

Всероссийская олимпиада школьников по физике 2023-2024 уч. год.
Муниципальный этап. Калужская область
10 класс.

Решения задач и критерии оценки

Задание 5 разработано доцентом кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского М.С. Красиным.

1. Беговая дорожка 10. Возможное решение

1. Введем обозначения: R - радиус окружности, v - скорость, приобретенная за время движения по диаметру. Путь, пройденный на прямолинейном этапе равен $2R$. С учетом, что начальная скорость равно нулю, выразим ускорение на прямолинейном участке a_1 из формул равноускоренного движения:

$$v = a_1 t_1, \quad (1)$$

$$2R = \frac{a_1 t_1^2}{2}. \quad (2)$$

Здесь t_1 – время движения по диаметру, но можно сразу использовать формулу «путь без времени»

$$a_1 = \frac{v^2}{2 \cdot 2R} = \frac{v^2}{4R}. \quad (3)$$

При движении по дуге окружности центростремительное ускорение спортсмена

$$a_2 = \frac{v^2}{R}. \quad (4)$$

Отношение ускорений

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{1}{4}.$$

2. Время движения по диаметру АВ можно найти из уравнений (1) - (2), решая их относительно t_1 :

$$t_1 = \frac{4R}{v}. \quad (5)$$

Путь спортсмена при движении по дуге от точки В в точку А равен половине длины окружности πR . Время движения на пути ВА

$$t_2 = \frac{\pi R}{v}. \quad (6)$$

Искомое отношение $\frac{t_1}{t_2} = \frac{4}{\pi}$.

1. Беговая дорожка 10. Рекомендуемые критерии оценивания

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи (10 баллов), складывается из оценок за каждую из частей задачи. Если учащийся определяет и (или) указывает в качестве ответа отношения величин, обратные тем, что указаны в заданиях (например, отношение ускорения на криволинейном участке к ускорению на прямолинейном), но из решения видно правильное понимание им описанной в задаче ситуации, то оценка не снижается.

1. За решение **первой части** задачи (определение отношения ускорений на прямолинейном и криволинейном участках) **максимальная оценка составляет 5 баллов**. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае –соотношения (1) , (2), (3), (4) или эквивалентные им)записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления,получен верный числовой ответ –**5 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях –**4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла**;

- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеются физические ошибки, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) – **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

2. За решение части задачи (определение отношения времен движения на прямолинейном и криволинейном участках) **максимальная оценка составляет 5 баллов**. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – соотношения (1)-(3), (6) или эквивалентные им) записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ – **5 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях – **4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла**;

- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеются физические ошибки, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) – **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

2. Нагреватель 10. Возможное решение

1. Из графика на рисунке видно, что во время третьей минуты нагреватель работал с постоянной мощностью $P = 100$ Вт, выделив за это время ($\Delta\tau_1 = 1$ мин = 60 с) количество теплоты

$$Q_1 = P\Delta\tau_1. \quad (1)$$

Это тепло пошло на нагревание воды и калориметра от температуры $t_1 = 30$ °С до искомой температуры t_2

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1) + C(t_2 - t_1). \quad (2)$$

Приравнявая (1) и (2), получаем

$$P\Delta\tau = (cm + C)(t_2 - t_1) \quad (3)$$
$$t_2 = t_1 + \frac{P\Delta\tau_1}{cm + C}.$$

Вычисления:

$$t_2 = 30 + \frac{100 \cdot 60}{4200 \cdot 0,2 + 160} = 36 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

2. Под мощностью в данном случае подразумевается количество теплоты, выделяемое нагревателем за единицу времени, то есть как скорость передачи тепла. Используя аналогию со скоростью при неравномерном движении, можно прийти к пониманию, что количество теплоты, выделившееся за все время работы $\Delta\tau = 5$ мин = 300 с равно площади под графиком (трапеция):

$$Q = \frac{\Delta\tau_1 + \Delta\tau}{2} P. \quad (4)$$

Это количество теплоты расходуется на нагрев системы (вода и калориметр)

$$Q = (cm + C)\Delta t. \quad (5)$$

Приравнивая (4) и (5), получаем

$$\frac{\Delta\tau_1 + \Delta\tau}{2} P = (cm + C)\Delta t. (6)$$
$$\Delta t = \frac{(\Delta\tau_1 + \Delta\tau)P}{2(cm + C)}.$$

Вычисления:

$$\Delta t = \frac{(60 + 300) \cdot 100}{2 \cdot (4200 \cdot 0,2 + 160)} = 18 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

2. Нагреватель 10. Рекомендуемые критерии оценивания

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи – 10 баллов, складывается из оценок за каждую из частей задачи. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

1. За решение **первой части** задачи (определение температуры к концу третьей минуты при работе нагревателя с постоянной мощностью) **максимальная оценка составляет 5 баллов**. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – соотношения (1) - (3) или эквивалентные им) записаны верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из графика, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **5 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из графиков, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях или вычисления не завершены – **4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из графиков, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла**;

- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеются физические ошибки, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) – **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

2. За решение **второй части задачи** (определение изменения температуры за все время работы нагревателя) **максимальная оценка составляет 5 баллов**. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: правильно интерпретирована и использована информация, полученная из графика (в данном случае учтено, что мощность была не постоянна, использован физический смысл площади под графиком как количества теплоты, выделенного нагревателем (4), либо другим путем получено эквивалентное ему соотношение), соотношения, отражающие физические законы и закономерности (5)-(6) записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **5 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из графика, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях или вычисления не завершены – **4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из графиков, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла**;

- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеются физические ошибки, поэтому из них невозможно найти правильное решение –2 балла;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)- 1 балл;

- нет попыток решения – 0 баллов.

3. Проволочный каркас 10. Возможное решение

Обозначим длины сторон $|AB| = a, |BC| = b$, а сопротивления отрезков проволоки, равных длине сторон соответственно R_a и R_b . Сопротивление проводника пропорционально его длине. Так как каркас однородный, то удельное сопротивление проволоки ρ и площадь ее поперечного сечения S одинаковы, поэтому

$$R_a = \rho \frac{a}{S}, \quad R_b = \rho \frac{b}{S}. \quad (1)$$

Сопротивление, измеренное между точками А и В (параллельно соединяются два участка: сторона АВ и сумма трех остальных сторон, то есть R_a и $R_b + R_a + R_b = 2R_b + R_a$):

$$R_1 = \frac{R_a(2R_b + R_a)}{2(R_a + R_b)}. \quad (2)$$

Сопротивление, измеренное между точками В и С (параллельное соединение R_b и суммы сопротивлений $R_a + R_b + R_a = 2R_a + R_b$):

$$R_2 = \frac{R_b(2R_a + R_b)}{2(R_a + R_b)}. \quad (3)$$

Отношение сопротивлений

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_b(2R_a + R_b)}{R_a(2R_b + R_a)}$$

С учетом (1)

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{b(2a + b)}{a(2b + a)}.$$

По условию это отношение равно 1,6.

$$\frac{b(2a + b)}{a(2b + a)} = 1,6;$$

$$2ab + b^2 = 1,6(2ab + a^2);$$

$$b^2 - 1,2ab - 1,6a^2 = 0.$$

Обозначив отношение сторон $x = b/a$, получим квадратное уравнение

$$x^2 - 1,2x - 1,6 = 0.$$

Физический смысл имеет его положительный корень $x = 2$.

Следовательно, сторона ВС длиннее стороны АВ в 2 раза.

2. Сопротивление, измеренное между точками А и С (параллельно соединяются два участка, сопротивления каждого из которых $R_a + R_b$):

$$R_3 = \frac{R_a + R_b}{2}. \quad (4)$$

Отношение сопротивлений

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{(R_a + R_b)^2}{R_a(2R_b + R_a)}.$$

С учетом (1)

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{(a + b)^2}{a(2b + a)}.$$

Поскольку $b = 2a$

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{(a + 2a)^2}{a(4 + a)} = \frac{9}{5} = 1,8.$$

3. Проволочный каркас 10. Рекомендуемые критерии оценивания

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи– 10 баллов, складывается из оценок за каждую из частей задачи. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

1. За решение первой части задачи (определить отношение сторон) максимальная оценка составляет 5 баллов. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности, геометрию проводника (в данном случае – связь сопротивления с длиной проводника (1), выражения для измеренных сопротивлений для каждого случая соотношения (2) - (3) или эквивалентные им) записаны или учтены верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ– **5 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях–**4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла**;

- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеются физические ошибки, поэтому из них невозможно найти правильное решение –**2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)- **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

2. За решение второй части задачи (определение отношения сопротивлений) максимальная оценка составляет 5 баллов. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности, геометрию проводника (в данном случае – связь сопротивления с длиной проводника (1), выражения для измеренных сопротивлений для каждого случая соотношения (2), (4) или эквивалентные им) записаны или учтены верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ– **5 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях–**4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **3 балла**;

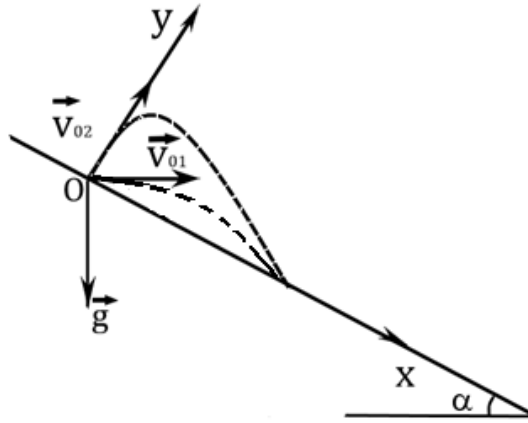
- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеются физические ошибки, поэтому из них невозможно найти правильное решение –**2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)- **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

4. Бросок на склоне 10. Возможное решение

1. Выберем систему отсчета, связанную с поверхностью холма. Введем систему координат с началом в точке бросания О. Ось Х направим вдоль поверхности холма, ось У перпендикулярно ей (см. рисунок).



Уравнения движения в координатной форме в проекциях на ось Y для первого и второго камня:

$$y_1 = (v_0 \sin \alpha)t - \frac{(g \cos \alpha)t^2}{2}; \quad (1)$$

$$y_2 = v_0 t - \frac{(g \cos \alpha)t^2}{2}. \quad (2)$$

Когда камни упадут на поверхность

$$y_1 = 0; \quad y_2 = 0. \quad (3)$$

Время полета первого камня найдем из уравнения (1) с учетом (3)

$$(v_0 \sin \alpha)t - \frac{(g \cos \alpha)t^2}{2} = 0.$$

Нулевое значение t соответствует начальному моменту времени, а время полета

$$t_1 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g \cos \alpha}. \quad (4)$$

Аналогично для второго камня

$$v_0 t - \frac{(g \cos \alpha)t^2}{2} = 0;$$

$$t_2 = \frac{2v_0}{g \cos \alpha}. \quad (5)$$

Очевидно, что $t_2 > t_1$, то есть первый камень упадет быстрее и опередит второй на

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2v_0(1 - \sin \alpha)}{g \cos \alpha}.$$

Вычисления

$$\Delta t = \frac{2 \cdot 10(1 - \frac{1}{2})}{9.8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} \approx 1,2 \text{ (с)}.$$

2. Уравнения движения в координатной форме в проекциях на ось X для первого и второго камня:

$$x_1 = (v_0 \cos \alpha)t + \frac{(g \sin \alpha)t^2}{2}; \quad (6)$$

$$x_2 = \frac{(g \sin \alpha)t^2}{2}; \quad (7)$$

Из уравнений (6) и (7), подставляя в них (4) и (5), найдем координаты по оси X для каждого камня в момент падения равные расстоянию от точки бросания до точки падения

$$S_1 = x_1(t_1) = (v_0 \cos \alpha) \frac{2v_0 \sin \alpha}{g \cos \alpha} + \frac{(g \sin \alpha) \left(\frac{2v_0 \sin \alpha}{g \cos \alpha} \right)^2}{2} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha}{g \cos^2 \alpha}.$$

$$S_2 = x_2(t_2) = \frac{(g \sin \alpha) \left(\frac{2v_0}{g \cos \alpha} \right)^2}{2} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha}{g \cos^2 \alpha}$$

Таким образом, камни упадут в одну точку и расстояние между ними будет равно 0.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = 0$$

4. Бросок на склоне 10. Рекомендуемые критерии оценивания

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи (10 баллов), складывается из оценок за каждую из частей задачи. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

1. За решение **первой части** задачи (определение очередности падения камней и разности времен полета) **максимальная оценка составляет 6 баллов**. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае –соотношения (1), (2), условия (3) или эквивалентные им)записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ –**6баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях–**5баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу, или преобразования не завершены – **4 балла**;

- записаны все соотношения, отражающие физические законы и закономерности, но в одном из них допущена ошибка, поэтому после преобразований и вычислений получен неверный ответ – **3 балла**;

- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеется более одной физические ошибки–**2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения - **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

2. За решение **второй части задачи** (определение расстояния между точками падения камней) **максимальная оценка составляет 4 балла**. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае –соотношения (6), (7), (4), (5) или эквивалентные им)записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ –**4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются ошибки в математических преобразованиях или арифметические ошибки в вычислениях– **3 балла**;

- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеются физические ошибки, поэтому из них невозможно найти правильное решение –**2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)- **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

5. Рычаг 10. Возможное решение.

Условие равновесия рычага $m_1gl_1 - m_kgl_k + m_2gl_2 - m_3gl_3 = 0$ (1)

Значения масс, измеренные на весах

$$m_1 = 65,14 \text{ г} \pm 0,03 \text{ г}, \quad m_2 = 53,31 \text{ г} \pm 0,03 \text{ г}, \quad m_3 = 98,12 \text{ г} \pm 0,03 \text{ г} \quad (2)$$

Значения длин с учётом числовых значений, указанных на рычаге

$$l_1 = 450 \text{ мм} \pm 4 \text{ мм}, \quad l_k = 350 \text{ мм} \pm 4 \text{ мм}, \quad l_2 = 200 \text{ мм} \pm 4 \text{ мм}, \quad l_3 = 250 \text{ мм} \pm 4 \text{ мм} \quad (3)$$

Получается, что масса камня

$$m_k = \frac{m_1l_1 + m_2l_2 - m_3l_3}{l_k} \quad (4)$$

Без учёта погрешностей получается

$$m_k = \frac{65,14 \text{ г} \cdot 450 \text{ мм} + 53,31 \text{ г} \cdot 200 \text{ мм} - 98,12 \text{ г} \cdot 250 \text{ мм}}{350 \text{ мм}} \quad m_k = 44,13 \text{ г} \quad (5)$$

Прежде, чем считать с учётом погрешности заметим, что наименьшая относительная погрешность измерения длины, равная $\varepsilon_{l2} = \frac{4 \text{ мм}}{200 \text{ мм}} \cdot 100 \% = 2 \%$, больше наибольшей

относительной погрешности $\varepsilon_{m2} = \frac{0,03 \text{ г}}{53,31 \text{ г}} \cdot 100\% = 0,06 \%$, более, чем в 3 раза.

Следовательно, погрешностями измерения масс на весах можно пренебречь.

Верхнюю границу массы камня определяем по формуле

$$m_{\text{кВГ}} = \frac{65,14 \text{ г} \cdot 454 \text{ мм} + 53,31 \text{ г} \cdot 204 \text{ мм} - 98,12 \text{ г} \cdot 246 \text{ мм}}{346 \text{ мм}} \quad m_{\text{кВГ}} = 47,14 \text{ г}$$

Нижнюю границу

$$m_{\text{кНГ}} = \frac{65,14 \text{ г} \cdot 446 \text{ мм} + 53,31 \text{ г} \cdot 196 \text{ мм} - 98,12 \text{ г} \cdot 254 \text{ мм}}{354 \text{ мм}} \quad m_{\text{кНГ}} = 41,18 \text{ г}$$

$$\text{Погрешность измерения } \Delta m_k = 0,5(m_{\text{кВГ}} - m_{\text{кНГ}}) = 0,5(47,14 - 41,18)\text{г} = 3 \text{ г} \quad (6)$$

$$\text{Измеренное значение } m_k = 0,5(m_{\text{кВГ}} + m_{\text{кНГ}}) = 0,5(47,14 + 41,18)\text{г} = 44 \text{ г}$$

$$\text{Относительная погрешность } \varepsilon_{m_k} = \frac{3 \text{ г}}{44 \text{ г}} \cdot 100\% = 6,8 \dots \% = 7\%,$$

$$\text{Итоговый ответ } m_k = 44 \text{ г} \pm 3 \text{ г}, \varepsilon_{m_k} = 7\% \quad \text{или} \quad 41 \text{ г} \leq m_k \leq 47 \text{ г}, \varepsilon_{m_k} = 7\% \quad (7)$$

5. Рычаг 10. Рекомендуемые критерии оценки.

Записана хотя бы одна формула расчёта момента силы	(1)	1 балл
Записано правило моментов	(1)	2 балла
Записана формула для вычисления массы камня без учёта погрешности	(4)	1 балл
Найдено числовое значение массы камня без учёта погрешности	(5)	1 балл
Учтены погрешности измерения масс	(2)	1 балл
Учтены погрешности измерения длин	(3)	1 балл
Найдена погрешность измерения массы камня	(6)	1 балл
Записан ответ с учётом погрешности измерений	(7)	2 балла

Примечания.

За отсутствие записи относительной погрешности в итоговом ответе оценку не снижать

Если погрешность измерения длины принята 2 мм или 8 мм оценку не снижать.

Если погрешность измерения массы камня вычисляется через относительные погрешности оценку не снижать.

Если погрешность измерения груза на весах принята 1 г или 3 г, то за этот пункт оценку не ставить, но оценку за последующие этапы не снижать

Если при вычислениях участник учитывает все погрешности, то оценку не снижать.

Если итоговая погрешность записана с тремя и более значащими цифрами, то оценку за этот пункт снизить наполовину.

Если в итоговом ответе результат измерения и его погрешность записаны (точнее с различными минимальными разрядами числа (в нашем случае: с различным количеством цифр после запятой), то оценку за этот пункт снизить наполовину.

За вычислительную ошибку снижать наполовину количество баллов, указанное за соответствующих этап решения.

В случае получения **дробного итогового балла за решение задачи** его следует округлить до целого с избытком.