

Пермский край
2024-25 учебный год
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
10 КЛАСС

Критерии оценивания

Максимальная оценка за выполнение всех олимпиадных заданий – 50 баллов.

Задание 1. Пушка для мячей (10 баллов)

1) Запишем уравнения движения для мяча ($x_0 = 0, y_0 = 0$):

$$\text{ОХ: } x = x_0 + v_{0x} \cdot t = v_0 \cos \alpha \cdot t, \quad (1)$$

$$\text{ОУ: } y = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{g_y t^2}{2} = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}. \quad (2)$$

2) Исключая время t из уравнений (1) и (2), получим уравнение параболы.

Выражаем из (1) t :

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha}, \quad (3)$$

подставляем (3) в (2)

$$y(x, \alpha) = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}. \quad (4)$$

3) При соударении со стенкой $x = l$:

$$y(\alpha) = l \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{gl^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}. \quad (5)$$

4) С учетом того, что $(1/\cos^2 \alpha) = 1 + \operatorname{tg}^2 \alpha$, получим:

$$y(\alpha) = l \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{gl^2}{2v_0^2} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha). \quad (6)$$

Или

$$y(\operatorname{tg} \alpha) = -\frac{gl^2}{2v_0^2} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha + l \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{gl^2}{2v_0^2}. \quad (7)$$

Можно использовать замену $z = \operatorname{tg} \alpha$:

$$y(z) = -\frac{gl^2}{2v_0^2} \cdot z^2 + l \cdot z - \frac{gl^2}{2v_0^2}. \quad (8)$$

Это уравнение перевернутой параболы ($y(z) = az^2 + bz + c, a < 0$).

5) Максимальное значение $y(z) = h$ соответствует вершине параболы. С учетом того, что координаты вершины параболы $z_0 = -b / (2a)$, получим:

$$z_0 = -\frac{l}{2} \cdot \frac{2v_0^2}{gl^2} = \frac{v_0^2}{gl} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (9)$$

6) Подставляя (9) в (7):

$$h = -\frac{gl^2}{2v_0^2} \cdot \frac{v_0^4}{(gl)^2} + l \cdot \frac{v_0^2}{gl} - \frac{gl^2}{2v_0^2} = -\frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_0^2}{g} - \frac{gl^2}{2v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gl^2}{2v_0^2}. \quad (10)$$

7) Подставляя числовые значения, находим искомую максимальную высоту:

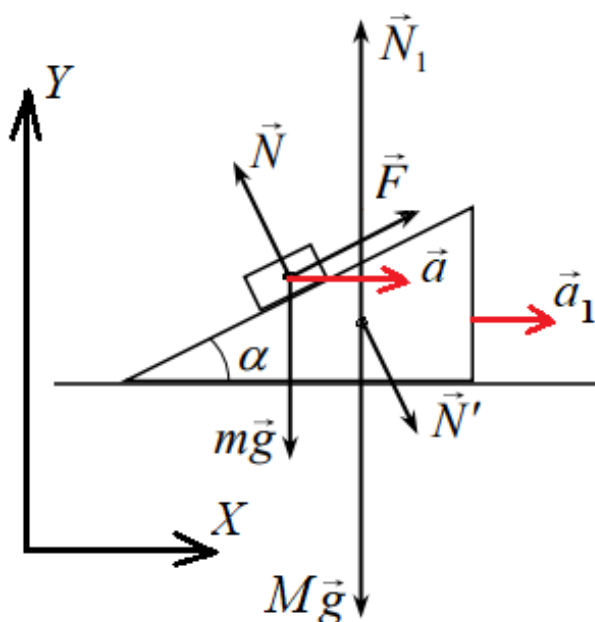
$$h = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gl^2}{2v_0^2} = \frac{20^2}{2 \cdot 9,8} - \frac{9,8 \cdot 20^2}{2 \cdot 20^2} = \approx (20,41 - 4,9) \text{ м} \approx 15,5 \text{ м}.$$

Оценивание задания 1

Записаны кинематические соотношения для координат x и y мяча (пункт 1 решения)	2 балла
Получено выражение (4) для зависимости y от x (пункт 2 решения)	1 балл
Сделаны преобразования и получено уравнение перевернутой параболы (7) или (8) (пункты 3 и 4 решения)	2 балла
Найдена координата вершины параболы, соответствующая максимальному значению высоты (пункт 5 решения)	2 балла
Получено выражение (10) для максимальной высоты h (пункт 6 решения)	2 балла
Найдена искомая максимальная высота h (пункт 7 решения)	1 балл

Задание 2. Тело на клине (10 баллов)

1) Укажем все силы, действующие на тело и клин (см. рисунок).



На тело действуют: сила тяжести mg , сила реакции поверхности клина N , внешняя сила F . Ускорение тела – a .

На клин действуют: сила тяжести Mg (по условию масса клина вдвое больше массы тела, т.е. $M=2m$), сила реакции со стороны тела N' , сила реакции горизонтальной поверхности N_1 . Ускорение клина – a_1 .

2) Запишем второй закон Ньютона для тела и клина.

$$\text{Тело:} \quad m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F} + \vec{N}. \quad (1)$$

$$\text{Клин:} \quad 2m\vec{a}_1 = 2m\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{N}'. \quad (2)$$

3) По третьему закону Ньютона:

$$\vec{N} = \vec{N}'. \quad (3)$$

4) Спроецируем уравнения (1) и (2) на оси:

$$\text{Тело:} \quad \text{OX:} \quad ma = F\cos\alpha - N\sin\alpha \quad (4)$$

$$\text{OY:} \quad 0 = -mg + F\sin\alpha + N\cos\alpha \quad (5)$$

$$\text{Клин:} \quad \text{OX:} \quad 2ma_1 = N'\sin\alpha = N\sin\alpha \quad (6)$$

5) Поскольку ускорение тела $\vec{a}$ горизонтально, то оно равно ускорению клина $\vec{a}_1$ (тело не движется вдоль клина, иначе была бы вертикальная составляющая ускорения тела $\vec{a}_y \neq 0$):

$$a = a_1. \quad (7)$$

6) Решаем систему уравнений (4) – (6) с учетом (7).

Умножая уравнение (4) на 2 и вычитая его из (6), получим

$$2F\cos\alpha = 3N\sin\alpha,$$

$$N = (2F\cos\alpha) / (3\sin\alpha). \quad (7)$$

Подставляя (7) в (5) получим:

$$F = (3mg\sin\alpha) / (2\cos^2\alpha + 3\sin^2\alpha) = (3mg\sin\alpha) / (2 + \sin^2\alpha). \quad (8)$$

7) Подставляем числовые значения ($\sin\alpha = 0.5$) получим значение искомой силы:

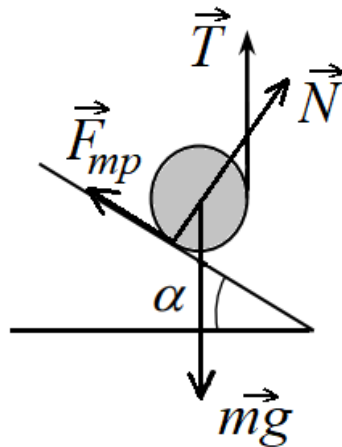
$$F = 2mg / 3 = (2 \cdot 1 \cdot 9,8) / 3 = \approx 6.53 \text{ Н.}$$

Оценивание задания 2

Сделан рисунок с указанием всех сил, действующих на тело и на клин (пункт 1 решения)	2 балла
Записан 2 закон Ньютона для тела и клина (пункт 2 решения)	2 балла
Записан 3 закон Ньютона для взаимодействия клина и тела (пункт 3 решения)	1 балл
Записаны правильно проекции уравнений (1) и (2) на оси (пункт 4 решения)	1 балл
Вывод о том, что ускорения клина и тела одинаковы: $a = a_1$ (пункт 5 решения)	2 балла
Решена система уравнений и получено выражение (8) для F (пункт 6 решения)	1 балл
Найдено искомое значение силы F (пункт 7 решения)	1 балл

Задание 3. Равновесие цилиндра (10 баллов)

1) Укажем все силы, действующие на цилиндрическое тело (см. рисунок).



На цилиндр действуют: сила тяжести mg , сила реакции плоскости N , сила натяжения нити T и сила трения F_{mp} , направленная вверх вдоль плоскости.

2) Чтобы тело находилось в равновесии сумма сил и сумма моментов сил, действующих на цилиндр, должны равняться нулю.

3) Условие моментов относительно центра цилиндра дает:

$$TR = F_{mp}R, \quad (1)$$

где R – радиус цилиндра.

Отсюда находим, что

$$T = F_{mp}. \quad (2)$$

4) С другой стороны, из условия моментов относительно точки касания тела и плоскости имеем:

$$T(R + R\sin\alpha) = mgR\sin\alpha. \quad (3)$$

Отсюда выражаем T :

$$T = mgsin\alpha / (1 + sin\alpha). \quad (4)$$

5) Из (2) и (4) получим:

$$F_{mp} = mgsin\alpha / (1 + sin\alpha). \quad (5)$$

6) Условие покоя цилиндрического тела имеет вид:

$$F_{mp} \leq F_{mp}^{max}. \quad (6)$$

Или

$$[mgsin\alpha / (1 + sin\alpha)] \leq \mu N. \quad (7)$$

7) Находим силу реакции плоскости N из уравнения сил (с учетом выражения (4)):

$$N = mgcos\alpha - Tcos\alpha = mgcos\alpha / (1 + sin\alpha). \quad (8)$$

8) Подставляя (8) в (7) получим:

$$[mgsin\alpha / (1 + sin\alpha)] \leq [\mu mgcos\alpha / (1 + sin\alpha)].$$

Окончательно:

$$\mu \geq tg \alpha,$$

$$\mu \geq tg 30^\circ.$$

Ответ: $\mu \geq 0,58$.

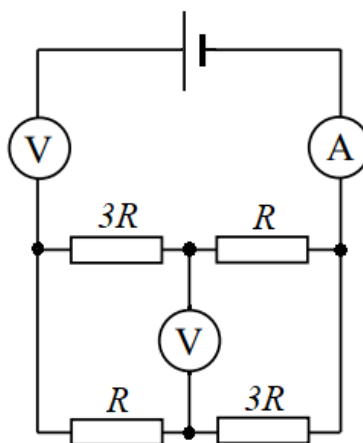
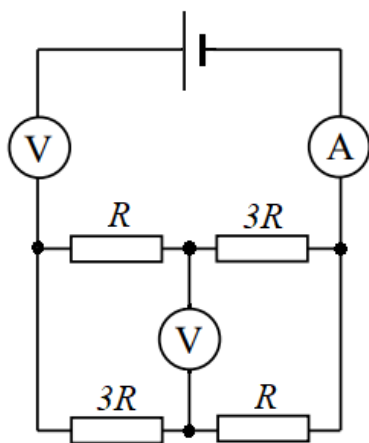
Оценивание задания 3

Сделан рисунок с указанием всех сил, действующих на цилиндр (пункт 1 решения)	1 балл
Словесно сформулированы или записаны в виде формул условия равновесия тела (пункт 2 решения)	1 балл
Записано условие моментов относительно центра цилиндра и показано, что $T = F_{mp}$ (пункт 3 решения)	1 балл
Записано условие моментов относительно точки касания тела и плоскости и получено выражение (4) для T (пункт 4 решения)	2 балла
Записано выражение (5) для силы трения F_{mp} (пункт 5 решения)	1 балл
Записано условие покоя цилиндрического тела (6) (пункт 6 решения)	2 балла
Выражена сила реакции плоскости N из уравнения сил (пункт 7 решения)	1 балл
Получен окончательный ответ в виде неравенства (пункт 8 решения)	1 балл

Задание 4. Электрическая цепь (10 баллов)

1) Поскольку ток через мостиковый вольтметр не может быть больше тока в цепи, а вольтметры одинаковы, то показания мостикового вольтметра должны быть меньше показаний вольтметра, включенного в цепь ($U_V = I_V R_V$). Поэтому $U_1 = 1.5$ В – показания мостикового вольтметра, $U_2 = 9$ В – показания вольтметра, включенного в цепь.

2) Кроме того, очевидно, что в нижней и верхней ветвях параллельно соединенных сопротивлений резисторы могут быть соединены только так, как показано на левом или на правом рисунке. При любых других соединениях показания мостикового вольтметра будут нулевыми ($U_1 = 1.5$ В $\neq 0$).



При этом разница между этими двумя вариантами будет только в направлении тока через мостиковый вольтметр. Поэтому достаточно рассмотреть только один из них. Рассмотрим левый вариант.

3) Так как вольтметры одинаковы ($R_V = \text{const}$), то ток через мостиковый вольтметр I_M отличается от тока в цепи I во столько же раз, во сколько отличаются показания вольтметров:

$$\frac{U_2}{I} = \frac{U_1}{I_M}.$$

Отсюда:

$$I_M = \frac{U_1}{U_2} I.$$

4) Отсюда получаем для токов I_R и I_{3R} , текущих через резисторы R и $3R$ соответственно:

$$I_R = I_{3R} + I_M = I_{3R} + (U_1 / U_2) \cdot I.$$

5). С другой стороны, сумма этих токов равна току в цепи:

$$I = I_{3R} + I_R.$$

6) Решая эту систему уравнений, находим:

$$I_R = \frac{(U_1 + U_2)}{2U_2} I, \quad I_{3R} = \frac{(U_2 - U_1)}{2U_2} I.$$

7) Теперь можно найти падения напряжений на резисторах, разность которых равна напряжению на мостиковом вольтметре:

$$U_1 = U_{3R} - U_R = 3RI_{3R} - RI_R = \frac{(U_2 - 2U_1)}{U_2} RI.$$

8) Отсюда находим величину сопротивления R :

$$R = \frac{U_1 U_2}{I(U_2 - 2U_1)} = 1125 \text{ Ом}.$$

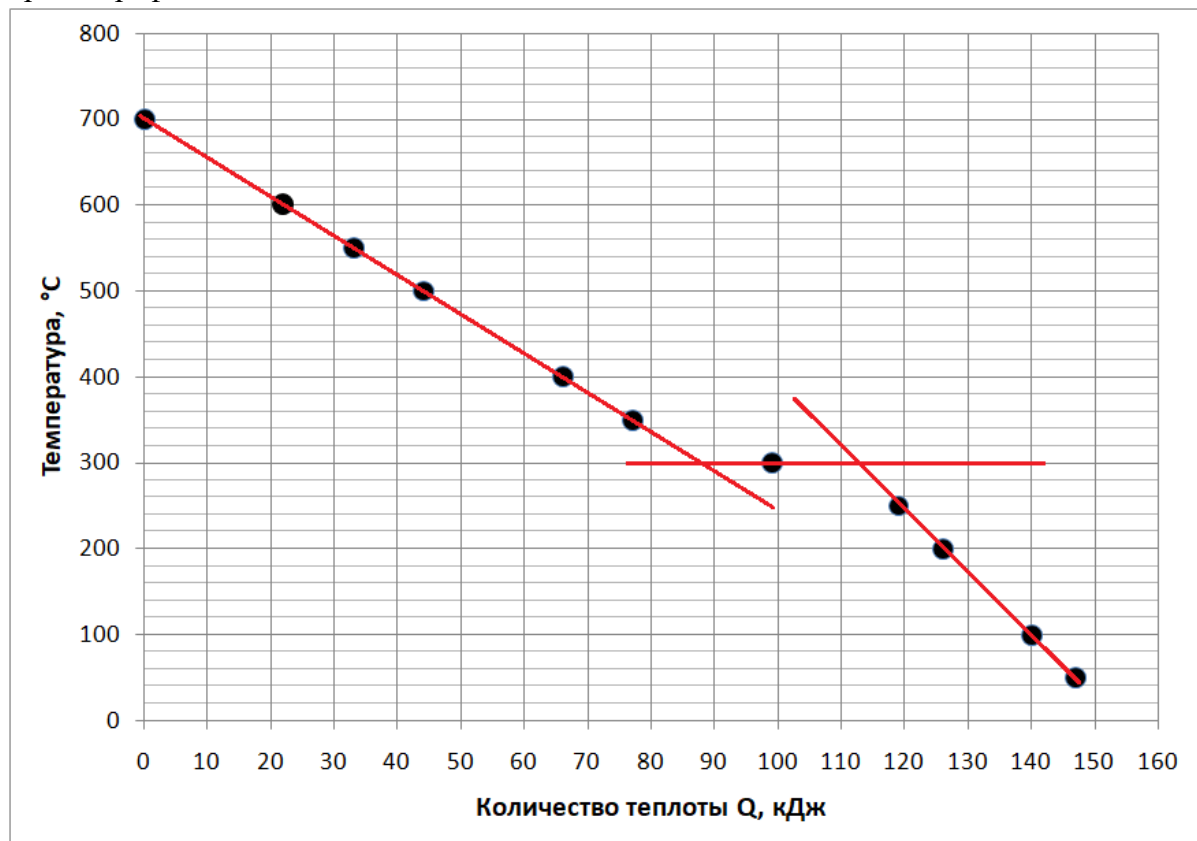
Оценивание задания 4

Правильно распределены показания вольтметров (пункт 1 решения)	1 балл
Определены правильные возможные способы соединения резисторов (пункт 2 решения)	1 балл
Получено выражение для связи общего тока в цепи и тока через мостиковый вольтметр (пункт 3 решения)	1 балл
Записано выражение для токов через резисторы и тока через мостовой вольтметр (первое правило Кирхгофа) (пункт 4 решения)	1 балл

Записано выражение для токов через резисторы и общего тока (первое правило Кирхгофа) (пункт 5 решения)	1 балл
Решена система уравнений и получены соотношения для токов через резисторы R и $3R$ (пункт 6 решения)	2 балла
Найдено напряжение U_1 на мостиковом вольтметре (пункт 7 решения)	2 балла
Найдено искомое сопротивление R (пункт 8 решения)	1 балл

Задание 5. Остывающее тело (10 баллов)

1) Построим график зависимости $t^{\circ}\text{C}$ данного тела от отведенного количества теплоты Q :



2) На графике зависимости температуры $t^{\circ}\text{C}$ вещества от отведенного от него тепла Q видно, что первые 6 точек и последние 4 точки хорошо ложатся на прямые, имеющие разные наклоны.

3) Это говорит о том, что при остывании вещество перешло из одного агрегатного состояния в другое (из жидкого состояния в твердое). Температура кристаллизации тела – 300°C .

4) Поэтому нужно вычислять две удельные теплоемкости.

5) Удельную теплоемкость в обоих случаях рассчитаем по формуле:

$$C_{\text{уд}} = Q / (m \cdot \Delta t^{\circ}). \quad (1)$$

6) Удельная теплоемкость вещества в жидком агрегатном состоянии равна:

$$C_{\text{уд ж}} = 77000 \text{ Дж} / (1 \text{ кг} \cdot 350^{\circ}\text{C}) = 220 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

7) Удельная теплоемкость вещества в твердом агрегатном состоянии равна:

$$C_{\text{уд т}} = 28000 \text{ Дж} / (1 \text{ кг} \cdot 200^{\circ}\text{C}) = 140 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

Оценивание задания 5

Построен график зависимости $t^{\circ}\text{C}$ данного тела от отведенного количества теплоты Q , нанесены все экспериментальные точки, выбран оптимальный масштаб (пункт 1 решения)	2 балла
На графике проведены прямые, соответствующие остыванию тела в жидком и твердом состояниях, сделан вывод о разных наклонах этих прямых (пункт 2 решения)	2 балла
Вывод о том, что при остывании вещество перешло из одного агрегатного состояния в другое (пункт 3 решения)	2 балла
Вывод о необходимости вычисления двух удельных теплоемкостей (пункт 4 решения)	1 балл
Формула (1) для вычисления удельной теплоемкости (пункт 5 решения)	1 балл
Найдена удельная теплоемкость вещества в жидком агрегатном состоянии (пункт 6 решения)	1 балл
Найдена удельная теплоемкость вещества в твердом агрегатном состоянии (пункт 7 решения)	1 балл