ФИЗИКА
ВСЕРОССИЙСКАЯ
ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ

Критерии оценивания
заданий
муниципального этапа
2026-2027 учебный год
9 класс

Задача 1. Два камня

Обозначим вертикальные составляющие начальных скоростей через v_{1y} и v_{2y}.

Для тела, брошенного с поверхности земли и приземляющегося на ту же высоту,

$$T = \frac{2v_y}{g}.$$

По условию

$$T_2 = 3T_1,$$

следовательно,

$$v_{2y} = 3v_{1y}.$$

Положим $v_{1y} = u$. Тогда $v_{2y} = 3u$.

Максимальная высота подъёма тела равна

$$H = \frac{v_y^2}{2g}.$$

По условию разность высот равна 10 м:

$$\frac{(3u)^2 - u^2}{2g} = 10.$$

При $g = 10$ м/с^2 получаем

$$\frac{8u^2}{20} = 10,$$

откуда

$$u^2 = 25, \qquad u = 5 \text{ м/с}.$$

Значит,

$$v_{1y} = 5 \text{ м/с}, \qquad v_{2y} = 15 \text{ м/с}.$$

Времена полёта:

$$T_1 = \frac{2 \cdot 5}{10} = 1 \text{ с},$$

$$T_2 = \frac{2 \cdot 15}{10} = 3 \text{ с}.$$

Промежуток времени между приземлениями:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 2 \text{ с}.$$

Для определения дальностей найдём горизонтальные составляющие начальных скоростей:

$$v_{1x} = \sqrt{v_0^2 - v_{1y}^2} = \sqrt{20^2 - 5^2} = 5\sqrt{15} \text{ м/с},$$

$$v_{2x} = \sqrt{20^2 - 15^2} = 5\sqrt{7} \text{ м/с}.$$

Дальности полёта равны

$$L_1 = v_{1x} T_1 = 5\sqrt{15},$$

$$L_2 = v_{2x} T_2 = 15\sqrt{7}.$$

Поэтому

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{15\sqrt{7}}{5\sqrt{15}} = 3\sqrt{\frac{7}{15}} \approx 2{,}049.$$

С точностью до десятых

$$\frac{L_2}{L_1} \approx 2{,}0.$$

Ответ: $T_1 = 1$ с; $T_2 = 3$ с; $\Delta T = 2$ с; дальность второго камня примерно в 2,0 раза больше.

Критерии проверки — 10 баллов

- **2 балла** — использована связь $T = 2v_y/g$ и получено $v_{2y} = 3v_{1y}$.
- **1 балл** — использована формула $H = v_y^2/(2g)$.
- **2 балла** — получено $v_{1y} = 5$ м/с и $v_{2y} = 15$ м/с.
- **1 балл** — получены $T_1 = 1$ с и $T_2 = 3$ с.
- **1 балл** — получено $\Delta T = 2$ с.
- **1 балл** — правильно найдены горизонтальные составляющие скоростей.
- **1 балл** — правильно найдены дальности или их отношение.
- **1 балл** — получен ответ $L_2/L_1 \approx 2{,}0$.
-

Задача 2. Брусок на конвейере

Направим ось x вдоль движения ленты, а ось y — поперёк ленты.

Скорость ленты относительно земли:

$$\vec{v} = (3; 0) \text{ м/с}.$$

В рассматриваемый момент скорость бруска относительно земли:

$$\vec{u} = (0; 4) \text{ м/с}.$$

Следовательно, начальная скорость бруска относительно ленты равна

$$\vec{w_0} = \vec{u} - \vec{v} = (-3; 4) \text{ м/с},$$

а её модуль

$$w_0 = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ м/с}.$$

Сила трения скольжения направлена противоположно относительной скорости. Модуль ускорения, создаваемого трением,

$$a = \mu g = 0{,}8 \cdot 10 = 8 \text{ м/с}^2.$$

Поскольку скорость ленты постоянна, модуль относительной скорости уменьшается равномерно. Когда он уменьшится вдвое,

$$w = \frac{w_0}{2} = 2{,}5 \text{ м/с}.$$

Тогда

$$t = \frac{w_0 - w}{a} = \frac{5 - 2{,}5}{8} = 0{,}3125 \text{ с}.$$

С точностью до десятых:

$$\boxed{t \approx 0{,}3 \text{ с}}.$$

Направление относительной скорости во время скольжения не меняется, поэтому при уменьшении её модуля вдвое сам вектор также уменьшается вдвое:

$$\vec{w} = (-1{,}5; 2) \text{ м/с}.$$

Скорость бруска относительно земли:

$$\vec{u} = \vec{v} + \vec{w} = (3; 0) + (-1{,}5; 2) = (1{,}5; 2) \text{ м/с}.$$

Её модуль:

$$u = \sqrt{1{,}5^2 + 2^2} = 2{,}5 \text{ м/с}.$$

Полное время скольжения до исчезновения относительной скорости:

$$t_0 = \frac{w_0}{\mu g} = \frac{5}{8} = 0{,}625 \text{ с}.$$

Поперечная составляющая скорости бруска в начале равна 4 м/с, а к моменту прекращения скольжения уменьшается до нуля. Поэтому максимальное поперечное перемещение удобно найти как площадь треугольника под графиком $u_y(t)$:

$$s_y = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 0{,}625 = 1{,}25 \text{ м}.$$

Чтобы брусок из любого положения поперёк ленты гарантированно достиг края, ширина ленты не должна превышать этого перемещения:

$$b_{\max} = 1{,}25 \text{ м} \approx 1{,}3 \text{ м}.$$

Ответ: 0,3 с; 2,5 м/с; 1,3 м.

Критерии проверки — 10 баллов

- **1 балл** — правильно записана относительная скорость $\vec{w}_0 = \vec{u} - \vec{v}$.
- **1 балл** — получено $w_0 = 5$ м/с.
- **1 балл** — получено $a = \mu g = 8$ м/с².
- **2 балла** — получено время $t \approx 0{,}3$ с.
- **1 балл** — правильно найден вектор скорости относительно земли в пункте 2.
- **1 балл** — получено $u = 2{,}5$ м/с.
- **1 балл** — найдено время прекращения скольжения $t_0 = 0{,}625$ с.
- **1 балл** — найдено поперечное перемещение 1,25 м.
- **1 балл** — получен ответ $b_{\max} \approx 1{,}3$ м.

Задача 3. Куб из резисторов

Обозначим концы перегоревшего ребра через A и B.

Сначала найдём сопротивление каркаса после перегорания. Благодаря симметрии относительно плоскости, проходящей через A, B и центр куба, две вершины, соседние с A и не совпадающие с B, имеют одинаковый потенциал. Их можно мысленно объединить в один узел X. Аналогично две соответствующие вершины рядом с B объединяются в узел Y.

От A до X два резистора R соединены параллельно:

$$R_{AX} = \frac{R}{2}.$$

Так же

$$R_{YB} = \frac{R}{2}.$$

Между X и Y есть две параллельные ветви. В первой два резистора R соединены параллельно, поэтому

$$R_a = \frac{R}{2}.$$

Во второй ветви после объединения равно-потенциальных вершин последовательно соединены сопротивления

$$\frac{R}{2}, \quad R, \quad \frac{R}{2},$$

поэтому

$$R_b = 2R.$$

Эквивалентное сопротивление между X и Y:

$$R_{XY} = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b} = \frac{\frac{R}{2} \cdot 2R}{\frac{R}{2} + 2R} = \frac{2R}{5}.$$

Тогда сопротивление каркаса после перегорания:

$$R_{\text{после}} = \frac{R}{2} + \frac{2R}{5} + \frac{R}{2} = \frac{7R}{5}.$$

При $R = 12$ Ом:

$$R_{\text{после}} = \frac{7 \cdot 12}{5} = 16{,}8 \text{ Ом}.$$

Теперь найдём сопротивление до перегорания. До перегорания прямое ребро сопротивлением R было подключено между теми же вершинами A и B параллельно всей остальной части каркаса сопротивлением $7R/5$:

$$R_{\text{до}} = R \parallel \frac{7R}{5}.$$

Следовательно,

$$R_{\text{до}} = \frac{R \cdot \frac{7R}{5}}{R + \frac{7R}{5}} = \frac{7R}{12}.$$

При $R = 12$ Ом:

$$R_{\text{до}} = 7 \text{ Ом}.$$

Отношение большего сопротивления к меньшему:

$$\frac{R_{\text{после}}}{R_{\text{до}}} = \frac{16{,}8}{7} = 2{,}4.$$

После перегорания мощность, выделяющаяся во всём каркасе,

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{после}}} = \frac{6^2}{16{,}8} = \frac{15}{7}\ \text{Вт} \approx 2{,}14\ \text{Вт}.$$

Ответ: 16,8 Ом; сопротивление увеличилось в 2,4 раза; $P \approx 2{,}14$ Вт.

Критерии проверки — 10 баллов

- **2 балла** — обосновано равенство потенциалов симметричных вершин.
- **2 балла** — правильно преобразована сеть между узлами X и Y.
- **2 балла** — получено $R_{\text{после}} = 7R/5 = 16{,}8$ Ом.
- **2 балла** — получено $R_{\text{до}} = 7R/12 = 7$ Ом.
- **1 балл** — получено отношение 2,4.
- **1 балл** — получена мощность $P \approx 2{,}14$ Вт.

Задача 4. Два зеркала

Рассмотрим сечение системы плоскостью, перпендикулярной линии пересечения зеркал. В сечении зеркала превращаются в две прямые, образующие угол $60°$.

Поскольку источник находится на одинаковом расстоянии от обоих зеркал, он лежит на биссектрисе угла. Пусть расстояние от вершины угла до источника равно r. Тогда расстояние до каждой стороны угла равно

$$L = r\sin 30° = \frac{r}{2}.$$

Отсюда

$$r = 2L = 20\ \text{см}.$$

Последовательные отражения источника удобно рассматривать методом развёртки: вместо отражения лучей последовательно отражаем сам угол. Так как

$$\frac{360°}{60°} = 6,$$

полная развёртка содержит шесть равноотстоящих положений на окружности радиуса 20 см. Одно из них соответствует самому источнику, остальные пять — его изображениям. Поэтому

$$\boxed{N = 5}.$$

Шесть положений образуют вершины правильного шестиугольника радиуса 20 см. Среди пяти изображений минимальное расстояние соответствует соседним вершинам. Это хорда, стягивающая угол $60°$:

$$d_{\min} = 2r\sin 30° = r = 20\ \text{см}.$$

Следовательно,

$$\boxed{d_{\min} = 20 \text{ см}}.$$

Среди изображений есть пары, находящиеся в диаметрально противоположных вершинах окружности, поэтому

$$d_{\max} = 2r = 40 \text{ см}.$$

Следовательно,

$$\boxed{d_{\max} = 40 \text{ см}}.$$

Для определения максимального числа последовательных отражений снова используем развёртку. После каждого отражения вместо изменения направления луча можно зеркально отразить соответствующий сектор, а сам луч продолжить по прямой. Границы соседних развёрнутых секторов представляют собой лучи, выходящие из одной точки через каждые $60°$.

Прямая, не проходящая через вершину системы, при движении в одном направлении может пересечь границы, направления которых укладываются в угловой интервал менее $180°$. Поэтому она может последовательно пересечь не более трёх таких границ. Три пересечения достижимы, если направить луч почти в сторону вершины, но немного мимо неё. Значит, максимально возможное число последовательных отражений равно

$$\boxed{3}.$$

Ответ: 5 изображений; 20 см; 40 см; 3 отражения.

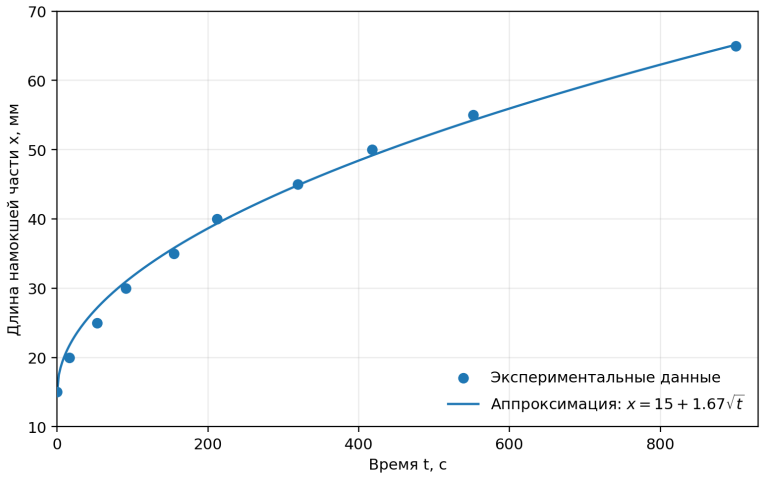
Критерии проверки — 10 баллов

- **1 балл** — получено расстояние до вершины $r = 20$ см.
- **2 балла** — правильно определено число изображений: 5.
- **2 балла** — построена или описана развёртка изображений на окружности.
- **1 балл** — получено $d_{\min} = 20$ см.
- **1 балл** — получено $d_{\max} = 40$ см.
- **1 балл** — использована развёртка луча для анализа отражений.
- **1 балл** — обосновано, что возможно не более трёх отражений.
- **1 балл** — указан достижимый максимум: 3 отражения.

Задача 5. Намокание

1. Построение графика $\boldsymbol{x(t)}$

По таблице наносим экспериментальные точки на координатную плоскость. При $t = 0$ уже имеем $x = 15$ мм, поскольку нижние 15 мм полоски изначально погружены в воду. График возрастает, но его наклон постепенно уменьшается. Следовательно, зависимость не является линейной и по виду близка к зависимости типа квадратного корня.



Экспериментальные точки и сглаживающая кривая

2. Поиск вида зависимости

Введём высоту распространения воды выше первоначально намокшего участка:

$$h = x - x_0, \qquad x_0 = 15 \text{ мм}.$$

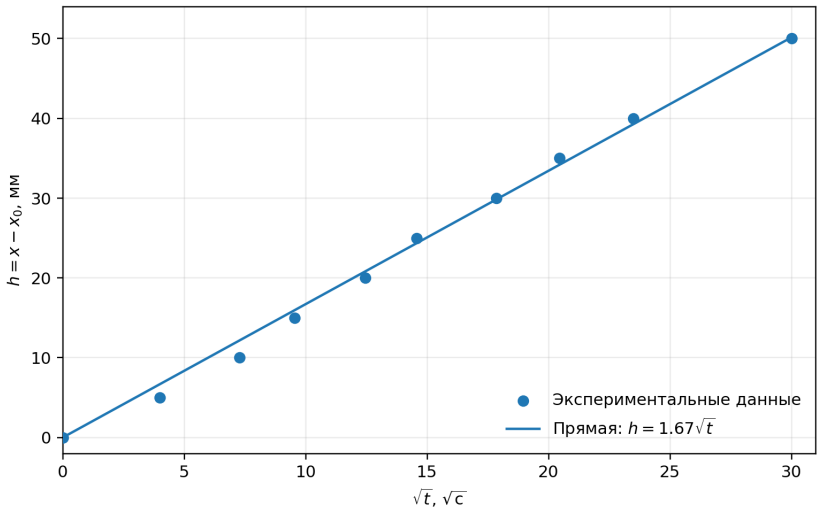
Для экспериментальных точек получаем:

t, с	0	16	53	91	155	212	319	418	552	900
h, мм	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50

Проверим зависимость вида

$$h = a\sqrt{t}.$$

Если она верна, то график h от $\sqrt{t}$ должен быть близок к прямой, проходящей через начало координат. Экспериментальные данные подтверждают это:



Линеаризация: зависимость h от квадратного корня из времени

Следовательно, эксперимент можно описать формулой

$$\boxed{x = x_0 + a\sqrt{t}}.$$

3. Определение постоянных

Первая постоянная известна непосредственно из постановки опыта:

$$\boxed{x_0 = 15 \text{ мм}}.$$

Коэффициент a можно определить по наклону сглаживающей прямой на графике $h(\sqrt{t})$. Для эталонной обработки всех точек используем прямую, проходящую через начало координат. Её коэффициент наклона равен

$$a = \frac{\sum h_i \sqrt{t_i}}{\sum t_i} \approx 1{,}67 \ \frac{\text{мм}}{\sqrt{\text{с}}}.$$

Поэтому искомая экспериментальная зависимость имеет вид

$$\boxed{x(t) \approx 15 + 1{,}67\sqrt{t}},$$

где x выражено в миллиметрах, а t — в секундах.

Эквивалентная форма:

$$(x - 15)^2 \approx Kt,$$

где

$$K = a^2 \approx 2{,}79 \ \frac{\text{мм}^2}{\text{с}}.$$

То есть также допустимо записать

$$\boxed{(x - 15)^2 \approx 2{,}79t}.$$

Проверка по отдельным точкам

Для $t = 900$ с формула даёт

$$x \approx 15 + 1{,}67\sqrt{900} = 15 + 1{,}67 \cdot 30 \approx 65{,}1 \text{ мм},$$

что практически совпадает с экспериментальным значением 65 мм.

Для $t = 418$ с:

$$x \approx 15 + 1{,}67\sqrt{418} \approx 49{,}2 \text{ мм},$$

тогда как экспериментальное значение равно 50 мм. Небольшие отклонения отдельных точек естественны для экспериментальных данных.

Ответ:

$$\boxed{x(t) \approx 15 + 1{,}67\sqrt{t}},$$

где x — в мм, t — в с; при этом

$$\boxed{x_0 = 15 \text{ мм}}, \qquad \boxed{a \approx 1{,}67 \ \frac{\text{мм}}{\sqrt{\text{с}}}}.$$

Эквивалентно:

$$\boxed{(x - 15)^2 \approx 2{,}79t}.$$

Критерии проверки

Максимум — **10 баллов**.

Элемент решения	Баллы
Правильно подписаны оси t и x, указаны единицы измерения	1
Выбран разумный масштаб и корректно нанесены экспериментальные точки	1
Проведена адекватная сглаживающая зависимость $x(t)$	1
Учтено начальное значение $x_0 = 15$ мм и введено $h = x - x_0$ либо выполнено эквивалентное преобразование	1
Установлено, что $h \sim \sqrt{t}$, либо эквивалентно $(x - x_0)^2 \sim t$	2
Записана формула $x = x_0 + a\sqrt{t}$ или эквивалентная	1
По экспериментальным данным определён коэффициент a или K	1
Получено разумное численное значение: $a \approx 1{,}67$ мм$/\sqrt{\text{с}}$ либо $K \approx 2{,}79$ мм^2/с	1
Правильно указаны единицы всех величин и записана итоговая формула	1

При графическом определении коэффициента допустим небольшой разброс. В качестве разумного диапазона можно засчитывать

$$1{,}6 \le a \le 1{,}75 \ \frac{\text{мм}}{\sqrt{\text{с}}},$$

или эквивалентный диапазон для K:

$$2{,}6 \le K \le 3{,}1 \ \frac{\text{мм}^2}{\text{с}}.$$

Если участник использует другую приближённую модель, она может быть оценена полностью только при наличии содержательного обоснования по экспериментальным данным и сопоставимого качества описания всех точек.