon_{R_1} = 0,05$.

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

$$\varepsilon_{\ell_{AM}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{AM} \rangle} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{\ell_{MC}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{MC} \rangle},$$

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 (хотя он менее точен):

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

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:

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

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

Результаты расчётов:

$$R_x = R_1 \frac{\langle \ell_{AM} \rangle}{\langle \ell_{MC} \rangle} = 10 \cdot \frac{23,6}{186,4} = 1,27 \text{ Ом};$$

$$\Delta R_x = R_x \sqrt{\varepsilon_{R_1}^2 + \varepsilon_{\ell_{AM}}^2 + \varepsilon_{\ell_{MC}}^2} = R_x \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{AM}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_{MC}}\right)^2},$$

$$\text{где } \Delta \ell = \sqrt{\Delta \ell_{\text{приб}}^2 + \Delta \ell_{\text{опер}}^2} = \sqrt{0,5^2 + 1^2} = 1,1 \text{ мм};$$

$$\text{Тогда } \Delta R_x = 1,27 \cdot \sqrt{0,05^2 + \left(\frac{1,1}{23,6}\right)^2 + \left(\frac{1,1}{186,4}\right)^2} = 0,09 \text{ Ом}.$$

Для вычисления длины нити накаливания ℓ_x воспользуемся формулой:

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

где d – диаметр нити, а ρ – удельное сопротивление вольфрама, данные в условии.

$$\ell_x = \frac{1,27 \cdot 3,14 \cdot (0,015 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 55 \cdot 10^{-9}} = 0,0041 \text{ м}; \quad (4,1 \text{ мм} - \text{на вид так и есть})$$

Погрешность длины нити накаливания считается аналогично:

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

Для штангенциркулей 1-го класса $\Delta d = 0,05$, тогда:

$$\Delta \ell_x = 0,0041 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,09}{1,27}\right)^2 + 0,03^2} = 0,0003 \text{ м.}$$

Ответ: сопротивление нити накаливания лампочки $R_x = 1,27 \pm 0,09 \text{ Ом}$, а её длина $\ell_x = (4,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

(измерение сопротивления с помощью мультиметра: $R_{x \text{ тест}} = 1,7 \pm 0,5 \text{ Ом}$)

Вариант 33

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 33

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в Таблице 1, соберите схему для работы лампы при её номинальном напряжении (так как цена деления вольтметра 0,2 В, устанавливаем значение напряжения 3,6 В). Придумайте способ подключения миллиамперметра, чтобы измерить силу тока в собранной цепи, учтите, что при последовательном подключении миллиамперметра в цепь он будет зашкаливать.

По измеренным значениям силы тока и напряжения определите величину сопротивления светящейся лампы при её номинальном напряжении и запишите ответ с учётом погрешности.

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Школьный вольтметр (два предела 3 В и 6 В)	1 шт.
Переменный резистор 10 Ом	1 шт.
Лампочка накаливания от фонарика в держателе (номинал 3,5 В, 0,3 А)	1 шт.
Проволока из константана диаметром 0,35 мм и длиной 5-7 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	9 + 1 запасной
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	2 шт.
Проволочный резистор (5-6 Ом или 10-12 Ом) с указанным значением сопротивления (<i>необходимо указать сопротивление на резисторах, оно не обозначено</i>) и погрешности, равной $\pm 5 \%$	1 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 33

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована электрическая схема для определения сопротивления нити накаливания лампы	6
корректно собрана электрическая схема для определения сопротивления нити накаливания лампы	8
верно изображён на схеме шунт к амперметру	6
Задание 1.2	
верно установлено номинальное напряжение на лампе	2
обоснована необходимость использования шунта к амперметру	3
корректно записан закон Ома для участков цепи	3
получена верная формула для коэффициента пропорциональности между силой тока в цепи и силой тока через амперметр	5
корректно изготовлен и подключён шунт к амперметру, верно подобрана длина константановой проволоки	4
верно получена формула для расчёта сопротивления лампы накаливания	4
проведено более одного измерения силы тока и напряжения в цепи	4
Задание 1.3	
вместо лампы подключён проволочный резистор с указанным значением сопротивления	3
верно измерены необходимые значения величин и рассчитана сила тока в цепи в этом случае	3
верно определён коэффициент пропорциональности между силой тока в цепи и силой тока, проходящего через миллиамперметр	3
верно рассчитана погрешность для измерения сопротивления лампы	3
верно рассчитано значение сопротивления лампы и записан результат с учётом погрешности	3
Итого	60

Возможное решение.

Дано: переменный резистор 10 Ом; лампа накаливания с номинальным напряжением 3,5 В; кусок константановой проволоки длиной около 5 см; проволочный резистор сопротивлением $4,7 \text{ Ом} \pm 5 \%$ вольтметр и миллиамперметр двухпредельный (6 мА и 60 мА).

Найти: R_{λ} – сопротивление нити накаливания светящейся лампы при её номинальном напряжении.

1. Для получения на лампе номинального напряжения 3,5 В собирается схема (см. рис. 1), где переменный резистор 10 Ом используется для понижения напряжения на лампе до номинального, что контролируется с помощью вольтметра (так как цена деления вольтметра 0,2 В, устанавливаем резистором значение напряжения 3,6 В).

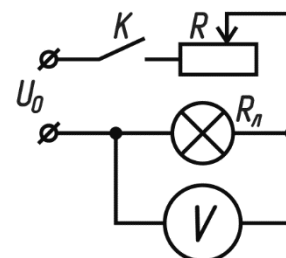


Рисунок 1

2. Так как сила тока в цепи превышает диапазон измерения миллиамперметра, то параллельно ему (на его клеммы) следует подключить шунтирующее сопротивление так, чтобы разделить ток между ним и миллиамперметром (см. рис. 2). Используя правила Кирхгофа, можно получить выражение для коэффициента пропорциональности между силой тока в цепи I_1 и силой тока I_{mA_1} , проходящего через миллиамперметр

$$n = \frac{I_1}{I_{mA_1}}.$$

Для узла B можно записать:

$$I_1 = I_{mA_1} + I_{ш}, \quad (1)$$

а для контура, состоящего из миллиамперметра и шунтирующего сопротивления:

$$U_{mA} - U_{ш} = 0,$$

откуда следует, что

$$I_{mA_1} \cdot R_{mA} = I_{ш} \cdot R_{ш}. \quad (2)$$

Выразив $I_{ш}$ из (1) и подставив его в (2), после преобразований получим:

$$n = \frac{R_{mA}}{R_{ш}} + 1. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что подбирая сопротивление шунта меньше сопротивления миллиамперметра, мы можем увеличить диапазон измерений получившегося прибора в n раз, причём, чем меньше $R_{ш}$, тем больше n .

В качестве шунтирующего сопротивления используется кусок константановой проволоки, к которой подключаются через зажимы-крокодилы. Выбирается такой её рабочий отрезок между крокодилами (4...8 мм), чтобы стрелка миллиамперметра установилась примерно на середине шкалы. Далее размер этого отрезка меняться не должен. Записываем показания вольтметра U_1 и миллиамперметра I_{mA_1} .

3. Чтобы определить коэффициент пропорциональности между силой тока в цепи I_1 и силой тока I_{mA_1} , проходящего через миллиамперметр $n = I_1/I_{mA_1}$ вместо лампы следует подключить проволочный резистор с указанным значением сопротивления $R_{эТ}$. В этом случае также записываем показания вольтметра U_2 и миллиамперметра I_{mA_2} . Так как сила тока в цепи может быть рассчитана по формуле: $I_2 = U_2/R_{эТ}$, а коэффициент пропорциональности по формуле:

$$n = \frac{I_2}{I_{mA_2}} = \frac{U_2}{R_{эТ} \cdot I_{mA_2}},$$

для сопротивления лампы получим:

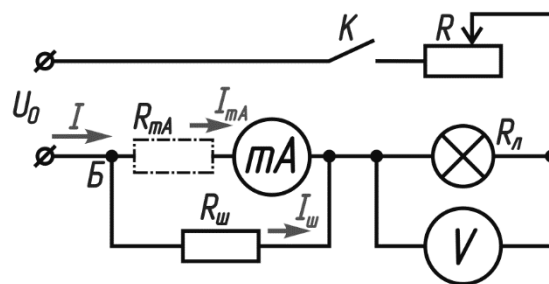


Рисунок 2

$$R_{л} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_1}{n \cdot I_{mA_1}} = \frac{U_1 \cdot R_{эТ} \cdot I_{mA_2}}{U_2 \cdot I_{mA_1}} \quad (4)$$

Расчёт погрешности измерения $R_{л}$ проводится по формуле:

$$\Delta R_{л} = R_{л} \sqrt{\varepsilon_{U_1}^2 + \varepsilon_{U_2}^2 + \varepsilon_{I_{mA_1}}^2 + \varepsilon_{I_{mA_2}}^2 + \varepsilon_{R_{эТ}}^2}. \quad (5)$$

Здесь $\varepsilon_{R_{эТ}}$ – относительная погрешность значения сопротивления проволочного резистора, указанная на нём;

ε_{U_1} , ε_{U_2} , $\varepsilon_{I_{mA_1}}$ и $\varepsilon_{I_{mA_2}}$ – относительные погрешности измерения напряжений U_1 и U_2 и сил тока I_{mA_1} и I_{mA_2} соответственно, их можно посчитать по формулам:

$$\varepsilon_{U_1} = \frac{\Delta U_1}{U_1}; \quad \varepsilon_{U_2} = \frac{\Delta U_2}{U_2}; \quad \varepsilon_{I_{mA_1}} = \frac{\Delta I_{mA_1}}{I_{mA_1}} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{I_{mA_2}} = \frac{\Delta I_{mA_2}}{I_{mA_2}},$$

где абсолютные погрешности измерения ΔU_1 , ΔU_2 , ΔI_{mA_1} , и ΔI_{mA_2} равны цене деления приборов.

У авторов получилось:

$$U_1 = 3,6 \text{ В};$$

$$I_{mA_1} = 32 \text{ мА};$$

$$U_2 = 2,3 \text{ В};$$

$$I_{mA_2} = 50 \text{ мА};$$

Подставляем эти значения в формулу (4), где $R_{эТ} = 4,7 \text{ Ом} \pm 5\%$:

$$R_{л} = \frac{3,6 \cdot 4,7 \cdot 0,050}{2,3 \cdot 0,032} = 11,5 \text{ Ом}.$$

$$\Delta R_{л} = 11,5 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,2}{3,6}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{2,3}\right)^2 + \left(\frac{2}{32}\right)^2 + \left(\frac{2}{50}\right)^2 + 0,05^2} = 1,2 \text{ Ом}.$$

Ответ: сопротивление нити накаливания светящейся лампочки при её номинальном напряжении $R_{л} = 11,5 \pm 1,2 \text{ Ом}$.

Примечание: сравнительно большое значение погрешности измерения сопротивления лампы связано, как видно из расчёта по формуле (5), с погрешностью значения сопротивления проволочного резистора и с тем, что при увеличении с помощью шунта диапазона измерений прибора, мы во столько же раз увеличиваем его погрешность измерения.

Зато теперь вы легко догадаетесь, если не сделали этого раньше, что происходит при переключении стрелочного амперметра с одного предела на другой.

Сопротивление нити накаливания не светящейся лампочки, измеренное мультиметром: $1,7 \pm 0,5 \text{ Ом}$

Вариант 34

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 34

При подготовке к турниру по экспериментальной физике авторы задач случайно обнаружили, что часть закупленных лампочек накаливания не соответствует их номиналу «3,5 В; 0,3 А», который указан на цоколях и рассчитана на меньшую силу тока при том же напряжении. Вам выдано две лампочки, одна из которых точно соответствует номиналу, а про вторую не известно.

Используя предложенное измерительное оборудование, представленное в таблице 1, определите двумя разными способами, есть ли в этой паре «неправильная» лампочка.

Для сравнения характеристик лампочек соберите мостовую схему с очень слабыми токами, при которых лампочки не светятся. Определите, во сколько раз с учётом погрешности отличаются измеряемые характеристики лампочек, проведя необходимое количество измерений.

Определите, как отличаются мощности лампочек. Соберите электрическую схему для сравнения яркости лампочек при одинаковых напряжениях.

Сделайте обоснованный вывод: является ли одна из лампочек «неправильной».

ВАЖНО: 1) два переменных резистора 10 Ом для мостовой схемы необходимо подключить последовательно к любой из клемм источника тока в качестве токопонижающего сопротивления и запитывать схему от источника через него; 2) для второй схемы оба этих резистора следует использовать для изменения напряжения в цепи.

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Линейка деревянная 25-50 см	1 шт.
Переменный резистор 10 Ом	2 шт.
Внешне одинаковые лампочки накаливания для фонарика в держателях	2 шт.
Нихромовая проволока диаметром 0,35 мм такой длины, чтобы она была длиннее линейки на 2-4 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	8 шт.
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	4 шт.
Монтажная панель	1 шт.
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 34

Критерий	Баллы
----------	-------

Задание 1.1	
корректно нарисована мостовая схема	6
корректно собрана мостовая схема	8
корректно собран реохорд со скользящим контактом	6
Задание 1.2	
верно уравновешен мост	2
корректно записан закон Ома для участков мостовой схемы	3
верно измерены необходимые длины участков реохорда	4
верно сделан вывод о наличии или отсутствии бракованной лампочки	3
проведено более одного измерения и определено, как отличаются измеряемые характеристики лампочек	5
верно записана формула для расчёта погрешности характеристик лампочки	5
верно записан результат характеристик лампочки с учётом погрешности	3
Задание 1.3	
верно собрана электрическая схема для сравнения мощности лампочек	4
верно подобрано напряжение для сравнения яркости горения ламп	4
верно сделан вывод о соотношении сопротивлений лампочек	4
верно сделан вывод по двум экспериментам о наличии или отсутствии бракованной лампочки.	3
Итого	60

За следующие пункты можно добавить по 2 балла при условии, что общая сумма 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.

Возможное решение.

Дано: деревянная линейка 30 см, нихромовая проволока по длине линейки 34 см, два резистора по $10 \text{ Ом} \pm 5 \%$, две лампочки накаливания, миллиамперметр.

Определить, есть ли среди выданных ламп «неправильная».

Так как «неправильная» лампа рассчитана на меньшую силу тока при том же напряжении, ее сопротивление должно быть существенно больше, чем сопротивление «правильной» лампы. Сравнить их сопротивления можно с помощью мостовой схемы.

Для этого надо собрать схему, представленную на рисунке 1, из источника тока, ключа, двух токопонижающих резисторов $R_{огр}$, миллиамперметра, двух лампочек и нихромовой проволоки, растянутой вдоль шкалы линейки (реохорда), к которой в произвольной точке M можно прижать наконечник провода.

Сопротивление проволоки (при постоянстве диаметра по всей длине) на участках AM и MC пропорционально их длинам:

$$\frac{R_{AM}}{R_{MC}} = \frac{\ell_{AM}}{\ell_{MC}}$$

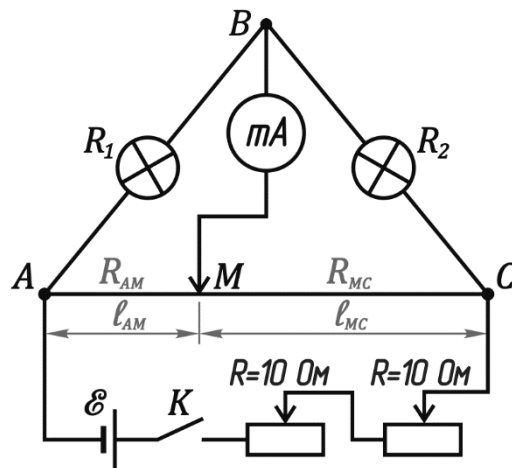


Рисунок 1

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, во-первых, токи через проволоку на участках AM и MC будут одинаковы, как и токи на участках AB и BC :

$$I_{AM} = I_{MC} \text{ и } I_{AB} = I_{BC}$$

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 :

$$I_{AB}R_1 = I_{AM}R_{AM},$$

а напряжение на участке BC равно напряжению на участке MC :

$$I_{BC}R_2 = I_{MC}R_{MC}.$$

Разделив эти два отношения почленно и подставив равенства выше, получим:

$$\frac{I_{AB}R_1}{I_{BC}R_2} = \frac{I_{AM}R_{AM}}{I_{MC}R_{MC}} \rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{AM}}{R_{MC}}, \text{ откуда } k = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\ell_{AM}}{\ell_{MC}}.$$

Чтобы можно было точно измерять длину проволоки, требуется сделать реохорд – растянуть и закрепить нихромовую проволоку вдоль шкалы деревянной линейки. Используем для этого два крокодила без проводов (или канцелярские зажимы). Оставшиеся два крокодила будем использовать на концах рабочего участка проволоки реохорда, подключив к их клеммам штекеры соединительных проводов.

Собираем эту мостовую схему.

Контакт в точке A (сторона крокодила со стороны рабочей части реохорда) оказался на линейке 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 на пределе 6 мА 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	160	100
3	160	100
4	161	99
5	159	101
$\langle \ell \rangle$	160,2	99,8

Расчёт погрешности измерения k проводится по формуле

$$\Delta k = k \sqrt{\varepsilon_{\ell_{AM}}^2 + \varepsilon_{\ell_{MC}}^2}$$

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

$$\varepsilon_{\ell_{AM}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{AM} \rangle} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{\ell_{MC}} = \frac{\Delta \ell}{\langle \ell_{MC} \rangle},$$

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 (хотя он менее точен):

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

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:

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

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

Результаты расчётов:

$$k = \frac{\langle \ell_{AM} \rangle}{\langle \ell_{MC} \rangle} = \frac{160,2}{99,8} = 1,61;$$

$$\Delta \ell_{AM} = \sqrt{\Delta \ell_{\text{приб}}^2 + \Delta \ell_{\text{опер}}^2 + (2\sigma_{\langle \ell \rangle})^2} = \sqrt{0,5^2 + 1^2 + 1,5^2} = 1,9 \text{ мм};$$

$$\Delta \ell_{MC} = \sqrt{\Delta \ell_{\text{приб}}^2 + \Delta \ell_{\text{опер}}^2 + (2\sigma_{\langle \ell \rangle})^2} = \sqrt{0,5^2 + 1^2 + 1,5^2} = 1,9 \text{ мм};$$

$$\Delta k = 1,61 \cdot \sqrt{\left(\frac{1,9}{160,2}\right)^2 + \left(\frac{1,9}{99,8}\right)^2} = 0,04$$

Второй способ предполагает сборку схемы, изображённой на рисунке 2. Перед включением сделайте сопротивления обоих переменных резисторов максимальными. После замыкания цепи, постепенно уменьшайте сопротивление переменных резисторов и наблюдайте за яркостью лампочек, которые будут постепенно разгораться с повышением напряжения и силы тока. Если в паре есть одна «неправильная», чьё сопротивление оказалось выше, то и в нагретом состоянии сопротивление её нити будет больше, чем сопротивление нити «правильной» лампочки. При тусклом свечении лампочек можно будет заметить, что яркость «неправильной» лампочки заметно меньше яркости правильной, т.к. при одинаковых напряжениях сила тока через неё меньше.

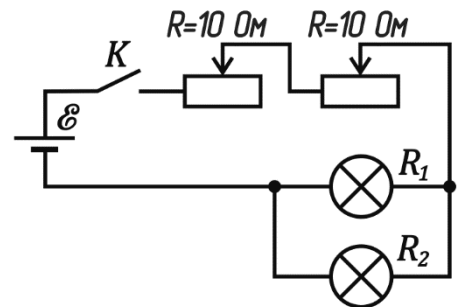


Рисунок 2

Вариант 35

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 35

Известно, что внутреннее сопротивление амперметра должно быть как можно меньше, в идеале стремиться к нулю, чтобы не вносить существенных изменений в измеряемую цепь. Миллиамперметр, будучи прибором, измеряющим меньшие токи, имеет, как правило, несколько большее внутреннее сопротивление, чем амперметр, но оно также должно быть минимальным для минимизации влияния на цепь.

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в таблице 1, придумайте способ подключения миллиамперметра в собранную с использованием всех комплектующих цепь, такой, чтобы сила тока через него не превышала диапазон измерений ни на одном из пределов, и чтобы можно было определить соотношение внутренних сопротивлений прибора.

Определите, во сколько раз изменяется внутреннее сопротивление миллиамперметра при его переключении с предела 60 мА на предел 6 мА с учётом погрешности, проведя необходимое количество измерений.

Определите сопротивление шунта к амперметру. Учтите, что удельное сопротивление константана равно $0,5 \frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$.

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Школьный вольтметр (два предела 3 В и 6 В)	1 шт.
Линейка деревянная 25-50 см	1 шт.
Переменный резистор 10 Ом	2 шт.
Резистор из проволоки диаметром 0,36 мм неизвестного номинала	1 шт.
Проволока из константана диаметром 0,35 мм и длиной 5-7 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	9 шт.
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	4 шт.
Проволочный резистор (5-6 Ом или 10-12 Ом) с указанным значением сопротивления (<i>необходимо указать сопротивление на резисторах, оно не обозначено</i>) и погрешности, равной $\pm 5\%$	1 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 35

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована необходимая электрическая схема	6
корректно собрана электрическая схема для определения отношения внутренних сопротивлений миллиамперметра на разных пределах	8
верно изображён на схеме шунт к амперметру	6
Задание 1.2	
верно подобрано сопротивление потенциометра для каждого предела миллиамперметра	2
обоснована необходимость использования шунта к амперметру	3
корректно записан закон Ома для участков цепи	3
получена верная формула для определения отношения внутренних сопротивлений миллиамперметра на разных пределах	5
корректно изготовлен и подключён шунт к амперметру, верно подобрана длина константановой проволоки	4
проведено более одного измерения силы тока и напряжения в цепи	4
верно рассчитано отношение внутренних сопротивлений миллиамперметра и записан результат с учётом погрешности	4
Задание 1.3	
верно измерена используемая длина константановой проволоки	3
проведено более одного измерения	3
верно записана формула для определения сопротивления шунта	3
верно рассчитана погрешность для определения сопротивления шунта	3

верно рассчитано значение сопротивления шунта и записан результат с учётом погрешности	3
Итого	60

Возможное решение.

Дано: два переменных резистора 10 Ом (на значениях близком к максимальному в качестве токоограничивающих) и проволочный резистор с указанным на нём сопротивлением; кусок константановой проволоки длиной около 5 см с удельным сопротивлением 0,5 мкОм·м (или открытый участок проволочного резистора); вольтметр и миллиамперметр двухпредельный (6 мА и 60 мА).

Найти: $k = R_{6mA} / R_{60mA}$.

Так как сила тока в цепи даже с двумя последовательно соединёнными токоограничивающими сопротивлениями по 10 Ом превышает диапазон измерения миллиамперметра, то параллельно ему (на его клеммы) следует подключить шунтирующее сопротивление, так, чтобы разделить ток между ним и миллиамперметром (см. рис. 1). Используя правила Кирхгофа, можно получить выражение для коэффициента пропорциональности между силой тока в цепи I и силой тока I_{mA} , проходящего через миллиамперметр:

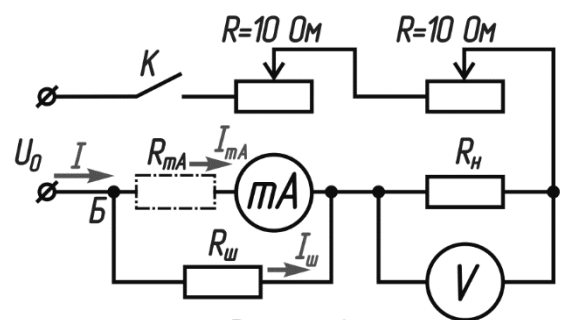


Рисунок 1

$$n = \frac{I}{I_{mA}}$$

Для узла B можно записать:

$$I = I_{mA} + I_{ш}, \tag{1}$$

а для контура, состоящего из миллиамперметра и шунтирующего сопротивления:

$$U_{mA} - U_{ш} = 0,$$

откуда следует, что

$$I_{mA} \cdot R_{mA} = I_{ш} \cdot R_{ш}. \tag{2}$$

Выразив $I_{ш}$ из (1) и подставив его в (2), после преобразований получим:

$$n = \frac{R_{mA}}{R_{ш}} + 1. \tag{3}$$

Из формулы (3) видно, что, подбирая сопротивление шунта меньше сопротивления миллиамперметра, можно увеличить диапазон измерений получившегося прибора в n раз, причём, чем меньше $R_{ш}$, тем больше n .

В качестве шунтирующего сопротивления используется кусок константановой проволоки или участок проволоки проволочного резистора, к которому подключаются, используя зажимы-крокодилы. Выбирается такой рабочий отрезок между крокодилами, чтобы стрелка миллиамперметра на пределе 6 мА установилась близко к максимуму шкалы (удобно добиться её примерной установки на нужном значении, регулируя длину участка проволоки, а потом немного

увеличить силу тока в цепи, уменьшив сопротивление одного из токоограничивающих резисторов). В процессе выбора длины отрезка сила тока через миллиамперметр может превышать верхнюю границу его диапазона измерений, поэтому будьте готовы быстро разомкнуть цепь, если прибор зашкалит. Во время работы необходимо следить за тем, чтобы выбранная длина участка проволоки не изменялась в процессе всех измерений (зажимы-крокодилы не должны шевелиться при переключении диапазонов миллиамперметра).

4. Чтобы определить коэффициент пропорциональности n между силой тока в цепи и силой тока, проходящего через миллиамперметр, подключите вольтметр параллельно номинальному сопротивлению и запишите его показания U_H . Рассчитайте силу тока в цепи по закону Ома:

$$I = \frac{U_H}{R_H}. \quad (4)$$

Расчёт погрешности измерения n проводится по формуле:

$$\Delta n = n \cdot \sqrt{\varepsilon_{U_H}^2 + \varepsilon_{I_{mA}}^2 + \varepsilon_{R_H}^2}. \quad (5)$$

Здесь ε_{R_H} – относительная погрешность значения сопротивления номинального проволочного резистора, указанная на нём;

ε_{U_H} и $\varepsilon_{I_{mA}}$ – относительные погрешности измерения напряжения U_H и силы тока I_{mA} соответственно, их можно рассчитать по формулам:

$$\varepsilon_{U_H} = \frac{\Delta U_H}{U_H} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{I_{mA}} = \frac{\Delta I_{mA}}{I_{mA}}, \quad (6)$$

где абсолютные погрешности измерения ΔU_H , и ΔI_{mA} равны половине цены деления приборов.

5. Запишем уравнения (1) и (2) для каждого из пределов миллиамперметра, тогда после преобразований получим:

$$k = \frac{R_{6mA}}{R_{60mA}} = \frac{I_{60mA} \cdot (I_6 - I_{6mA})}{I_{6mA} \cdot (I_{60} - I_{60mA})}. \quad (7)$$

Так как сопротивление участка цепи, содержащего миллиамперметр с шунтом, заметно меньше, чем сопротивление последовательно соединённых токоограничивающих и номинального сопротивлений, небольшое его изменение, вызванное переключением предела миллиамперметра, показания имеющегося у нас вольтметра практически не изменит. Значит не изменится и рассчитываемое по формуле (4) значение общей силы тока в цепи, поэтому в формуле (7) $I_6 = I_{60} = I$:

$$k = \frac{R_{6mA}}{R_{60mA}} = \frac{I_{60mA} \cdot (I - I_{6mA})}{I_{6mA} \cdot (I - I_{60mA})}. \quad (8)$$

При выведении формулы для погрешности k учтём, что $\Delta I \gg \Delta I_{60mA}$ и $\Delta I \gg \Delta I_{6mA}$, поэтому можно использовать формулу:

$$\Delta k = k \cdot \sqrt{\varepsilon_{U_H}^2 + \varepsilon_{R_H}^2 + \varepsilon_{I_{60mA}}^2 + \varepsilon_{I_{6mA}}^2}. \quad (9)$$

У авторов получилось:

$$I_{6mA} = (4,8 \pm 0,1) \text{ мА};$$

$$n_6 = 33 \pm 4$$

$$I_{60mA} = (22 \pm 1) \text{ мА};$$

$$n_{60} = 7,3 \pm 0,8$$

$$U_H = (1,50 \pm 0,05) \text{ В};$$

$$k = 5,2 \pm 0,6$$

$$R_H = 9,4 \text{ Ом} \pm 10\%$$

Вариант 36

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 36

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в таблице 1, соберите схему для работы электродвигателя, чтобы подобрать для него рабочее напряжение холостого хода (то есть без нагрузки на валу). Подберите такое напряжение для работы электродвигателя, когда он работает ровно, без рывков и без надрыва и громкого завывания, а стрелки измерительных приборов не дрожат или колеблются с минимальной амплитудой. Это значение напряжения считайте рабочим напряжением холостого хода, запишите его в решении и не меняйте его значение в течение всей работы.

Придумайте способ подключения миллиамперметра, чтобы измерить силу тока в собранной цепи; учтите, что сила тока в этой цепи превышает предел миллиамперметра.

По измеренным значениям силы тока и напряжения определите величину сопротивления обмоток работающего без нагрузки электродвигателя при номинальном напряжении.

ВАЖНО: используйте в работе одновременно два переменных резистора, соединённых последовательно, для улучшения плавности регулировки.

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный миллиамперметр с нулём посередине шкалы (два предела 6 мА и 60 мА)	1 шт.
Школьный вольтметр (два предела 3 В и 6 В)	1 шт.
Переменный резистор 10 Ом	1 шт.
Электродвигатель постоянного тока с номинальным напряжением 3,5 В	1 шт.
Проволока из константана диаметром 0,35 мм и длиной 4-6 см	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	9 + 1 запасной
Зажим типа «крокодил» с клеммами для штекеров соединительных проводов (два таких зажима можно заменить парой канцелярских зажимов)	2 шт.
Проволочный резистор (5-6 Ом или 10-12 Ом) с указанным значением сопротивления (<i>необходимо указать сопротивление на резисторах, оно не обозначено</i>) и погрешности, равной $\pm 5\%$	1 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 36

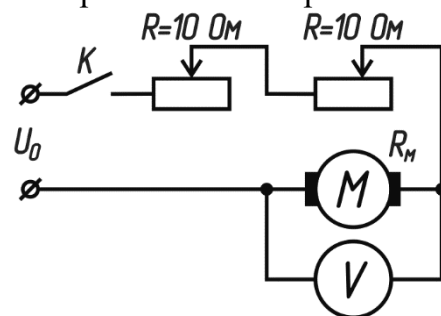
Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована электрическая схема для работы электродвигателя при его номинальном напряжении	6
корректно собрана электрическая схема для работы электродвигателя при его номинальном напряжении	8
верно изображён на схеме шунт к амперметру	6
Задание 1.2	
верно установлено номинальное напряжение на электродвигателе	2
обоснована необходимость использования шунта к амперметру	3
верно рассчитан коэффициент пропорциональности между силой тока в цепи и показаниями миллиамперметра.	3
получена верная формула для определения сопротивления обмоток ротора электродвигателя на холостом ходу	4
корректно изготовлен и подключён шунт к амперметру, верно подобрана длина константановой проволоки	4
верно выбран режим работы электродвигателя для измерения силы тока и напряжения (режим заклинивания)	5
проведено более одного измерения силы тока и напряжения в цепи	4
Задание 1.3	
верно записана формула для расчёта погрешностей измерения сопротивления обмоток ротора электродвигателя на холостом ходу	5
верно рассчитана погрешность для измерения сопротивления обмоток электродвигателя	5
верно рассчитано значение сопротивления обмоток ротора электродвигателя на холостом ходу и записан результат с учётом погрешности	5
Итого	60

Возможное решение.

Дано: два переменных резистора 10 Ом и проволочный резистор с указанным на нём сопротивлением $R_n = 9,4$ Ом (измерен заранее с помощью вольтметра и амперметра); кусок константановой проволоки длиной около 5 см с удельным сопротивлением $0,5$ мкОм·м (или второй проволочный резистор); вольтметр двухпредельный (3 В и 6 В) и миллиамперметр двухпредельный (6 мА и 60 мА); электродвигатель.

Найти: R_{xx}

1. Схема для работы электродвигателя и выбора для него рабочего напряжения представлена на рис. 1. Перед выполнением эксперимента подберите опытным путём рабочее напряжение для своего электродвигателя: меняя сопротивление переменных резисторов, выберите такое напряжение на двигателе, при котором он работает ровно, без рывков и надрыва, а дрожание стрелок амперметра и вольтметра имеет минимальную амплитуду. Это значение напряжения считайте рабочим напряжением на холостом ходу U_{xx} , запишите его в решении и не меняйте его значение в течение всей работы. Для измерения силы тока в этой схеме предстоит использовать миллиамперметр.



2. Так как сила тока в цепи даже с двумя последовательно соединёнными токоограничивающими сопротивлениями по 10 Ом превышает диапазон измерения миллиамперметра, то параллельно ему (на его клеммы) следует подключить шунтирующее сопротивление, так, чтобы разделить ток между ним и миллиамперметром (см. рис. 2). Используя правила Кирхгофа, можно получить выражение для коэффициента пропорциональности между силой тока в цепи I и силой тока I_{mA} , проходящего через миллиамперметр

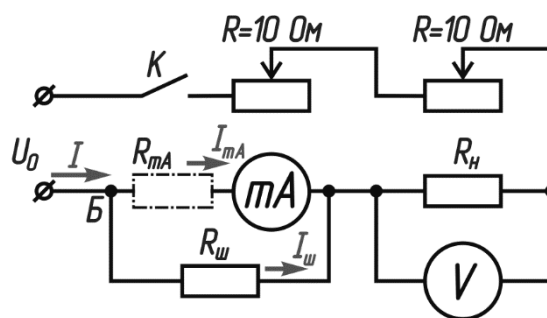


Рисунок 2

$$n = \frac{I}{I_{mA}}.$$

Для узла B можно записать:

$$I = I_{mA} + I_{ш}, \quad (1)$$

а для контура, состоящего из миллиамперметра и шунтирующего сопротивления:

$$U_{mA} - U_{ш} = 0,$$

откуда следует, что

$$I_{mA} \cdot R_{mA} = I_{ш} \cdot R_{ш}. \quad (2)$$

Выразив $I_{ш}$ из (1) и подставив его в (2), после преобразований получим:

$$n = \frac{R_{mA}}{R_{ш}} + 1. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что, подбирая сопротивление шунта меньше сопротивления миллиамперметра, мы можем увеличить диапазон измерений получившегося прибора в n раз, причём, чем меньше $R_{ш}$, тем больше n .

В качестве шунтирующего сопротивления используется кусок константановой проволоки, к которому подключаются через зажимы-крокодилы. Выбирается такой рабочий отрезок между крокодилами, чтобы стрелка миллиамперметра на пределе 60 мА установилась примерно на середине шкалы (удобно добиться её примерной установки на нужном значении, регулируя длину участка проволоки, а потом немного увеличить силу тока в цепи, уменьшив сопротивление одного из потенциометров). В процессе выбора длины отрезка сила тока через миллиамперметр может превышать верхнюю границу его диапазона измерений, поэтому будьте готовы быстро разомкнуть цепь, если прибор зашкалит. Также следите за тем, чтобы выбранная подходящая длина участка проволоки не изменялась в процессе измерений.

3. Чтобы определить коэффициент пропорциональности n между силой тока в цепи и силой тока, проходящего через миллиамперметр, вместо электродвигателя подключается проволочный резистор с известным номинальным сопротивлением. Соберите схему с зашунтированным миллиамперметром (на рис. 2) и показание вольтметра, подключённого параллельно к номинальному сопротивлению, запишите как U_H , а показания мультиметра как I_{mA} . Силу тока можно рассчитать по закону Ома:

$$I = \frac{U_H}{R_H} \quad (4)$$

Тогда коэффициент пропорциональности n можно рассчитать по формуле:

$$n = \frac{I}{I_{mA}} = \frac{U_H}{R_H I_{mA}}. \quad (5)$$

Расчёт погрешности измерения n проводится по формуле:

$$\Delta n = n \cdot \sqrt{\varepsilon_{U_H}^2 + \varepsilon_{I_{mA}}^2 + \varepsilon_{R_H}^2}. \quad (6)$$

Здесь ε_{R_H} — относительная погрешность значения сопротивления номинального проволочного резистора, указанная на нём;

ε_{U_H} и $\varepsilon_{I_{mA}}$ — относительные погрешности измерения напряжения U_H и силы тока I_{mA} соответственно, их можно рассчитать по формулам:

$$\varepsilon_{U_H} = \frac{\Delta U_H}{U_H} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{I_{mA}} = \frac{\Delta I_{mA}}{I_{mA}}, \quad (7)$$

где абсолютные погрешности измерения ΔU_H , и ΔI_{mA} равны половине цены деления приборов.

4. Далее меняем в схеме проволочный резистор на электромотор. И на рабочем напряжении холостого хода U_{xx} за зашунтированным миллиамперметре измеряется ток холостого хода I_{xx} . Сопротивление обмоток электродвигателя на холостом ходу рассчитывается по закону Ома с учётом коэффициента пропорциональности:

$$R_{xx} = \frac{U_{xx}}{n I_{xx}}. \quad (8)$$

Погрешность сопротивления рассчитывается по формуле:

$$\Delta R_{xx} = R_{xx} \cdot \sqrt{\varepsilon_{U_{xx}}^2 + \varepsilon_{I_{xx}}^2 + \varepsilon_n^2}, \quad (9)$$

где $\varepsilon_{U_{xx}}$, $\varepsilon_{I_{xx}}$ и ε_n — относительные погрешности измерения напряжения U_{xx} , силы тока I_{xx} и n соответственно, их можно рассчитать по формулам:

$$\varepsilon_{U_{xx}} = \frac{\Delta U_{xx}}{U_{xx}}; \quad \varepsilon_{I_{xx}} = \frac{\Delta I_{xx}}{I_{xx}}; \quad \varepsilon_n = \frac{\Delta n}{n}, \quad (10)$$

где абсолютные погрешности измерения ΔU_{xx} , и ΔI_{xx} равны половине цены деления приборов.

У авторов получились следующие результаты:

$$R_H = 9,4 \text{ Ом} \pm 10\%; \quad U_H = (1,80 \pm 0,05) \text{ В}; \quad I_{mA} = (30 \pm 1) \text{ мА};$$

$$n = 6,4 \pm 0,7; \quad U_{xx} = (2,50 \pm 0,05) \text{ В}; \quad I_{xx} = (30 \pm 1) \text{ мА}; \quad R_{xx} = (13,0 \pm 1,5) \text{ Ом}.$$

Вариант 37

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 37

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в таблице 1, соберите схему для работы электродвигателя при его номинальном напряжении. Номинальное напряжение следует установить экспериментальным путем, для этого подключите его через потенциометр к источнику постоянного тока и изменяя напряжение от минимума до максимума выберите такое напряжение, когда мотор работает ровно, без рывков и надрыва. Это значение напряжения считайте номинальным, запишите его в решении и не меняйте его значение в течение всей работы.

Определите механическую мощность электродвигателя на холостом ходу.

Найдите длину проволоки одной обмотки, зная, что обмотки электродвигателя изготовлены из медной проволоки диаметром $(0,28 \pm 0,02)$ мм. Удельное сопротивление меди равно $0,0175 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов**.

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный амперметр (два предела 0,6 А и 3 А)	1 шт.
Школьный вольтметр (два предела 3 В и 6 В)	1 шт.
Переменный резистор 10 Ом	2 шт.
Электродвигатель постоянного тока	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	7 шт. + 1 запасной
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 37

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована электрическая схема для работы электродвигателя при его номинальном напряжении	6
корректно собрана электрическая схема для работы электродвигателя при его номинальном напряжении	6
верно выбраны режимы работы электродвигателя (при номинальной мощности на холостом ходу и режим заклинивания)	8
Задание 1.2	
записана верная формула для определения механической мощности электродвигателя на холостом ходу	5
верно записан закон Ома для определения сопротивления обмотки электродвигателя	2
проведено более одного измерения силы тока и напряжения на холостом ходу электродвигателя	4

проведено более одного измерения силы тока и напряжения в режиме заклинивания электродвигателя	5
верно записана формула для определения погрешности измерения механической мощности электродвигателя на холостом ходу	5
верно рассчитана и записана с учётом погрешности механическая мощность электродвигателя на холостом ходу	4
Задание 1.3	
верно записана формула для расчёта длины проволоки одной обмотки ротора электродвигателя	5
верно записана формула для погрешности расчёта длины проволоки одной обмотки ротора электродвигателя	5
верно рассчитано значение длины проволоки одной обмотки ротора электродвигателя и записано с учётом погрешности	5
Итого	60

Возможное решение.

Дано: переменный резистор 10 Ом (в качестве токоограничивающего), электродвигатель постоянного тока; вольтметр и амперметр.

Найти: P_{xx} ; ℓ .

Соберите схему, представленную на рисунке 1. Перед выполнением эксперимента подберите опытным путём рабочее напряжение для своего электродвигателя: меняя сопротивление переменного резистора, выберите такое напряжение на двигателе, при котором он работает ровно, без рывков и надрыва, а дрожание стрелок амперметра и вольтметра имеет минимальную амплитуду. Это значение напряжения считайте рабочим напряжением на холостом ходу U_{xx} , запишите его в решении и не меняйте его значение в течение всей работы.

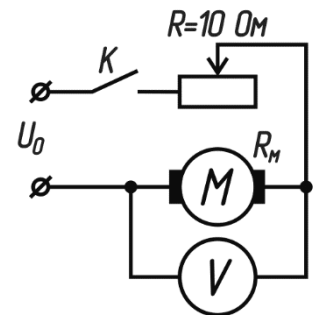


Рисунок 1

Мощность холостого хода электродвигателя определяется по формуле:

$$P_{xx} = U_{xx} I_{xx}. \quad (1)$$

Сопротивление рассчитывается по закону Ома:

$$R_{xx} = \frac{U_{xx}}{I_{xx}} \quad (2)$$

Погрешности мощности и сопротивления рассчитываются по формулам:

$$\Delta P_{xx} = P_{xx} \cdot \sqrt{\varepsilon_{U_{xx}}^2 + \varepsilon_{I_{xx}}^2}; \quad \Delta R_{xx} = R_{xx} \cdot \sqrt{\varepsilon_{U_{xx}}^2 + \varepsilon_{I_{xx}}^2}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{U_{xx}}$ и $\varepsilon_{I_{xx}}$ – относительные погрешности измерения напряжения U_{xx} и силы тока I_{xx} соответственно, их можно рассчитать по формулам:

$$\varepsilon_{U_{xx}} = \frac{\Delta U_{xx}}{U_{xx}} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{I_{xx}} = \frac{\Delta I_{xx}}{I_{xx}}, \quad (4)$$

где абсолютные погрешности измерения ΔU_{xx} , и ΔI_{xx} равны половине цены деления приборов.

Остановите пальцем вращение вала двигателя. Запишите показания вольтметра и амперметра ($U_{\text{ост}}$ и $I_{\text{ост}}$). Аналогично рассчитайте мощность и сопротивление при полной остановке:

$$P_{\text{ост}} = U_{\text{ост}} I_{\text{ост}}; \quad R_{\text{ост}} = \frac{U_{\text{ост}}}{I_{\text{ост}}}$$

Погрешности $P_{\text{ост}}$ и $R_{\text{ост}}$ рассчитываются аналогично погрешностям P_{xx} и R_{xx} .

На холостом ходу в сопротивлении обмоток двигателя имелась реактивная составляющая, связанная с явлением электромагнитной индукции, вызванной вращением катушки с током в магнитном поле. При полной остановке сопротивление мотора — это только активное сопротивление одной из его обмоток ротора, подключённой к щёткам в момент остановки. А мощность $P_{\text{ост}}$ — это мощность тепловыделения на ней.

Как следует из пункта 2,

$$R_{\text{ост}} = \frac{\rho \cdot \ell}{S},$$

где ℓ — длина медной проволоки, из которой изготовлена катушка; S — площадь её поперечного сечения, а ρ — удельное сопротивление меди.

Отсюда:

$$\ell = \frac{R_{\text{ост}} S}{\rho} = \frac{U_{\text{ост}} \pi d^2}{4 \rho I_{\text{ост}}},$$

d — данный в условии диаметр проволоки.

Погрешность длины проволоки можно рассчитать по формуле:

$$\Delta \ell = \ell \cdot \sqrt{\varepsilon_{U_{\text{ост}}}^2 + \varepsilon_{I_{\text{ост}}}^2 + \varepsilon_d^2},$$

где $\varepsilon_{U_{\text{ост}}}$, $\varepsilon_{I_{\text{ост}}}$, ε_d — относительные погрешности, которые рассчитываются по формулам:

$$\varepsilon_{U_{\text{ост}}} = \frac{\Delta U_{\text{ост}}}{U_{\text{ост}}}; \quad \varepsilon_{I_{\text{ост}}} = \frac{\Delta I_{\text{ост}}}{I_{\text{ост}}}; \quad \varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d}.$$

$\Delta U_{\text{ост}}$ и $\Delta I_{\text{ост}}$ можно считать равными половине цены деления прибора.

У авторов получились следующие результаты:

$$U_{\text{xx}} = (2,50 \pm 0,05) \text{ В}; \quad I_{\text{xx}} = (0,16 \pm 0,01) \text{ А};$$

$$U_{\text{ост}} = (0,20 \pm 0,05) \text{ В}; \quad I_{\text{ост}} = (0,28 \pm 0,01) \text{ А};$$

$$P_{\text{xx}} = (0,40 \pm 0,03) \text{ Вт}; \quad R_{\text{xx}} = (15,6 \pm 1,0) \text{ Ом};$$

$$P_{\text{ост}} = (0,056 \pm 0,014) \text{ Вт}; \quad R_{\text{ост}} = (0,71 \pm 0,18) \text{ Ом}; \quad \ell = (2,5 \pm 0,7) \text{ м}.$$

Вариант 38

Формулировка задания.

Кейс №1. Вариант 38

Используя предложенные измерительные приборы и материалы, представленные в таблице 1, соберите схему для работы электродвигателя при его номинальном напряжении. Номинальное напряжение следует установить экспериментальным путем, для этого подключите его через потенциометр к источнику постоянного тока и изменяя напряжение от минимума до максимума выберите такое напряжение, когда мотор работает ровно, без рывков и надрыва. Это значение напряжения считайте номинальным, запишите его в решении и не меняйте его значение в течение всей работы.

Определите механическую мощность электродвигателя на холостом ходу.

Придумайте и соберите схему для включения лампы накаливания так, чтобы яркость её свечения зависела от механической нагрузки на валу двигателя, а падение напряжения на двигателе осталось номинальным.

ВАЖНО: используйте в работе одновременно два переменных резистора, соединённых последовательно, для улучшения плавности регулировки.

Максимально возможный балл за выполнение работы – **60 баллов.**

Таблица 1

Наименование	Количество
Школьный амперметр (два предела 0,6 А и 3 А)	1 шт.
Школьный вольтметр (два предела 3 В и 6 В)	1 шт.
Переменный резистор 10 Ом	2 шт.
Электродвигатель постоянного тока	1 шт.
Источник тока на 5 В	1 шт.
Ключ	1 шт.
Соединительные провода со штекерами типа «банан»	11 шт. + 1 запасной
Лампа накаливания для фонарика в держателе с номинальным напряжением 3,5 В	1 шт.
Монтажная панель	1 шт.

Критерии оценивания Кейса №1.

Кейс №1. Вариант 38

Критерий	Баллы
Задание 1.1	
корректно нарисована электрическая схема для регулировки напряжения холостого хода и работы электродвигателя	6
корректно собрана электрическая схема для регулировки напряжения холостого хода и работы электродвигателя	6
верно выбраны режимы работы электродвигателя (для определения мощности на холостом ходу)	8

Задание 1.2	
записана верная формула для определения механической мощности электродвигателя на холостом ходу	6
верно записан закон Ома для определения сопротивления обмотки электродвигателя	3
проведено более одного измерения силы тока и напряжения на холостом ходу электродвигателя	5
верно записана формула для определения погрешности измерения механической мощности электродвигателя на холостом ходу	6
верно рассчитана и записана с учётом погрешности механическая мощность электродвигателя на холостом ходу	5
Задание 1.3	
верно нарисована электрическая схема для включения лампы накаливания в цепь электродвигателя	5
верно собрана электрическая схема для включения лампы накаливания в цепь электродвигателя	5
Продемонстрирована зависимость яркости свечения лампы накаливания от механической нагрузки (которая создается пальцем при затормаживании электродвигателя) на валу двигателя.	5
Итого	60

Возможное решение.

Дано: два переменных резистора 10 Ом, подключённых последовательно (в качестве токоограничивающего), электродвигатель постоянного тока; вольтметр и амперметр.

Найти: P_{xx} .

Соберите схему, представленную на рисунке 1. Перед выполнением эксперимента подберите опытным путём рабочее напряжение для своего электродвигателя: меняя сопротивление переменного резистора, выберите такое напряжение на двигателе, при котором он работает ровно, без рывков и надрыва, а дрожание стрелок амперметра и вольтметра имеет минимальную амплитуду. Это значение напряжения считайте рабочим напряжением на холостом ходу U_{xx} , запишите его в решении и не меняйте его значение в течение всей работы.

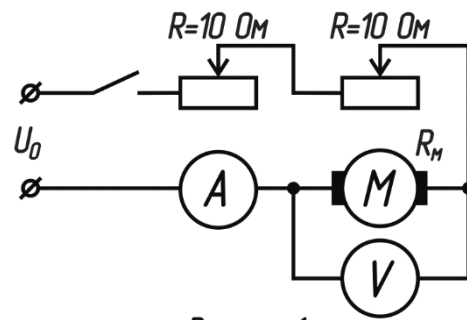


Рисунок 1

Мощность холостого хода электродвигателя определяется по формуле:

$$P_{xx} = U_{xx} I_{xx}. \quad (1)$$

Сопротивление рассчитывается по закону Ома:

$$R_{xx} = \frac{U_{xx}}{I_{xx}} \quad (2)$$

Погрешности мощности и сопротивления рассчитываются по формулам:

$$\Delta P_{xx} = P_{xx} \cdot \sqrt{\varepsilon_{U_{xx}}^2 + \varepsilon_{I_{xx}}^2}; \quad \Delta R_{xx} = R_{xx} \cdot \sqrt{\varepsilon_{U_{xx}}^2 + \varepsilon_{I_{xx}}^2}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{U_{xx}}$ и $\varepsilon_{I_{xx}}$ — относительные погрешности измерения напряжения U_{xx} и силы тока I_{xx} соответственно, их можно рассчитать по формулам:

$$\varepsilon_{U_{xx}} = \frac{\Delta U_{xx}}{U_{xx}} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{I_{xx}} = \frac{\Delta I_{xx}}{I_{xx}}, \quad (4)$$

где абсолютные погрешности измерения ΔU_{xx} , и ΔI_{xx} равны половине цены деления приборов.

Схема для включения лампы накаливания так, чтобы яркость её свечения зависела от механической нагрузки на валу двигателя представлена на рис. 2 — это их последовательное подключение в цепи. В цепи должен работать переменный резистор для установки на двигателе выбранного напряжения оборотов холостого хода, следовательно, необходим вольтметр для измерения падения напряжения на электродвигателе. В схеме можно использовать амперметр для измерения тока в цепи, если это необходимо. Если зажимать вал пальцами, создавая на нём нагрузку, то сопротивление обмоток ротора мотора уменьшится за счёт уменьшения реактивной составляющей и напряжение на двигателе будет падать, а на лампе оно увеличится. При этом чем медленнее вращается заторможенный вручную вал, тем ярче будет гореть лампочка, выполняя функцию сигнальной. Если она перегорит, то и двигатель остановится. Если нельзя допустить остановки двигателя от перегоревшей лампы, то параллельно лампе можно подключить второй переменный резистор из имеющихся (рис. 3). Тогда на холостом ходу величина его сопротивления подбирается такой, чтобы лампа была как можно тусклее.

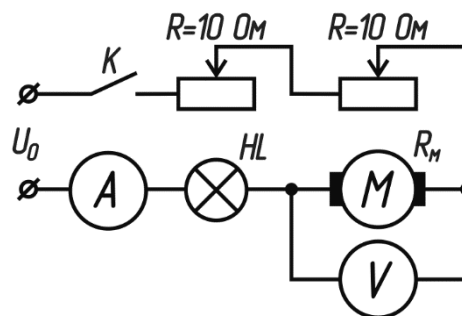


Рисунок 2

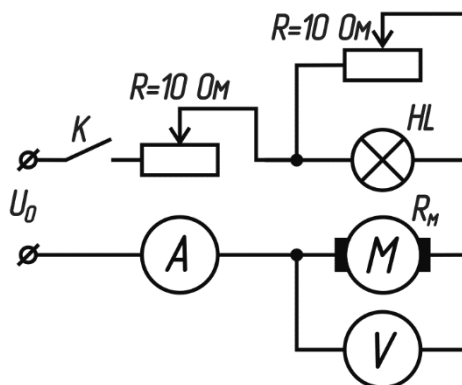


Рисунок 3